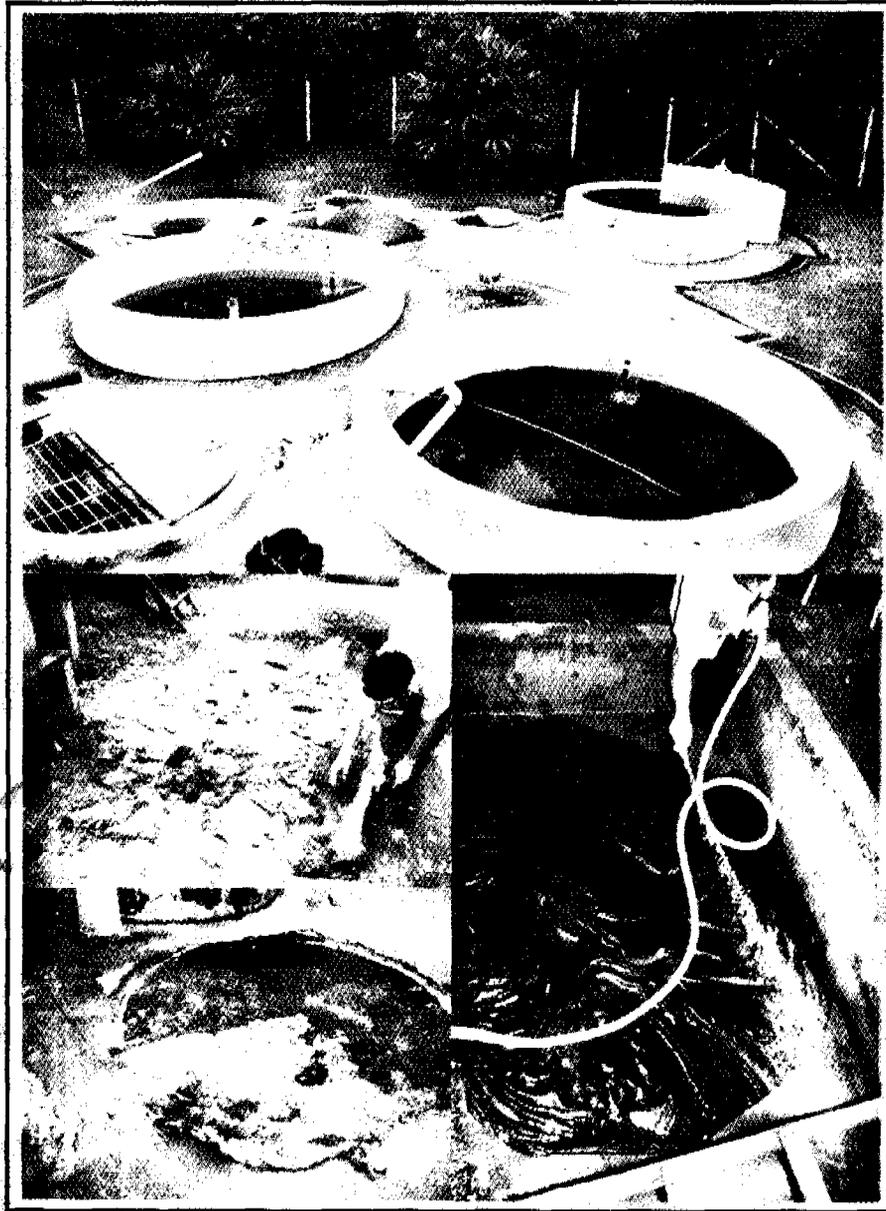




## Uso de Fibras Naturales y Sintéticas en Filtración Lenta en Colombia.



Una Experiencia en Ambientes Tropicales

# Uso de Fibras Naturales y Sintéticas En Filtración Lenta en Colombia

## Una Experiencia en Ambientes Tropicales

El presente documento contiene el resumen de los resultados del proyecto "Uso de Fibras Naturales y Sintéticas en la protección los Lechos de los Filtros Lentos en Arena en Ambientes Tropicales", desarrollado por la Universidad del Valle a través de Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico, con el apoyo Financiero del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, Colciencias y la participación de las siguientes instituciones: PAVCO S.A., La Compañía de Empaques de Medellín y el Club Shalom de la Ciudad de Cali.

© Derechos reservados por el Instituto Cinara de la Universidad del Valle y Colciencias, 2001

Reservados todos los derechos por el Instituto Cinara de la Universidad del Valle y Colciencias, bajo el protocolo 2 de la convención Universal de los Derechos de Autor. Sin embargo, por la presente se le concede permiso para reproducir este material, total o parcialmente, para propósitos educativos, científicos o de desarrollo, no así para fines comerciales, siempre y cuando: a) se haga mención completa de la fuente; y b) se notifique por escrito a Colciencias o a la Universidad del Valle, Instituto Cinara, AA.25157, Cali, Colombia

Impreso en: Litoservi editores S.A. Cali, Colombia.

# CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	INFORMACIÓN SOBRE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO	4
2.1	LA DISPONIBILIDAD DE MANTAS SINTÉTICAS Y NATURALES EN COLOMBIA	4
2.1.1	Introducción	4
2.1.2	Antecedentes	4
2.1.3	Metodología	6
2.1.4	Presentación y Discusión de Resultados	7
2.1.5	Conclusiones y Recomendaciones.	9
2.2	EVALUACIÓN TÉCNICA	10
2.2.1	Introducción	10
2.2.2	Antecedentes	11
	El uso de mantas sintéticas en la filtración lenta en arena	11
	El uso de manta naturales	13
2.2.3	Metodología	14
2.2.4	Presentación y Discusión de Resultados	17
	Calidad de Agua Cruda y Pretratada	17
	Calidad Efluente y Eficiencia de los FLA	17
2.2.5	Conclusiones y Recomendaciones	24
2.3	LA DEGRADABILIDAD DE LAS MANTAS NATURALES	25
2.3.1	Introducción	25
2.3.2	Antecedentes	25
2.3.3	Metodología	28
2.3.5	Presentación y Discusión de Resultados	31
2.3.6	Conclusiones y Recomendaciones	35
3	CONSIDERACIONES SOBRE EL IMPACTO Y LAS PERSPECTIVAS DEL PROYECTO	36
4	BIBLIOGRAFÍA	38

# Uso de Fibras Naturales y Sintéticas En Filtración Lenta en Colombia

## Una Experiencia en Ambientes Tropicales

Documento elaborado con la participación de:

Ing. Javier Fernández M.  
Ing. Arlex Sánchez T.  
Ing. Jorge Latorre M.  
Bioq Noel Muñoz S.  
Ing. Fabiola Berón C.  
Est. Maribel Restrepo

LIBRARY  
IRC International Water  
and Sanitation Centre  
Tel.: +31 70 30 689 80  
Fax: +31 70 35 899 64

LIBRARY IRC  
PO Box 93190, 2509 AD THE HAGUE  
Tel.: +31 70 30 689 80  
Fax: +31 70 35 899 64  
BARCODE: 17140  
LO: 255.10145

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Tecnología usadas para tratamiento de agua en áreas urbanas de Colombia (Mondragón, 1998).	2
Tabla 2.	Clasificación de algunos tipos de fibras naturales y sintéticas	5
Tabla 3	Propiedades Hidráulicas características de mantas no tejidas	6
Tabla 4.	Mantas seleccionadas como potenciales para su aplicación en Filtración Lenta en Arena	10
Tabla 5	Características generales de las mantas evaluadas en la planta piloto.	15
Tabla 6	Eficiencias de remoción parciales y acumuladas.	19
Tabla 7	Características típicas de la fibra de fique	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Criterios para la selección y caracterización de Mantas para su uso en Filtración lenta en Arena	9
Figura 2	Esquema general Planta Piloto	14
Figura 3	Promedios de turbiedad, color y coliformes fecales afluente y efluente de los filtros lentos evaluados. Periodo I	18
Figura 4	Duración de Carrera y factor de aumento en los FLA, Periodo Evaluación I y II	20
Figura 5	Comportamiento de la pérdida de carga en FLAs, Carrera 1, Periodo I	22
Figura 6	Promedios de calidad de agua cruda y efluentes de unidades de tratamiento. Planta a escala real Club Shalom.	23
Figura 7	Pérdida de peso en el tiempo. Prueba de Degradabilidad, Manta Natural.	31
Figura 8.	Pérdida de peso para la manta felpa instalada en dos FLA diferentes, bajo condiciones similares de calidad de agua.	31
Figura 9	Ganancia de Peso en el tiempo. Prueba de Degradabilidad. A. Manta sintética NT-1400. B. Manta sintética NT-2000	34
Figura 10	Concentración de microorganismos en la superficie de los filtros lentos de arena evaluados	35

## LISTA DE FOTOS

Foto 1 Estación de Investigación Cinara, Puerto Mallarino	14
Foto 2 Unidades piloto utilizadas en la investigación	15
Foto 3 Instalación de Manta Natural y Sintética	16
Foto 4 Filtro lento en arena con las mantas sintéticas y sin ellas. Planta de tratamiento Club Shalom.	23
Foto 5 Fibras de fique. A) Felpa B) Ecomusgo	28
Foto 6 Ubicación de trozos de mantas natural y sintética sobre su respectiva manta en estudio.	29
Foto 7 Extracción de uno de los trozitos	29
Foto 8 A y B. Manta natural Felpa Capa superficial y Capa Interna respectivamente. C y D. Manta natural Eco Musgo Capa superficial y Capa Interna respectivamente	33
Foto 9 Fibras de polipropileno con biomasa adherida. Manta sintética NT-2000. Ensayo 1. Fase I.	33

## 1 INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua potable y el saneamiento básico son aspectos esenciales para el mejoramiento de la salud pública y el desarrollo socioeconómico, particularmente en países con un importante porcentaje de su población afectada por enfermedades relacionadas con el agua. Este tipo de enfermedades se encuentra entre las tres principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo (Craun et al, 1994), afectando principalmente a los grupos humanos que viven en asentamientos con deficiencias en su infraestructura sanitaria. Esta situación limita la posibilidad de una vida digna y reduce significativamente la productividad de la población.

Colombia presenta serios problemas de calidad de agua para consumo humano, según ha sido reportado por el Ministerio de Salud, 1998, únicamente el 62% de la población tiene agua de buena calidad en las áreas urbanas y 10% en las áreas rurales. La magnitud del problema es mayor al observar las cifras globales en cuanto a calidad del agua para consumo humano: solo un 45.9% de la población (17.325.000 hab), estaría siendo abastecida con agua de calidad aceptable, entendiéndose por "Calidad aceptable" el agua que además de circular por una estructura de acueducto tiene un sistema continuo de tratamiento, distribuyendo el agua bajo los parámetros físicos químicos y microbiológicos establecidos en el Decreto 475 de 1998. Solo el 55% de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano cuentan con algún proceso de tratamiento, pero únicamente el 28% de éstos, estuvo en armonía con el riesgo a tratar.

Tal situación empeora al considerar poblaciones pequeñas (< 12500 personas) y áreas rurales, donde únicamente el 30% de los sistemas tienen algún tipo de tratamiento, siendo adecuado en un 9% de los sistemas.

En 1997 Colombia tuvo 1.068 municipios, basados en la inspección de 641, el Ministerio de Salud, 1998, fundamenta que únicamente 49%(315) tiene facilidades de adecuado tratamiento, mientras que solo el 40% (256) de los municipios inspeccionados tuvieron agua tratada.

En la tabla 1 se muestran los tipos de tecnologías usadas en el tratamiento de agua y el número de plantas existentes en cada caso en las cabeceras municipales del país. También se muestra que únicamente 42% (395) contaban con infra estructura de laboratorio, sin embargo una muestra tomada de 85 plantas, mostró que el 29% tenía

problemas en la consecución de reactivos químicos y 31% no tenía equipo de control de procesos (Cinara, 1998).

**Tabla 1 Tecnologías usadas para tratamiento de agua en áreas urbanas de Colombia (Mondragón, 1998).**

TECNOLOGÍA PARA TRATAMIENTO DE AGUA	CANTIDAD	%
Filtración Rápida	789	84
Filtración Lenta en Arena	113	12
Filtración en Múltiples Etapas	19	2
Otros	15	2
TOTAL	936	100%

La gran mayoría de las plantas de tratamiento en Colombia están basadas en filtración rápida de agua con coagulantes químicos, sin embargo los requerimientos de administración, compra, transporte, depósito y correcta dosificación de los componentes químicos, limita fuertemente la aplicación de este tipo de tecnología.

La tecnología Filtración Lenta en Arena (FLA) ha tenido sucesivamente aplicaciones en Europa y Norte América para tratar aguas superficiales con bajo nivel de contaminación (Rahwal et al, 1998; Sims and Slezak, 1991), sin embargo países de Latinoamérica como Brasil (Hespanhol, 1969; Di Bernardo et al, 1999), Perú (Camepa, 1982; Pardón, 1989) y Colombia no han tenido experiencias trascendentales con FLA, pues la tecnología no fue aplicada en armonía con las condiciones locales.

Las condiciones locales hacen referencia al mal uso y pobre protección de las cuencas, contaminación de las corrientes con sólidos y vertimientos domésticos, agropecuarios, industriales y mineros, También se considera el régimen y variación de lluvias en la región con implicaciones en el aumento ó disminución de la concentración de lodos en las corrientes de agua, y en consecuencia, el taponamiento de los filtros lentos en arena.

Según la geografía y topografía, Colombia tiene un promedio de lluvias de 3.000 mm, donde el 88% del territorio presenta valores superiores a 2.000 mm, teniendo Sur América un promedio de 1.600 mm/año y a nivel mundial 900 mm/año (Ministerio del Medio Ambiente, 1996).

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME), que es una combinación de FLA y filtros en grava, es una tecnología que emerge como solución para superar parte de las limitaciones de FLA. El desarrollo de la filtración en múltiples etapas empezó en Latinoamérica en 1980 con prometedores resultados (Pardón, 1989; Galvis et al 1989).

La integración de estas etapas de filtración permite el tratamiento de agua con niveles de contaminación más elevados que aquellos con que podría operar la tecnología de FLA, independientemente, sin sacrificar las bondades asociadas con sus bajos requerimientos de infraestructura física y de mano de obra con mínimo nivel de escolaridad, siendo la tecnología más recomendada para la zona rural.

Aunque muchas de las limitaciones existentes para la aplicación de FLA en nuestro contexto han podido ser superadas con la introducción de los sistemas de pretratamiento en gravas, aun persisten limitaciones que afectan una mejor aplicación de esta tecnología. Una de ellas lo constituye la corta duración de las carreras de filtración, lo cual demanda una alta dedicación del operador en labores de operación y mantenimiento.

De otra parte el componente de mayor peso porcentual en costos de inversión inicial, lo tiene el FLA. Para cinco alternativas de FiME estudiadas, el costo de FLA varía entre 37 y 55%, indicando que la optimización de FLA produciría un mayor impacto en los costos de inversión del sistema (Galvis, 1999).

Una opción para disminuir los costos de inversión inicial, ha venido siendo estudiada en Inglaterra y Brasil y esta asociada al uso de mantas sintéticas y naturales no tejidas como medio de protección y remoción de sólidos y turbiedad, en las unidades de FLA. Las investigaciones desarrolladas han mostrado que es posible extender las carreras de filtración en un factor de 0.6 a 4.8, usando velocidades de filtración entre 0.15 y 0.30 m/h y altura de lecho de arena entre 0.30 y 0.80 m (Graham, et al 1996; Mbwette and Graham, 1987; Mbwette 1989; Di Bernardo et al 1991; Paterniani, 1991). Estos resultados indican que además de permitir la reducción en las labores de operación y mantenimiento, abren la posibilidad de optimizar FLA, reduciendo su costo de inversión inicial al poder utilizar velocidades de filtración más altas y menores longitudes de lecho filtrante.

Tales resultados también abren la posibilidad de optimizar los filtros lentos existentes y en particular los que ya han alcanzado su periodo de diseño. En este sentido con solo introducir la manta podría incrementarse la capacidad del sistema a muy bajo costo, y prácticamente sin la construcción de nueva infraestructura.

En el presente documento se resumen los resultados de la investigación realizada en Colombia por la Universidad del Valle a través del Instituto Cinara y con el apoyo financiero de Colciencias, en el uso de mantas naturales y sintéticas en la protección de los lechos filtrantes de filtros lentos en arena, en medios tropicales. El objetivo general de la investigación fue identificar el potencial de las mantas sintéticas y naturales como sistemas de protección a unidades de filtración lenta en arena, que son

operadas como una de las etapas de tratamiento dentro de sistemas FiME, bajo ambientes tropicales.

## **2 INFORMACIÓN SOBRE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO**

### **2.1 LA DISPONIBILIDAD DE MANTAS SINTÉTICAS Y NATURALES EN COLOMBIA**

#### **2.1.1 Introducción**

Por tratarse de un tema relativamente reciente y focalizado inicialmente en estudios a escala piloto, no existen normas específicas que condicionen la realización de ensayos en filtros con mantas no tejidas utilizados en el tratamiento de agua para consumo humano. A pesar de esto, existe una gran tradición en el empleo de las mantas no tejidas como filtros en obras geotécnicas.

Aun así existen grandes diferencias con algunos tipos de obras geotécnicas, en las cuales las mantas son proyectadas previendo un tiempo de vida útil superior a 100 años, debido a la dificultad de sustituirlas y donde se exige alta resistencia a la degradación química y ambiental, sin perder sus propiedades físicas y mecánicas para las cuales fueron proyectadas. A diferencia, en estaciones de tratamiento de agua, una condición esencial para las mantas, la constituye, la facilidad de ser removidas para su limpieza o sustitución, una vez agotadas sus propiedades hidráulicas y mecánicas.

El uso de mantas no tejidas en los filtros lentos en arena es una alternativa que ha sido estudiada solo a nivel de laboratorio y escala piloto, presentando muy buenas perspectivas para la optimización del proceso en plantas de tratamiento que utilizan filtración lenta en arena, sin la necesidad de hacer grandes inversiones de capital. El objetivo principal de este capítulo es hacer una revisión de la disponibilidad de mantas y/o geotextiles disponibles en el mercado nacional, y caracterizar algunos tipos que pueden ser potencialmente empleados en la protección de los lechos de FLA.

#### **2.1.2 Antecedentes**

En Inglaterra Mbwette y Graham (1990) estudiaron ampliamente las propiedades y características de diferentes tipos de mantas sintéticas, encontrando que generalmente las mantas se pueden clasificar en dos grandes grupos, tejidas y no tejidas; concluyen que las mantas tejidas no son apropiadas para FLA, pues poseen un espesor muy fino, una porosidad y área superficial específica muy bajas, por lo cual la probabilidad de remover partículas y almacenarlas es también baja en comparación con las mantas no tejidas, que presentan mejores características en este sentido.

Las mantas no tejidas pueden ser producidas por diferentes técnicas industriales, con diferentes materiales y diferentes diámetros de fibras; de ahí la gran variedad de mantas que pueden ser encontradas en el mercado.

Las mantas no tejidas pueden ser clasificadas con base en el origen y procedencia de la materia prima a partir de las cuales son fabricadas, tal como se presenta en la tabla 2.

**Tabla 2. Calificación de algunos tipos de fibras naturales y sintéticas**

Origen	Procedencia	Nombre
Vegetal	Simiente	Algodón, coco
	Tallo	Lino, rami, cañamo, jute
	Hojas	Sisal, caroa, Figue
Sintéticas	Policondensación	Poliéster policarbamida poliamida
		Poliétileno Polipropileno elastodieno
	Polimerización	Multipolimeras, Acrílico, Modacrílico, Vinal, Vinilo, Poliestireno Policloruro de vinilo Policloruro de vinildeno
		Politetrafluor etileno Policloro trifluoretileno
		Poliadición

Debido a factores tales como diversidad, menor precio y uniformidad en sus propiedades físicas, las fibras sintéticas son más comúnmente usadas en mantas no tejidas que las fibras naturales. De las sintéticas, las fibras de polipropileno son las más comúnmente empleadas debido a su bajo costo, resistencia a la abrasión, al calor, a la radiación ultravioleta, al ataque de compuestos como ácidos, alcalinizantes y agentes oxidantes; además, ausencia de grupos polares que facilitan su lavado.

### **Mantas no tejidas como medios filtrantes**

Aunque los modelos descriptivos de filtración en medio poroso y fibrosos son parecidos, estos dos medios presentan grandes diferencias en lo que se refiere a propiedades tales como: porosidad, permeabilidad, superficie específica, espesor y

tamaño de los poros. El conocimiento de las propiedades mecánicas e hidráulicas de las mantas no tejidas son esenciales para su adecuada utilización en sistemas de filtración.

La durabilidad de las mantas sintéticas está relacionada con las propiedades de los polímeros de las cuales están fabricadas. Para cuantificar las propiedades de estos materiales, es necesario conocer su estructura a nivel supermolecular, molecular y químico. Mientras que en las mantas naturales su durabilidad dependerá de que tan rápido, tanto microorganismos como hongos y bacterias puedan degradar la materia orgánica de las fibras.

Las propiedades hidráulicas y mecánicas de las mantas están directamente relacionadas con el tipo de fibra y/o filamento empleado y con la técnica utilizada en su producción. Las propiedades hidráulicas de las mantas no tejidas son descritas en la tabla 3.

**Tabla 3 Propiedades Hidráulicas características de mantas no tejidas**

Propiedad	Observaciones
Porosidad	Generalmente mayor al 70% y usualmente entre el 80 - 99 %
Conductividad Hidráulica	Debido su alta porosidad, la conductividad hidráulica es considerablemente mayor que una arena típica utilizada en FLA.
Filtrabilidad	El coeficiente de filtración de la manta limpia depende de la superficie específica, del diámetro y material de las fibras, así como de la distribución de poros en la manta.
Superficie Específica	Depende de la densidad de la manta; por poseer mayor superficie específica que la arena es considerada un mejor medio filtrante; los mejores resultados se han obtenido con mantas de superficie específica entre 10000 y 20000 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> . (Graham et al 1994).
Tamaño de los poros y espesor	Al aumentar el espesor de la manta, la distribución del tamaño de poros es controlada por los poros de menor tamaño. Mantas con múltiples capas que presenten estratificaciones porométricas y de conductividad hidráulica pueden mejorar la eficiencia hidráulica del conjunto total (Heerten et al, 1985).

### 2.1.3 Metodología

Se realizó un inventario de las mantas naturales y sintéticas disponibles en el país, se identificaron y contactaron, fabricantes, proveedores e importadores de geo-textiles en Colombia, quienes suministran información sobre las características mecánicas, químicas y de comportamiento hidráulico de las mantas producidas ó importadas; adicionalmente se solicitó muestras de las mantas.

Con base en la información obtenida, se organizó una matriz que incluyó las propiedades de mayor interés para los propósitos de esta investigación; las propiedades fueron determinadas con base en la revisión bibliográfica.

Aunque se solicitó toda la información disponible sobre las características de las mantas, incluyendo procesos de producción, la información fue suministrada parcialmente, pues algunas mantas eran importadas y en otros casos, la información fue considerada como reserva de los fabricantes.

Otra información como la porosidad de la manta y el área superficial específica, no se consiguió a través de los fabricantes por ser demasiado específica. A las mantas identificadas con mayor potencial, se determinó a nivel de laboratorio, el diámetro de fibra, el cual fue la base para calcular los parámetros requeridos.

#### **2.1.4 Presentación y Discusión de Resultados**

##### **Inventario de Mantas**

En desarrollo de esta actividad se visitaron fabricantes, importadores y proveedor de las mantas tanto sintéticas como naturales. La gran mayoría de las mantas sintéticas son importadas, de las cuales se logró obtener información de 106 mantas respecto a características como origen o procedencia, método de fabricación, proceso de consolidación del velo, tipo de fibra, espesor y conductividad hidráulica.

Respecto a las mantas naturales, a pesar de que en Colombia existen más de 250 tipos de fibra natural (Mier, 1997) solamente la fibra de fique se emplea industrialmente en la fabricación de mantas no tejidas, encontrándose un solo fabricante, la Compañía de Empaques S.A de Medellín, quienes fabrican tres tipos de manta natural:

Ecomusgo: Cuenta con una malla de polietileno que permite la adhesión de las fibras de fique. Actualmente se utiliza para reemplazar el musgo natural que adorna los pesebres en periodo de navidad. Se fabrica con base en las fibras cortas de fique sobrante de otros procesos y con la longitud entre 4 y 5 cm. El método de consolidación del velo es de tipo mecánico, haciendo que la manta tenga un peso que varía entre 400 y 430 gr/m<sup>2</sup>. La manta puede ser teñida total ó parcialmente con colorantes verde, café o rojo; también puede ser blanqueada con soda cáustica, para ofrecer un color natural.

Agro textil fique: Utilizada para revegetalización en el control de taludes. Elaborada con fibras de fique de desperdicio, que presentan una longitud de 4 a 5 cm. La manta es fabricada con base en un proceso mecánico y con una malla base del mismo material, que le permite la adhesión de las fibras. Cuenta con un peso de aproximadamente 360 gr/m<sup>2</sup> y espesor de 7 cm. Esta manta debido a su bajo peso y al método de consolidación de las fibras presenta poca adherencia, lo cual limita mucho su utilización como medio filtrante.

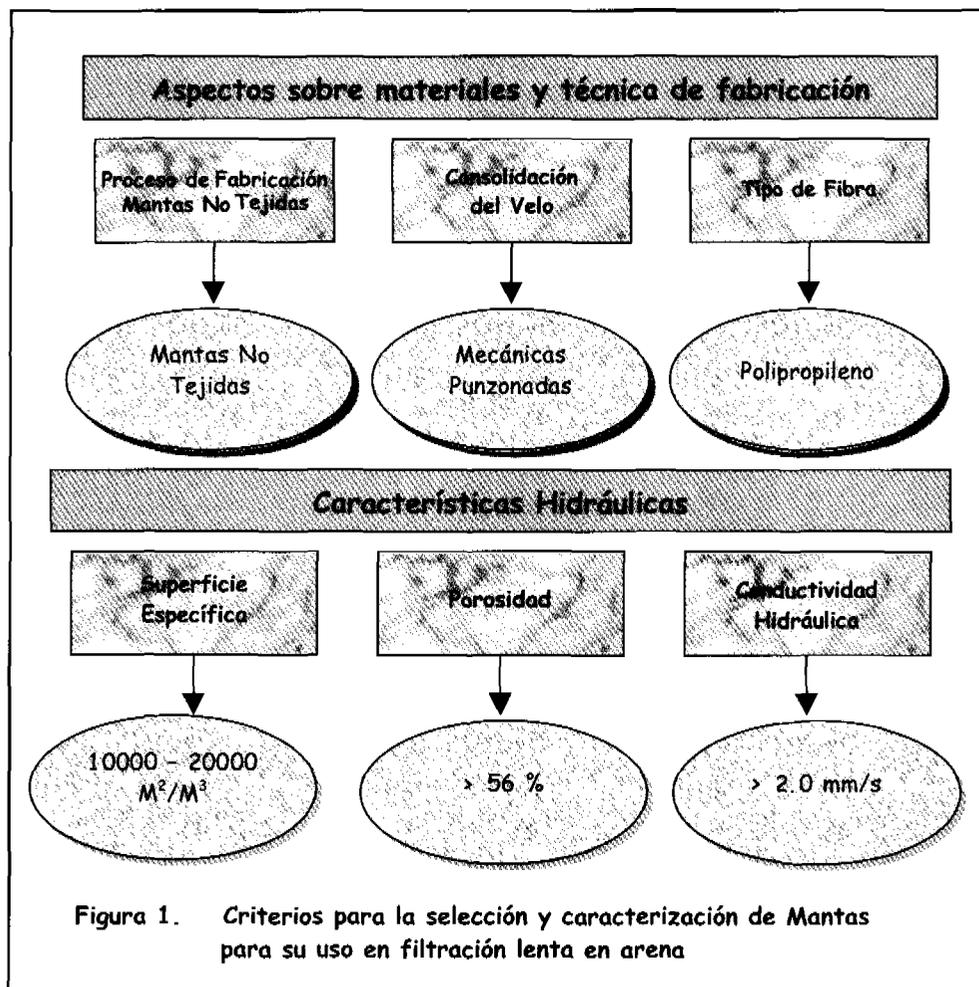
Felpa: Utilizada normalmente como aislante térmico en los carros y en la elaboración de colchones. Aunque también se utilizan fibras de desperdicio o de tercera clase para su elaboración, éstas presentan longitudes del orden de 15 cm o más. Su método de fabricación es de tipo mecánico y exceptuando las que son utilizadas como aislante térmico, las demás son elaboradas con tela de polipropileno, colocada en la mitad de la manta, lo cual limita su utilización como medio filtrante, pues lo hace casi impermeable. Su espesor normalmente alcanza los 5.0 cm, pero podría llegar hasta 10.0 cm. El peso es de aproximadamente 1000 gr/m<sup>2</sup> para las utilizadas como aislante térmico y de 1200 a 1500 gr/m<sup>2</sup> cuando se utilizan en la producción de colchones.

### **Principales propiedades a considerar para la caracterización y selección de las mantas**

Acorde con la revisión de literatura realizada en desarrollo del proyecto, varias son las propiedades que se consideran de importancia para la selección y caracterización de las mantas sintéticas a utilizar en la protección del lecho filtrante del FLA, tal como se describe en la figura 1.

De las 106 mantas sintéticas encontradas en el inventario realizado, la selección de las mismas se limitó a escoger las que presentaran características como las indicadas en la figura 1. Se excluyeron aquellas mantas que no tuvieran adecuada información en términos de sus propiedades físicas e hidráulicas, o no se dispuso de muestra para su inspección visual y determinación del diámetro de fibras, característica requerida para calcular la porosidad y el área superficial específica.

En lo relativo a mantas naturales, solo se consideraron como mantas con posibilidades de uso, el EcoMusgo y la Felpa utilizada como aislante térmico, sin embargo su posibilidad de uso real esta condicionado al efecto de degradación que ellas puedan presentar.



Las mantas naturales presentan una superficie específica baja, debido al mayor diámetro de fibra. Estos valores tan bajos indican que este tipo de mantas podrían no ser un buen elemento filtrante, sin embargo se han incluido y recomendado para su evaluación en el presente proyecto ya que no se disponen de otras alternativas.

En la tabla 4, se presentan las mantas sintéticas y naturales disponibles en Colombia que presentan las características deseadas para su aplicación en FLA.

### 2.1.5 Conclusiones y Recomendaciones.

Desde el punto de vista teórico existen en Colombia diferentes tipos de mantas sintéticas y naturales que podrían ser utilizadas para protección de los filtros lentos en arena.

**Tabla 4. Mantas seleccionadas como potenciales para su aplicación en Filtración Lenta en Arena**

Fabricante	Referencia	Conductividad Hidráulica (mm/s)	Espesor (mm)	Porosidad (%)	Area superficial Específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
PAVCO	NT-1400	4.6	1.35	90.75	11212
PAVCO	NT-1600	4.5	1.40	89.01	15160
PAVCO	NT-1800	4	1.50	87.94	15563
PAVCO	NT-2000	3.4	1.70	87.71	15860
AMOCO	4553	4.0	2.60	87.32	18785
AMOCO	4510	5.0	3.80	89.01	13736
AMOCO	4545	4.0	1.10	86.51	19266
AMOCO	4550	4.0	1.40	85.87	16147
AMOCO	4512	5.0	4.40	88.76	15502
AMOCO	4514	5.0	4.80	88.10	13605
AMOCO	4516	5.0	5.40	87.79	12853
MIRAFI	140N	2.6	1.44	87.30	18822
NIVER	2000	4.1	2.00	86.81	17582
NIVER	3000	4.1	2.40	88.42	14042
Cia Empaques*	Eco-Musgo		7.00	90.77	1758
Cia Empaques*	Felpa		9.00	81.20	3580

\* Manta con fibra Natural

Aunque en el país existen muchas fibras naturales solo la de fique es utilizada industrialmente para la producción de mantas no tejidas, constituyéndose en la única alternativa para ser utilizada en la protección del lecho filtrante de FLA. Por este motivo se recomendó el uso de Ecomusgo y Felpa tipo aislante térmico, para ser evaluadas a escala piloto.

## 2.2 EVALUACIÓN TECNICA

### 2.2.1 Introducción

En este ítem se presentan los resultados del estudio de la viabilidad técnica de usar mantas sintéticas y naturales como medios para proteger las unidades de FLA, como un aspecto dentro del proyecto de investigación "Uso de mantas sintéticas y naturales para proteger los lechos de filtros lentos en arena, en ambientes tropicales".

El estudio fue desarrollado a nivel de planta piloto en la Estación de Investigación del Instituto Cinara, dentro de la planta de tratamiento de agua, EMCALI, Puerto Mallarino, Cali, Colombia; también se realizó una aplicación, a escala real, de mantas sintéticas sobre los filtros lentos en la planta FiME del Club Shalom en la ciudad de Cali, Colombia.

En la evaluación realizada se estudiaron los siguientes aspectos de manera particular:

- Impacto realizado por filtros lentos, sobre el mejoramiento de la calidad del agua, cuando se utilizan mantas sintéticas y naturales en la superficie del lecho filtrante y sin ellas.
- Comparar el impacto en la duración de carrera de los filtros lentos en arena cuando utilizan mantas sintéticas y naturales y sin ellas.
- Comportamiento del desarrollo de la pérdida de carga en unidades de filtración lenta en arena que utilizan mantas sintéticas y naturales.

## 2.2.2 Antecedentes

### El uso de mantas sintéticas en la filtración lenta en arena

Desde la década de los ochenta se iniciaron varias investigaciones, principalmente en Inglaterra y Brasil, orientadas a estudiar la aplicación de mantas sintéticas no tejidas colocadas sobre la superficie de arena de los filtros lentos con el fin de verificar la posibilidad de aumentar la duración de las carreras de filtración o el aumento de la velocidad de filtración.

La aplicación de las mantas sintéticas o naturales en la superficie de la arena de los FLA, concentra la mayor parte de los procesos de purificación en la manta y no en la superficie de la capa de arena (Graham et al, 1996). Esto puede ser explicado porque las propiedades estructurales de las mantas no tejidas ofrecen un medio filtrante más eficiente que la arena. Sin embargo, hasta el momento, no existe un modelo teórico que permita la descripción unificada de los cambios hidrodinámicos, físicos y biológicos que ocurren en el ciclo de un FLA. Consecuentemente, la valoración del funcionamiento de cualquier alternativa de medio filtrante diferente a la arena debe ser realizado con base en la teoría clásica de filtración, con la ausencia de los efectos biológicos.

En este sentido, dos propiedades son importantes en la evaluación de cualquier medio: la permeabilidad y la filtrabilidad. La permeabilidad esta definida como la resistencia del medio al flujo a través del poro, mientras que la filtrabilidad es la habilidad del medio para retener partículas del afluente.

Una comparación de la filtrabilidad típica de un medio filtrante de FLA, con una manta de área específica de aproximadamente  $20000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , sugiere que ésta presenta un coeficiente de filtración 4.4 veces mayor que la arena, representando un mayor incremento en la filtrabilidad (Graham et al, 1994). Esta discusión sugiere que las

mantas sintéticas no tejidas son un medio de filtración más eficiente que la arena.

Diferentes estudios experimentales utilizando mantas sintéticas no tejidas en filtros lentos son reportados por Graham et al, 1994. Inicialmente los estudios fueron orientados a comparar directamente el comportamiento de las mantas, por lo cual la selección de las mantas se realizaba de manera empírica (Liversidge, 1982; Wheeler et al 1983a y 1983b). Mbwette (1989), realizó diferentes evaluaciones utilizando un amplio rango de calidades de agua y diferentes velocidades de filtración. En cada caso el funcionamiento del filtro fue determinado como una relación entre el tiempo de carrera de un filtro protegido por la manta y el tiempo de carrera de un filtro de referencia sin manta. Esta relación es conocida como el factor de aumento de la carrera de filtración. La relación puede usarse como una variable universal para medir el funcionamiento de las mantas, que es independiente de la calidad del agua afluyente y la velocidad de filtración de los FLA (Graham et al, 1994).

La relación de las carreras de filtración, mencionada anteriormente, como una medida de funcionamiento del filtro, no provee información sobre la penetración de las partículas en la arena, por lo tanto la filtrabilidad y el espesor de la manta deben ser correctamente especificados para evitar la penetración de partículas; Espesores entre 15-30 mm, con un área superficial entre 13000 y 15000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> son los indicados para proteger el lecho de arena contra el rápido desarrollo de pérdida de carga, cuando la velocidad de filtración esta entre 0.15-0.30 m/h (Graham et al, 1994).

Di Bernardo et al (1994), investigaron la posibilidad de utilizar unidades de FLA de menor altura en combinación con mantas sintéticas no tejidas seleccionadas previamente. Los resultados del experimento demostraron que la presencia de las mantas puede incrementar la duración de carreras en un factor de 1.3 a 2.9, dependiendo del número de capas y de el tipo de manta. Adicionalmente, el estudio concluyó que unidades de FLA con 30 cm de lecho filtrante y protegidos con mantas, pueden producir un efluente de aceptable calidad, cuando la turbiedad en el afluyente esta limitada a 5 UT y el color a 20 UC.

Un estudio similar al mencionado anteriormente es reportado por Graham et al (1996), usando lechos filtrantes con 50, 30 y 20 cm de capa de arena y una manta con las siguientes características: composición de la fibra -propileno; diámetro promedio de fibra- 31.3 um; espesor nominal 3.2 mm; porosidad 90%; área superficial específica- 13163 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Cada filtro contó con seis capas de esta manta, provocando un espesor de manta total de aproximadamente 2 cm. Los resultados obtenidos

indicaron que la eficiencia del tratamiento es sistemáticamente reducido con la disminución de la profundidad del lecho de arena. Sin embargo, la calidad del agua filtrada en la unidad con 20 cm de lecho filtrante, fue consistente con las recomendaciones de la OMS.

### **El uso de manta naturales**

La investigación más reciente ha estado orientada al uso de las mantas de fibra natural en la protección de las unidades de FLA. Para ello, dos razones son presentadas por Luxton and Graham (1996): a) abrir nuevos mercados a las fibras naturales tropicales, b) proteger los FLA en los países menos desarrollados, con el uso de materia local, (mantas naturales), pues las fibras sintéticas deben ser importadas y en algunos casos aunque se pudiera producir localmente hay poca manufactura de mantas.

Las fibras naturales seleccionadas son las vegetales, ya que usualmente presentan buena disponibilidad en términos de localización y volumen. Las fibras animales presentan altos costos y poca disponibilidad en términos de cantidad (Luxton and Graham, 1996).

Estudios preliminares usando mantas con fibras naturales como Abaca, Sisal, Flax y Coir, indican que el periodo entre limpiezas del FLA se logró incrementar en un factor de 2 respecto a un filtro que contenía solo arena (Luxton and Graham, 1998). Sin embargo, sus mayores inconvenientes se presentan debido a la degradación que puede sufrir la fibras por acción de los microorganismos presentes en el agua a tratar y en el filtro lento. Este fenómeno puede ser intensificado en un ambiente tropical como el Colombiano, ya que las variaciones de temperatura son más bajas que en ambientes estacionales como Inglaterra y Brasil donde se han realizado este tipo de estudios.

En Colombia, la fibra sobre la cual se tiene mayor información hasta el momento es el fique. Planta que pertenece a la familia Agavaceae, y se ubica dentro del género *Furcraea*. Algunas de las especies más frecuentes son: *F. cabuya*, *F. gigatea*, *F. exapetala*, *F. humboldtiana*, *F. macrophylla*, *F. andina* entre otras (Delvasto- 1997). La variedad de fique más utilizada en el Departamento de Cauca, en Antioquia y Nariño es la "uña de aguila", esta variedad da lugar a la fibra de mejor calidad en todas sus condiciones, tanto en el número de fibra por hoja, cantidad de fibra, en el tamaño de su hoja que puede alcanzar hasta 3.20 m, y en sus características de resistencia (Palacio, 1997).

### 2.2.3 Metodología

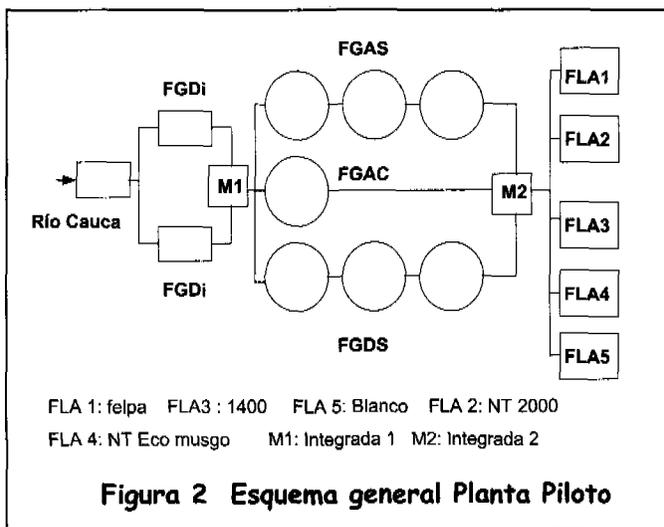
La evaluación fue realizada a nivel de planta piloto en la Estación de investigación del Instituto Cinara - Universidad del Valle, en predios de la planta de tratamiento de agua para consumo humano de EMCALI, en Puerto Mallarino, en Cali, Colombia. La aplicación de los resultados obtenidos, fue realizada en una planta ya construida a escala real que utiliza como tecnología de tratamiento FiME. La Estación esta localizada en el Valle geográfico del río Cauca, a una altura de 980 m.s.n.m. y una temperatura ambiental promedio de 24° C. En la Foto 1 se presenta la Estación de Investigación, en donde se desarrolló el presente proyecto.

El agua cruda utilizada para el estudio corresponde al río Cauca, una fuente superficial de valle, la cual presenta un caudal promedio anual de 130 m<sup>3</sup>/s. Por el estado de su cuenca cuenta con un gran arrastre de sólidos, que genera turbiedad por encima de las 100 UNT, particularmente durante los periodos de lluvia. También presenta una gran contaminación de tipo microbiológico, por los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales sin tratamiento que se vierten sobre el Río.



Foto 1 Estación de Investigación Universidad del Valle, Cinara. EMCALI, Puerto Mallarino, Cali, Colombia.

La planta piloto utilizada en este estudio y que se esquematiza en la Figura 2, corresponde a un sistema FiME, que utiliza pretratamientos con dos unidades de



filtración gruesa dinámica (FGDi), funcionando con velocidad de filtración de 3.0 m/h; el efluente de los FGDi se mezcló (M1) y se distribuyó hacia tres opciones de filtros gruesos operando en paralelo, con velocidad de filtración de 0.30 m/h: un filtro grueso ascendente en serie (FGAS), un filtro grueso ascendente en capas (FGAC) y un filtro grueso descendente en serie (FGAS). El efluente de los filtros gruesos se mezcló (M2) y distribuyó a cinco unidades de filtración lenta en

arena, cuatro de ellas acondicionadas con una manta natural o sintética y uno sin manta utilizado como blanco.

Los filtros lentos utilizados en la investigación fueron construidos en ferrocemento, con diámetro interno de 2.0 m y altura total de 2.15 m. La arena utilizada, en estas unidades, presentaron un coeficiente de uniformidad de 2.35; tamaño efectivo de 0.22 mm; y altura inicial de lecho de 0.8 m. En la foto 2 se observan las unidades piloto utilizadas en la investigación.

Los filtros lentos fueron operados a una velocidad de filtración de 0.15 m/h, sin embargo, se consideró un periodo de maduración inicial del filtro donde la velocidad de operación fue de 0.10 m/h. El periodo de maduración se consideró, acorde con lo propuesto por Sánchez, 1996 y corresponde al tiempo en el cual los filtros lentos presentaron en su efluente niveles de coliformes fecales inferior a 10 UFC/100 ml.

Para la evaluación se seleccionaron dos mantas con fibra sintética y dos con fibra



Foto 2 Unidades piloto utilizadas en la investigación.

natural. En el caso de las mantas sintéticas se utilizaron las referencias NT 1400 y NT 2000. Mientras que las naturales utilizaron material disponible en Colombia: el eco musgo y la felpa. Las características generales de cada una de las mantas evaluadas se presenta en la tabla 5, y en la Foto 3 se aprecia la instalación de las mantas natural y sintética. El número de mantas utilizado en cada caso se determinó con base en la relación entre superficie específica, espesor de mantas y duración de carrera, determinado por Grahom, et al (1996).

**Tabla 5** Características generales de las mantas evaluadas en la planta piloto.

Propiedad	NT 1400	NT 2000	Eco Musgo	Felpe
Espesor (mm)	1.35	1.7	7	9
Porosidad %(calculada)	90.7	87.7	90.8	81.2
Diámetro promedio de fibra (mm)	33	31	215	215
Densidad de Manta (g/cm <sup>3</sup> )	0.0842	0.09	0.073	0.149
Area superficial Específica (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	11212	15860	1758	3580
Número de mantas	9	6	2	2
Espesor total Usado (mm)	11.6	10.2	14	18

Dos periodos de evaluación fueron realizados, en cada periodo se trató de arrancar las unidades piloto - bajo las mismas condiciones de altura de lecho, contenido de lodo y velocidad de filtración.

La calidad del agua fue monitoreada tanto en el agua cruda como a la entrada y salida de las unidades estudiadas, con base en los parámetros turbiedad, color real, sólidos suspendidos y coliformes fecales. Para evaluar el comportamiento hidráulico de las unidades de FLA, se midió la pérdida de carga tanto en la manta como en diferentes alturas del lecho filtrante. Se consideró que la carrera de filtración finalizaba cuando el FLA alcanza una pérdida de carga de 0.70 m.



La aplicación a escala real fue desarrollada en la planta FiME del Club Shalom, localizada en el valle geográfico del Río Pance, en la ciudad de Cali, a una altura de 980 m.s.n.m. y temperatura ambiental promedio de 24°C durante todo el año.

El agua cruda utilizada corresponde al río Pance, una fuente superficial de ladera, con caudal promedio anual de 2 m<sup>3</sup>/sg. Su cuenca presenta alta intervención humana, particularmente los fines de semana, cuando es utilizada como sitio de recreación por unas 10000 personas aproximadamente, alterando notablemente las características del agua cruda.

La planta FiME del club Shalom trata un caudal aproximado a 1 l/s, y tiene las siguientes estructuras de tratamiento: un filtro grueso dinámico, un filtro grueso ascendente en capas y dos filtros lentos en arena, que operan con una velocidad de filtración de 1.5, 0.6 y 0.15 m/h respectivamente.

Una de las dos unidades de Filtración Lenta en Arena (FLA), del Club Shalom fue acondicionada con 6 mantas sintéticas NT-2000 de Pavco sobre el lecho de arena,

mientras que la otra se utilizó como blanco.

## **2.2.4 Presentación y Discusión de Resultados**

### **Calidad de Agua Cruda y Pretratada**

Durante la evaluación, el agua cruda presentó niveles de turbiedad distintos para los dos periodos de evaluación. En el primer periodo la turbiedad presentó un rango de calidad entre 450 y 50 UNT, con promedio de 125 UNT; mientras que en el segundo entre 790 y 14 UNT, con promedio de 65.8 UNT, lo que indica que en la región se presentaron dos periodos climáticos diferentes que afectaron la calidad del agua cruda. En ambos periodos los parámetros coliformes fecales, turbiedad, color real y sólidos suspendidos estuvieron muy por encima de los niveles máximos recomendados por Galvis et al 1998 y Galvis, 1999, para el uso de la tecnología FiME en fuentes superficiales de Valle.

Esta baja calidad presentada en el agua cruda, originó que el efluente del sistema de pretratamiento no se alcanzara los niveles deseables de turbiedad, sólidos suspendidos y color para ser tratado por los filtros lentos en arena.

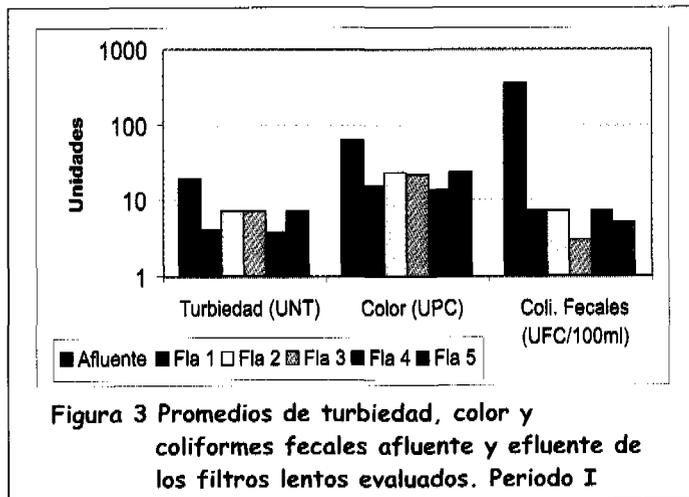
A pesar de esta baja calidad de agua, los filtros lentos presentaron un periodo de maduración durante los primeros 43 días de operación. Durante este periodo los coliformes fecales en el efluente de los FLA pasaron de un valor cercano a 1000UFC/100 ml a 10 UFC/100 ml, valor en el cual se conservo el resto de la carrera de filtración, llegando en algunos casos a 0 UFC/100 ml.

En todos cinco filtros el comportamiento del proceso de maduración fue muy similar, y al parecer el efecto de la introducción de manta no representó gran influencia sobre la duración del periodo de maduración, contrario a lo que podría suponerse con las mantas naturales, en las cuales se esperaría un proceso maduración más rápido que en las sintéticas, dada la mayor cantidad de sustrato disponible para la formación de la capa biológica.

### **Calidad Efluente y Eficiencia de los FLA**

Las unidades con manta natural alcanzaron una calidad de agua efluente, en los parámetros turbiedad y color, que en promedio cumple con la norma colombiana de agua potable (5 UNT y 15 UPC respectivamente; Decreto 475, MinSalud, 1998), mientras que las otras unidades, presentaron promedios más elevados, siendo el FLA sin manta (FLA5) quien presentó la peor calidad.

En la figura 3 se presenta los promedios de calidad de agua a la entrada y salida de los filtros lentos en los parámetros turbiedad, color y coliformes fecales, durante el periodo I. Aunque las reducciones de coliformes fecales son altas y la concentración en el efluente final puede ser considerado de bajo riesgo, acorde con OMS, 1997 (promedio < 3 UFC/100 ml y máximo <25 UFC/100 ml), con lo cual se podría aplicar la desinfección terminal como barrera de seguridad, sin embargo al considerar otros parámetros como la turbiedad y el color se encuentra que estos presentan niveles por arriba de los 5 UNT y de 15 UPC respectivamente, con una frecuencia mayor al 50% en turbiedad y del 90% en el caso del color real.



Las eficiencias promedio alcanzadas por las diferentes unidades de tratamiento incluidas en la planta piloto, tanto para el periodo I como el II, se presentan en la tabla 6. En general estas remociones muestran que las unidades con mantas naturales presentan un mejor comportamiento en la remoción de los parámetros color real y turbiedad, mientras que en la remoción de

presenta una clara diferencia entre ellas. Las remociones encontradas, particularmente en el caso de las sintéticas, son similares a las encontradas por Galvis 1999 y Galvis et al, 1998, en filtros lentos en arena sin mantas, que operaron con velocidad de filtración de 0.15 m/h, lo cual indica que las mantas sintéticas, bajo las condiciones de operación que se presentaron durante la investigación no generan grandes impactos en el mejoramiento de la calidad del agua, mientras que las naturales logran un mejor impacto.

Una comparación estadística realizada tanto para la eficiencia de remoción como para el nivel de contaminación efluente de los filtros lentos en turbiedad, color y coliformes fecales, confirman que en los parámetros turbiedad y color, tanto por eficiencia de remoción como por el nivel del parámetro, en los filtros lentos que utilizan mantas naturales presentan una mayor eficiencia de remoción y una menor contaminación que las unidades que utilizan mantas sintéticas, y que estas respecto al filtro lento sin manta presentan efluentes con calidad muy similar.

En el caso de los coliformes fecales, los resultados del estudio estadístico indican que no existe evidencia para afirmar que se presentan diferencias significativas tanto en la eficiencia remoción como en la concentración del efluente final en cada filtro.

**Tabla 6 Eficiencias de remoción parciales y acumuladas.**

Parámetros	FGD <sub>i</sub>	FG	FLA 1	FLA 2	FLA 3	FLA 4	FLA 5
<b>PERIODO I</b>							
<b>Turbiedad</b>							
Parcial	22.8	80.47	78.76	63.73	63.21	80.83	63.73
Acumulada	22.8	84.92	96.80	94.53	94.45	97.11	94.53
<b>Color Real</b>							
Parcial	8.1	49.6	66.67	63.49	65.08	77.78	63.49
Acumulada	8.1	53.68	84.56	83.09	83.82	89.71	83.09
<b>Sólidos Suspendidos</b>							
Parcial	51.50	98.05	90.00	86.67	85.67	93.33	83.33
Acumulada	51.50	98.71	99.87	99.83	99.82	99.91	99.79
<b>Califormes Fecales</b>							
Parcial	30.7	98.05	98.02	98.02	99.15	98.02	98.58
Acumulada	30.7	98.65	99.97	99.97	99.99	99.97	99.98
Reducción Parcial (Unid. Log)	0.37	3.94	3.92	3.92	4.77	3.92	4.26
Reducción Acumulada (Unid. Log)	0.37	4.30	8.22	8.22	9.07	8.22	8.56
<b>PERIODO II</b>							
<b>Turbiedad</b>							
Parcial	30.82	74.64	86.67	59.81	56.14	80.92	54.69
Acumulada	30.82	82.46	97.05	92.95	91.80	95.90	90.49
<b>Color Real</b>							
Parcial	18.00	59.76	71.43	57.58	54.29	72.50	51.26
Acumulada	18.00	97.00	92.00	86.00	84.00	89.00	81.00
<b>Sólidos Suspendidos</b>							
Parcial	56.80	96.30	90.00	80.00	75.00	85.00	70.00
Acumulada	56.8	98.4	99.84	99.68	99.60	99.76	99.52
<b>Califormes Fecales</b>							
Parcial	64.50	97.66	90.00	80.00	99.68	99.20	99.32
Acumulada	64.50	99.17	999.94	99.997	99.997	99.991	99.993
Reducción Parcial (Unid. Log)	1.04	3.75	5.26	5.71	5.74	4.83	5.00
Reducción Acumulada (Unid. Log)	1.04	4.79	9.80	10.50	10.50	9.40	9.58

### Duración de Carrera

El impacto de las mantas sobre la duración de carrera en los FLAs, para los dos periodos de evaluación, se puede apreciar en la Figura 4. El factor de aumento se reporta como la relación entre la duración de carrera filtro y la duración de carrera del FLA sin manta. Los valores alcanzados son similares a los reportados por Graham, et al (1994), Di Bernardo et al (1994), Mbwette. (1989), Luxton and Graham(1998).

El menor factor de aumento alcanzado por el FLA con la manta natural Eco Musgo, obtenido durante el primer periodo de evaluación, es muy similar a lo reportado por Luxton and Graham (1998), utilizando fibra natural Abaca. La corta carrera de filtración encontrada con el Eco Musgo sugiere que la degradación de la fibra natural podría estar permitiendo que el lodo orgánico generado como subproducto de la degradación se acumule en la arena del filtro ayudando a su rápida obstrucción.

La corta carrera del EcoMusgo y los resultados encontrados durante el primer periodo de evaluación respecto a la degradación de la manta, motivaron la evaluación de una combinación de Felpa con manta sintética (NT 1400). Se supuso que el subproducto de la degradación podría ser retenido en la manta y no en la arena, con lo cual se podría extender la carrera de filtración y mantener una mejor calidad del agua. Los resultados del segundo periodo de evaluación muestran que la duración de carrera de la felpa en combinación con la manta sintética (Felpa 2 en la figura 4), no logró prolongar la carrera de filtración respecto al filtro que solo contenía la manta de Felpa (Felpa 1 en la figura 4).

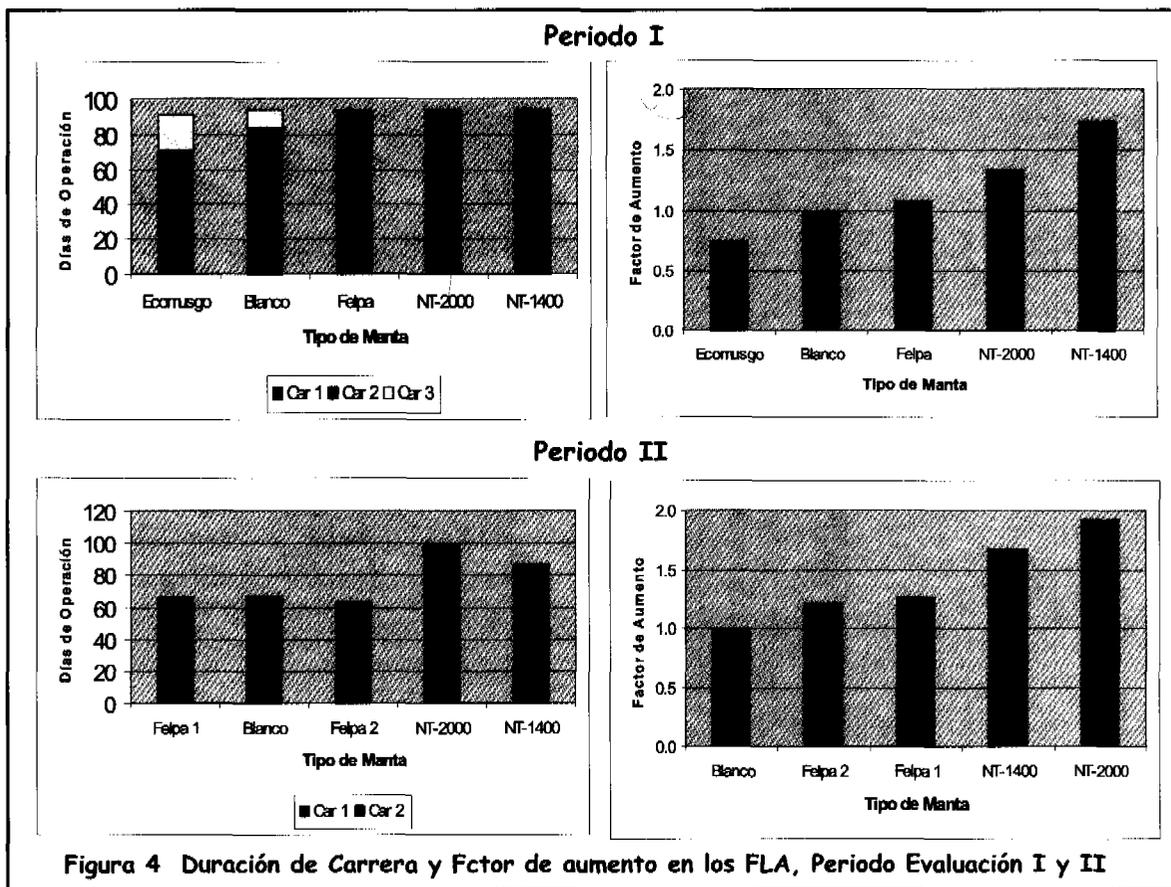


Figura 4 Duración de Carrera y Factor de aumento en los FLA, Periodo Evaluación I y II

Por su parte las mantas sintéticas lograron incrementar la carrera de filtración respecto al FLA sin manta, tanto en el primer como en el segundo periodo de evaluación en un factor que alcanzó el rango de 1.33 a 1.92. Aunque en el primer periodo de evaluación, la mayor duración de carrera se presentó con la manta NT1400, lo cual podría explicarse por la mayor porosidad que presenta esta manta; sin embargo, durante el segundo periodo la mayor duración se presentó en la manta NT2000.

Este resultado indica que la duración de carrera podría estar siendo afectada por otros procesos como por ejemplo el lavado de la manta. Un lavado inadecuado podría permitir la acumulación de partículas y biomasa, disminuyendo la porosidad de la manta y por consiguiente la duración de carrera.

### **Comportamiento de la Pérdida de Carga**

En los filtros que usaron mata, la pérdida de carga se concentró en el lecho de arena y no en la manta, indicando penetración de lodo en la arena. Algunos resultados típicos sobre el desarrollo de la pérdida de carga, a diferentes profundidades de los filtros lentos, durante el primer periodo de evaluación, se presentan en la figura 5.

Los análisis de silt test realizados a la superficie de la arena de los FLA, al finalizar la primera carrera y al inicio de la segunda, confirman la presencia de trasvase de lodo hacia el lecho filtrante. El valor de silt test medido en el FLA sin manta alcanzó el valor más elevado 44%, mientras que en las unidades con manta, estuvieron en el rango de 19 a 25%, correspondiendo los valores más pequeños a las sintéticas.

La información sobre la pérdida de carga también muestra que en el caso del Eco Musgo, y NT2000 la penetración del lodo se presenta hasta por debajo de los primeros 5 cm de arena, sin embargo por la ubicación de los piezómetros no se logro precisar con exactitud la zona donde se presenta la mayor pérdida de carga. En la Felpa y NT1400, la pérdida de carga se concentra en la superficie de la arena. Este comportamiento del Eco Musgo y NT2000 indicaría que el FLA además de requerir del raspado superficial, este debe ser realizado a profundidad, con lo cual se incrementan las labores de operación y mantenimiento.

La penetración de lodo sugiere que no existe claridad sobre el fenómeno de retención del sólido en la manta, requiriéndose mayor investigación sobre este aspecto. Un nuevo estudio que incluya la evaluación de mayores espesores de manta, con porosidad mas baja, así como la combinación de mantas de diferente porosidad y el impacto de la manta sobre el tamaño y distribución de partículas deben ser realizadas.

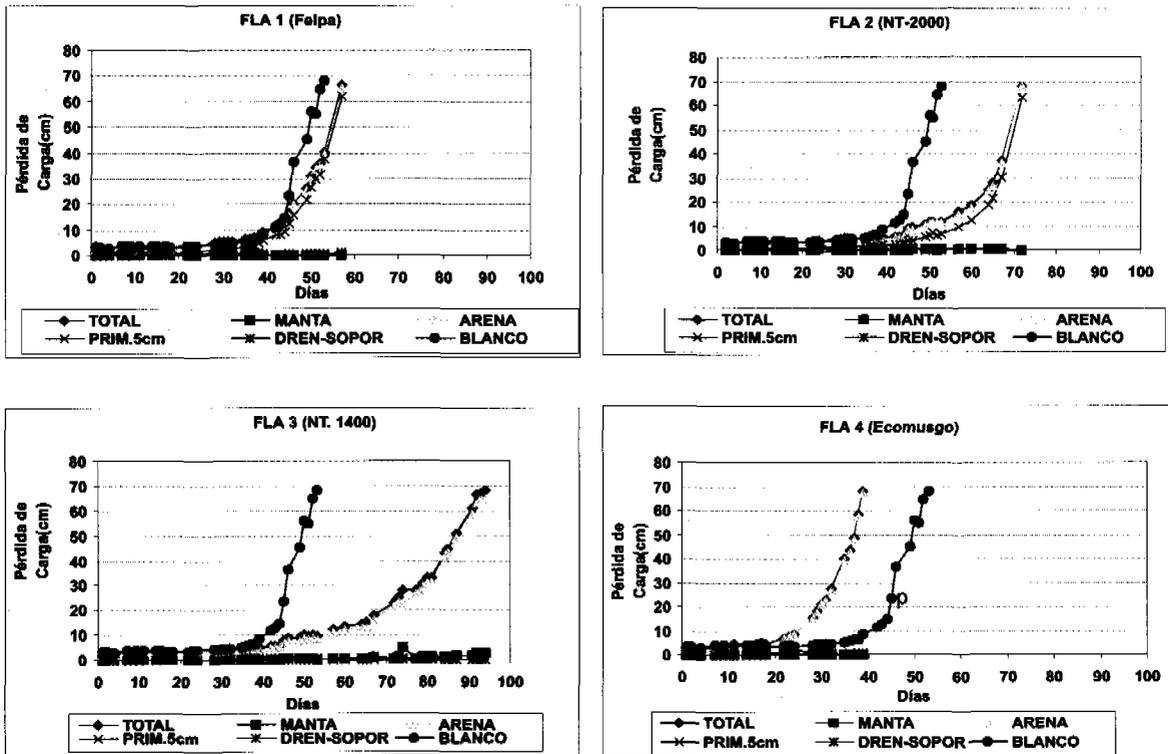


Figura 5 Comportamiento de la pérdida de carga en FLAs, Carrera 1, Periodo I

Las curvas de pérdida de carga también muestran que los filtros con mantas sintéticas consumen el 50% de la pérdida de carga total disponible en aproximadamente en el 90% del tiempo que dura la carrera. Es decir de 30 a 35 cm de pérdida de carga se pierden en los últimos 10 días, si la duración de la carrera fuese de 100 días, o en 5 días si la carrera de filtración alcanza los 50 días. En consecuencia, se podría pensar en una reducción de la altura total disponible para pérdida de carga, sin mayores consecuencias en las labores de operación y mantenimiento.

### Evaluación a Escala Real

En la figura 6 se presentan los promedios de calidad de agua obtenidos en los diferentes puntos de muestreo del sistema de tratamiento. En la figura 6, el FLA1 corresponde al filtro lento sin manta, mientras que el FLA2 posee 6 mantas sintética NT 2000. La foto 4 ilustra las unidades de tratamiento y en particular el filtro lento con las mantas sintéticas instaladas.

En general la figura 6 muestra que tanto el filtro lento acondicionado con la manta (FLA2) y sin manta (FLA1) presenta efluentes con niveles bajos de contaminación en todos los parámetros medidos, evidenciando un riesgo sanitario bajo, que permite la aplicación de la desinfección como barrera de seguridad.

Al comparar los niveles de contaminación y eficiencia

de remoción de los dos filtros lentos, la unidad con manta FLA2, presenta un mejor desempeño que el FLA1, sin manta.

#### Duración de Carrera a Escala Real

La introducción de las mantas sintéticas ha presentado un impacto favorable sobre la duración de carrera del FLA2, la cual hasta el día 4 de enero de 2001, había alcanzado 145 días, mientras que el FLA1 ha realizado durante este mismo periodo, dos carreras y una tercera se encuentra en desarrollo, este hecho implica un el factor de



Foto 4 Filtros lentos en arena, con manta sintética y sin ella. Planta de tratamiento Club Shalom, Cali-Colombia

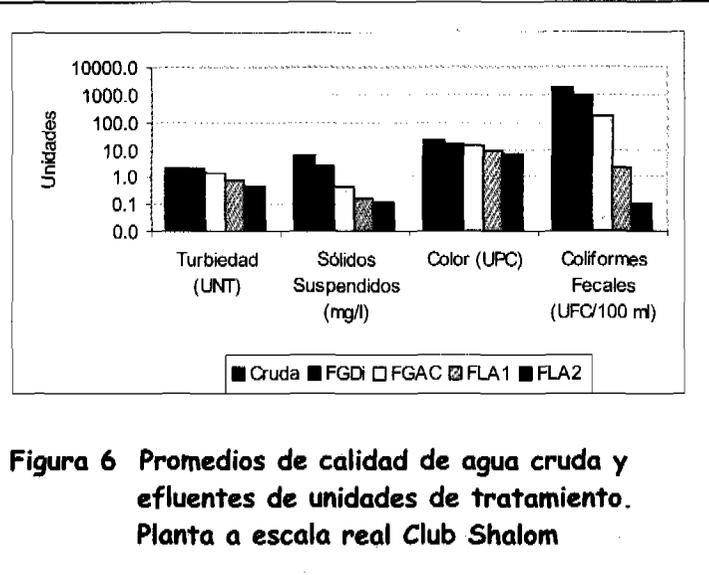


Figura 6 Promedios de calidad de agua cruda y efluentes de unidades de tratamiento. Planta a escala real Club Shalom

aumento de carrera mayor a 2.3.

La pérdida de carga en los dos filtros lentos de arena muestra un comportamiento similar al obtenido en la planta piloto. La mayor parte de la pérdida de carga se presenta en el lecho de arena y no en la manta, sin embargo debido a la prolongación de la carrera de filtración, no se pudo medir el silt test sobre la

superficie del lecho filtrante, lo que podría indicar más claramente si existe trasvase de lodo y si es necesario realizar el raspado superficial del lecho filtrante.

### 2.2.5 Conclusiones y Recomendaciones

La utilización de mantas sintéticas no tejidas como la NT1400 y NT2000 en los filtros lentos en arena permiten extender las carreras de filtración en un tiempo que alcanza casi el doble de la carrera normal, en un FLA sin manta. Esta conclusión es obtenida con base en los datos de la planta piloto de Puerto Mallarino, donde se utilizó agua cruda de una fuente superficial con alto nivel de sólidos suspendidos. Esta extensión de la carrera de filtración podría verse incrementada con fuentes superficiales de mejor calidad como la utilizada en el Club Shalom.

Las mantas naturales aunque mejoran la calidad del agua en parámetros como turbiedad y color real, presentan limitaciones en la duración de carreras, las cuales se disminuyen como en el caso del EcoMusgo, o presentan un pequeño incremento, como la Felpa.

Las mantas tanto sintéticas como naturales permitieron el trasvase de sólidos hacia el lecho filtrante, haciendo que las labores de operación y mantenimiento deban incluir el raspado de la superficie de la arena y en algunos casos un raspado más profundo. Mayor investigación debe ser realizada que permita superar esta limitación, recomendándose que las nuevas investigaciones en Colombia incluyan la mezcla de mantas con diferente porosidad, además del impacto que puede tener la manta en el cambio del tamaño y distribución de partículas presentes en el agua afluyente al FLA.

El desarrollo de la pérdida de carga en los filtros lentos con manta sintética permite suponer que es posible reducir los costos de inversión inicial de los filtros, reduciendo la altura total del filtro. En principio parece que el usar este tipo de mantas permitiría reducir la altura del filtro en aproximadamente 30 cm. Adicionalmente se podría pensar en el incremento de la velocidad de filtración, con lo cual el impacto en la reducción de los costos de inversión inicial podría ser significativo en el caso de las construcciones nuevas, y en las existentes permitiría la ampliación de su capacidad, sólo con la instalación de la manta. Sin embargo, se requiere de mayor investigación que permita estudiar el impacto del incremento de velocidad de filtración en la calidad del agua.

## **2.3 LA DEGRADABILIDAD DE LAS MANTAS NATURALES**

### **2.3.1 Introducción**

El uso de mantas sintéticas en filtros lentos en arena ha sido investigado principalmente en países como Inglaterra y Brasil, sin embargo su aplicación en países menos desarrollados, presenta problemas con la disponibilidad local de la mantas, las cuales, en algunos países, deben ser importadas, limitando de esta manera su utilización más ampliamente.

En recientes investigaciones se ha incluido el estudio de mantas naturales, elaboradas con fibras locales, con el objeto de minimizar el uso de material importado. Sin embargo, dado que las fibras presentan un alto contenido de materia orgánica, su mayor inconveniente es la degradación que pueden sufrir las fibras por acción de los microorganismos presentes en el filtro lento.

El objetivo del presente estudio se orientó a determinar los niveles de degradación que pueden sufrir las mantas naturales y sintéticas, cuando son usadas en la protección de filtros lentos en arena, que operan en un medio ambiente tropical.

### **2.3.2 Antecedentes**

#### **Propiedades de las fibras**

Las fibras naturales presentan un grado más grande de inexactitud debido a la inconsistencia y variabilidad en las propiedades de la fibra. El diámetro de una fibra natural dada, no es constante como en las fibras sintéticas; posteriormente cuando la fibra se encuentra sumergida dentro del filtro, las fibras naturales son aumentadas hasta un 20 % por la absorción de agua, indicando que sus propiedades como: diámetro de la fibra, porosidad y superficie específica pueden ser diferentes a las asumidas cuando estas se encuentran secas. ( I. Doraiswamy. South India Textiles Association, citado por Luxton et al, 1998).

Las propiedades de las mantas con fibras naturales son afectadas por los diferentes

organismos presentes en el agua (Hongos, algas, bacterias, etc) lo que es particularmente importante en la filtración lenta en arena donde la actividad biológica hace parte del proceso de tratamiento. En general, todas las fibras naturales serán degradadas, pero la velocidad de degradación de la fibra sería variable de acuerdo a su composición química.

El principal constituyente en las fibras vegetales es la celulosa que típicamente esta entre 70 a 95 % de la composición química total de las fibras. La lignina es un constituyente menor en las fibras vegetales, pero la presencia de lignina aun en concentraciones moderadamente pequeña incrementa la resistencia de degradación de la fibra (C., Jarman, Tropical Fibres Consultant, citado por Luxton et al, 1998).

Con la degradación continua de la fibra natural, el volumen de fibras dentro de la manta no tejida se reduce, afectando las propiedades de la manta, resultando en una reducción de la eficiencia de filtración y consecuente penetración de sólidos y material bacterial dentro de la arena. El objetivo es entonces, lograr una manta que sea lo suficientemente resistente para tener un incremento significativo en la duración de carrera del filtro, con una degradación gradual.

#### **Experiencias en la determinación de la degradabilidad de fibras naturales.**

En 1996, Luxton y Graham realizaron un trabajo pionero para determinar la posible utilización de mantas no tejidas confeccionadas a partir de fibras naturales, que se pudieran conseguir fácilmente en países en desarrollo en términos de cantidad y que cumplieran con algunas cualidades en sus propiedades físicas (diámetro y densidad) además del costo y la facilidad para ser procesadas en una manta de alta densidad.

Dentro de la investigación inicial se evaluaron las siguientes fibras: ramie, jute, coir, sisal y abaca. Estas fibras fueron procesadas en Inglaterra con el fin de manufacturar mantas no tejidas que respondieran con algunas características específicas o predeterminadas.

La degradación de fibras naturales se determinó colocando muestras de fibras sueltas y de las mantas manufacturadas, previamente pesadas sobre la superficie de un filtro piloto de filtración lenta en arena. El efecto de degradación fue medido determinando la pérdida de peso de la fibra o de la manta al final de un periodo de 4 semanas.

Los resultados mostraron que las fibras de coir y de Jute son las que presentan la menor degradación. La fibra de coir contiene 40 % de lignina y además es una fibra

altamente resistente, sin embargo, lo grueso y frágil de sus fibras (diámetro promedio > de 200 mm.) limitan su potencial para ser manufacturada como una manta para filtración con las densidades que son requeridas. En contraste el jute es una fibra fina y suave, con un tamaño óptimo (diámetro promedio 40 mm.) mostrando buenas características para ser manufacturada como manta y ser utilizada en el proceso de filtración.

El Flax o lino, es una fibra de origen europeo y los resultados del ensayo permiten comparar las fibras sueltas con la manta manufacturada, indicando una reducción en la tasa de degradación de la fibra en su forma procesada o manufacturada, pasando del 41 % al 21% la pérdida de peso.

Al final del ensayo las mantas fueron retiradas para ser inspeccionadas buscando señales de degradación, esto mostró que la manta superficial estaba degradada considerablemente y que la capa biológica se había desarrollado sobre ella y que las mantas de jute habían sido degradadas solo un poco.

## **Características de las fibras evaluadas**

### **Fibras de polipropileno**

Son el producto de una reacción de polimerización en la cual las moléculas de los monómeros se unen todas, con llevando a la eliminación de átomos, formando moléculas, las cuales están unidas por medio de enlaces covalentes. El polipropileno esta ausente de grupos polares, característica que afecta su reactividad siendo este altamente inerte a las degradaciones biológicas y químicas. En la foto 1 se muestra una fibra o hilo de polipropileno de una de las mantas sintéticas evaluadas en este estudio.

### **Fibras de fique**

En Colombia, la fibra sobre la cual se tiene mayor información hasta el momento es el fique. La planta de fique pertenece a la familia Agavaceae.(Delvasto, 1997).Las principales características del fique se relacionan en la tabla 7.

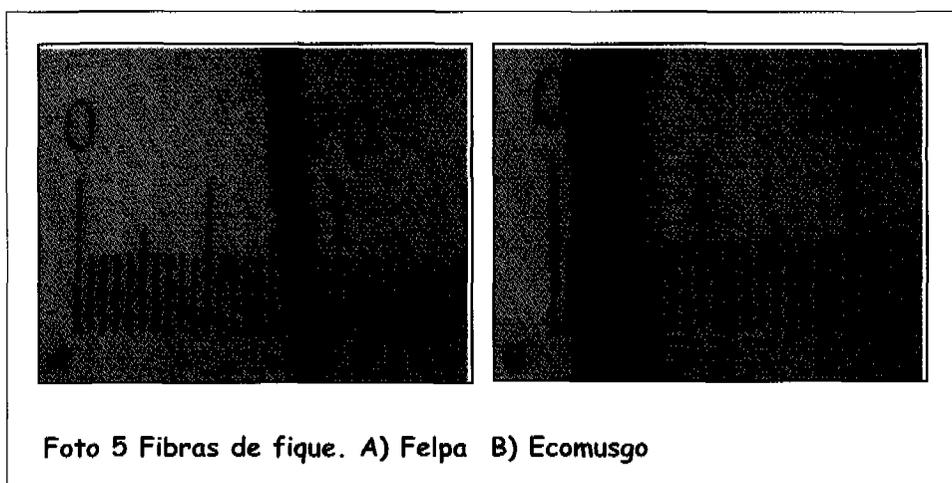
Tabla 7 Características típicas de la fibra de fique

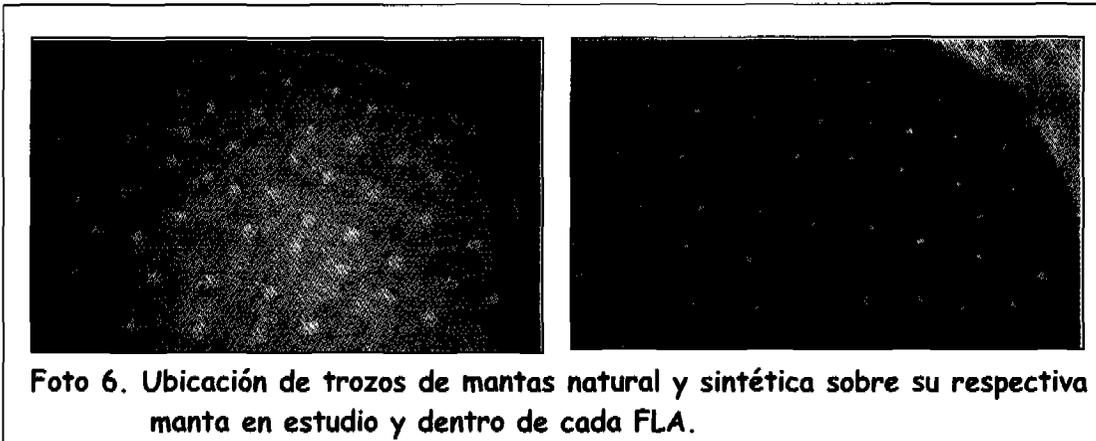
Característica	Valor Típico
Diámetro, (mm.)	0.10-0.33
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.723
Fineza, Tex (g/1000m de fibra)	44.20
Absorbencia o tasa legal de humedad (%)	12.00
Lignina (%)	10.09
Celulosa (%)	70.00

La foto 5 muestra dos fibras de fique correspondientes a las dos mantas naturales evaluadas, apreciándose diferencias en el diámetro de las fibras.

### 2.3.3 Metodología

La determinación de la degradabilidad de las mantas naturales y sintéticas se realizó con base en la pérdida de peso de la manta en el tiempo, para ello se estimó un período de evaluación de 6 meses. Al inicio de este período se instalaron 60 trozos de la manta en cada uno de los filtros lentos, que fueron operados usando el mismo tipo de manta. Cada trozito de manta era de sección cuadrada de 5 cm de lado. Antes de su instalación cada uno de ellos fue previamente pesado e identificado. Su instalación en el filtro se realizó con un aditamento plástico que lo fijó al lecho de arena, del cual se sujetó una línea de nylon que permitió retirar el trozo de manta sin necesidad de evacuar el sobrenadante del filtro.





#### Determinación de pérdida de peso

Para cada unidad de filtración se elaboro un mapa con la ubicación aleatoria de los trozos de manta, para de esta manera tener control sobre el muestreo y la identificación de los trozos. Una vez puesto en funcionamiento el sistema, cada semana fueron extraídos en forma aleatoria dos trozos de cada manta en estudio. Una vez extraído el trozo (natural o sintética), se colocó en una caja petri estéril previamente pesada (foto 7), cortándose el nylon que lo sostenía y con pinza estéril



cortándose el nylon que lo sostenía y con pinza estéril se retiró el aditamento que sujetaba el trozo sobre el lecho filtrante.

Una vez en el laboratorio la muestra se llevó a condiciones asépticas en un frasco estéril que contenía 100 ml de agua destilada estéril y un magneto, después se sometía a agitación suave por 15 minutos, con observación continua con el fin de detener la agitación si se observaba desprendimiento de fibras.

Después de la agitación se procedió a extraer el trozo de la manta con pinza estéril, lavándose con agua destilada para eliminar el material retenido, después de lo cual, la muestra se sometió al proceso de secado de acuerdo al método de sólidos suspendidos 2540D del método Estándar, 1992. Finalmente se realizó la determinación del peso final o seco del trozo y al realizar la diferencia con el peso inicial se determinó el porcentaje de pérdida de peso.

#### **Determinación de poblaciones microbianas**

El material orgánico más abundante en las fibras naturales vegetales es la celulosa, la cual es atacada rápidamente por muchas especies de bacterias y hongos. El ataque enzimático se describe a continuación:

La glucosa es metabolizada rápidamente por muchos microorganismos. La oxidación completa produce  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Patrones similares de degradación ocurren cuando se trata de las sustancias de los tejidos de otros vegetales, como la hemicelulosa, lignina y pectina que también poseen grupos de glucosa.

Este es un aspecto clave a considerar en la degradación de las fibras de las mantas naturales de fique, en las cuales la celulosa es el componente más importante, cerca de 70% de acuerdo con la información suministrada en la tabla 7.

El sustrato obtenido del lavado de cada trozito disuelto en los 100 ml de agua destilada estéril, se aprovechó para determinar las poblaciones microbianas presentes sobre cada trozo de manta en estudio, específicamente Bacterias Heterotróficas, Hongos y Pseudomonas los cuales usan una gran variedad de compuestos orgánicos como fuente de carbón y energía y juegan un papel importante en el reciclaje de nutrientes en ambientes acuáticos, que influyen de manera directa o indirecta en la degradación de las mantas.

## 2.3.5 Presentación y Discusión de Resultados

### Pérdida de peso

Los resultados encontrados de la degradación, medida como el porcentaje de pérdida de peso en el tiempo, se encuentran en la figura 7, que ilustra el comportamiento de las mantas naturales Felpa y Eco Musgo, durante los ensayos realizados en la fase I y II.

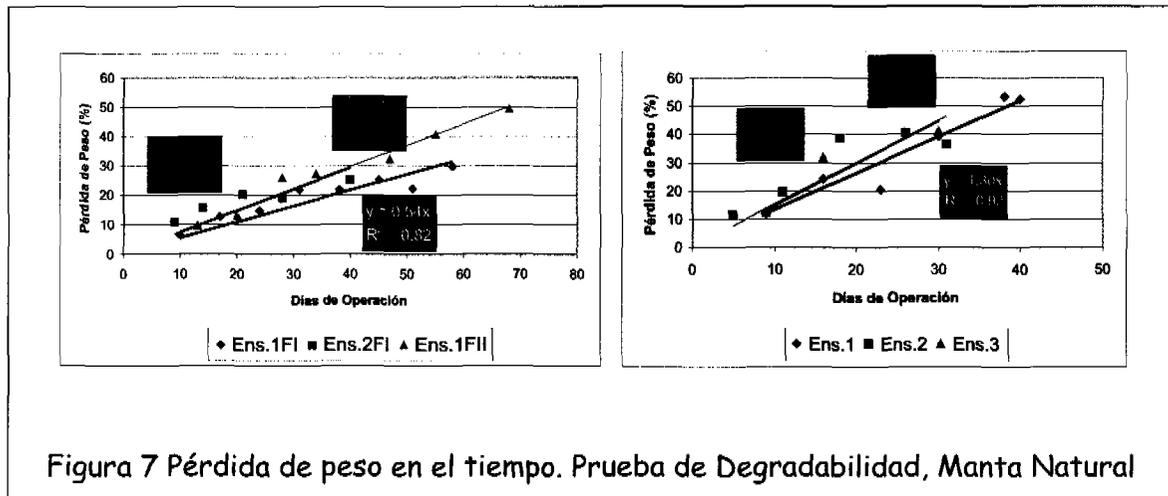


Figura 7 Pérdida de peso en el tiempo. Prueba de Degradabilidad, Manta Natural

Tomando la pendiente de cada curva en la figura 7 como la tasa de pérdida de peso, se observa un cambio de pendiente entre la carrera 1 de la fase I y los demás ensayos, esto indica que durante la carrera 1 fase I se dió un proceso de aclimatación y/o maduración para la degradación de las mantas y luego en los otros dos ensayos esta tasa aumenta y se mantiene en el tiempo.

Al comparar las gráficas de la figura 7 se observa que existe una mayor tasa de pérdida peso para la manta natural Eco Musgo, esto puede estar asociado con la densidad de la fibra, la cual es mayor en la felpa. Este resultado es similar al encontrado por Graham, (1998), con las fibras de Flex, con las cuales se encontró que debido al método de fabricación y densidad de la fibra en la manta, se logro reducir la pérdida de peso en un 50 %.

Durante la fase II de la experimentación se instalaron en los FLA 1 y 4 mantas de felpa, en el primero se colocaron dos mantas y en el segundo una combinación de una manta de felpa con una manta sintética NT 2000. En ambos casos fueron instalados trozos de manta felpa para realizar el seguimiento de la pérdida de peso; el muestreo fue realizado independientemente para cada filtro, los resultados se muestran en la figura 8. En esta figura también se observa una gran correlación y/o acercamiento de

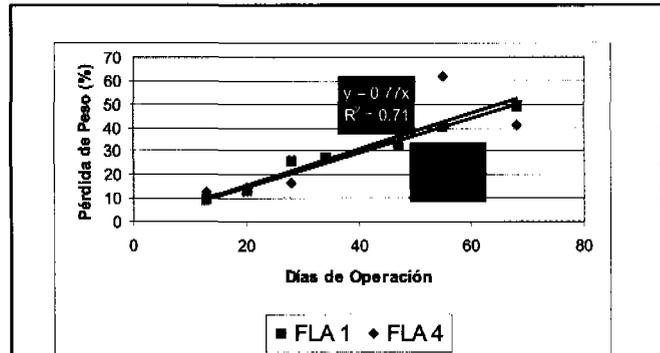


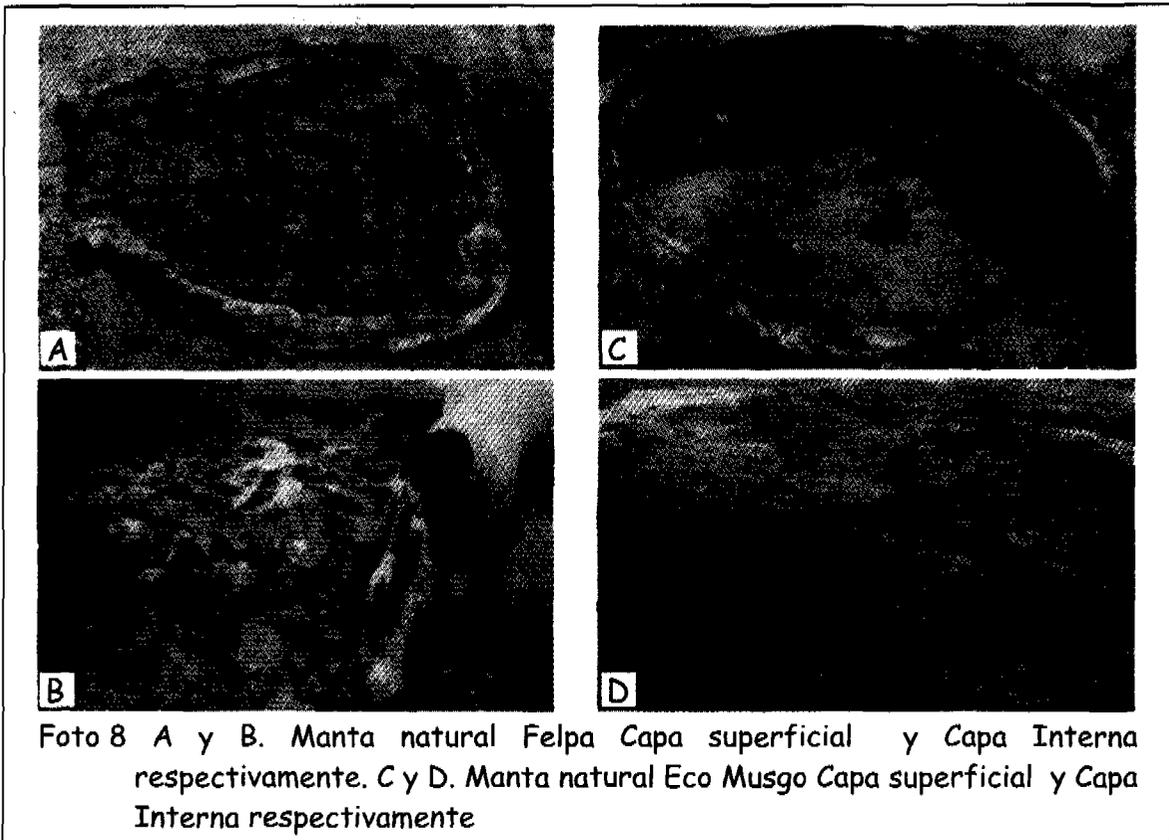
Figura 8. Pérdida de peso para la manta felpa instalada en dos FLA diferentes, bajo condiciones similares de calidad de agua.

ambos ensayos. Al ser el muestreo realizado de manera independiente para cada filtro esta figura muestra que la metodología empleada presenta características de replicabilidad aceptables.

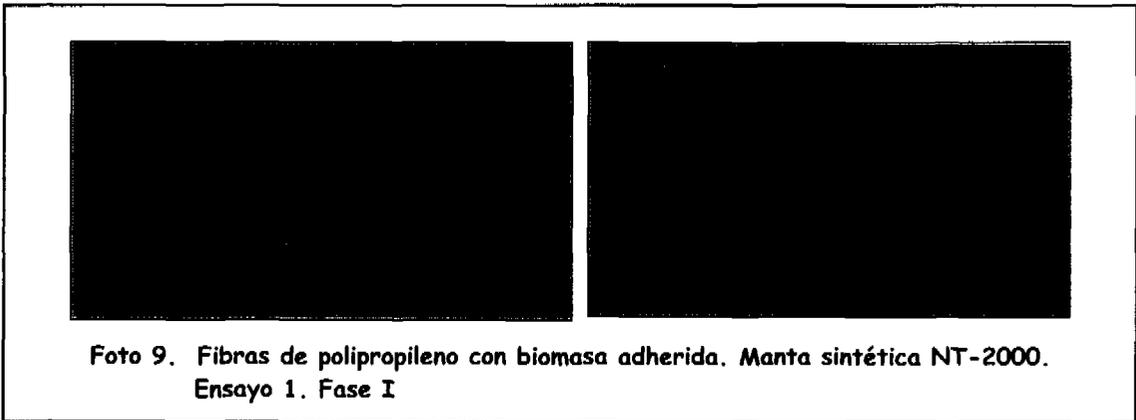
En cuanto a la pérdida de peso se observa a los 30 días de carrera, la pérdida de peso en la manta felpa fue del 20 % y para la manta Eco Musgo del 40 %, resultados similares a los encontrados por Graham, (1998) para las fibras naturales evaluadas en Inglaterra, a pesar de que las condiciones de calidad de agua cruda no son las mismas en términos de cantidad de microorganismos y nutrientes, y que el fique presenta en su composición química un porcentaje de lignina relativamente alto, cerca del 10 %.

Al final de cada carrera de filtración, las mantas naturales presentaron un alto deterioro que no permitió su uso posterior en otra carrera de filtración. Al retirar las mantas del filtro, se observó que esta labor fue más sencilla en la manta Eco Musgo debido a la malla sintética de soporte que ésta posee en medio de las fibras, mientras que en la felpa esta labor fue más tediosa, porque al tratar de retirarla se partía en pedazos más pequeños. En la foto 8 se muestran las mantas empleadas en este estudio al final de un ensayo.

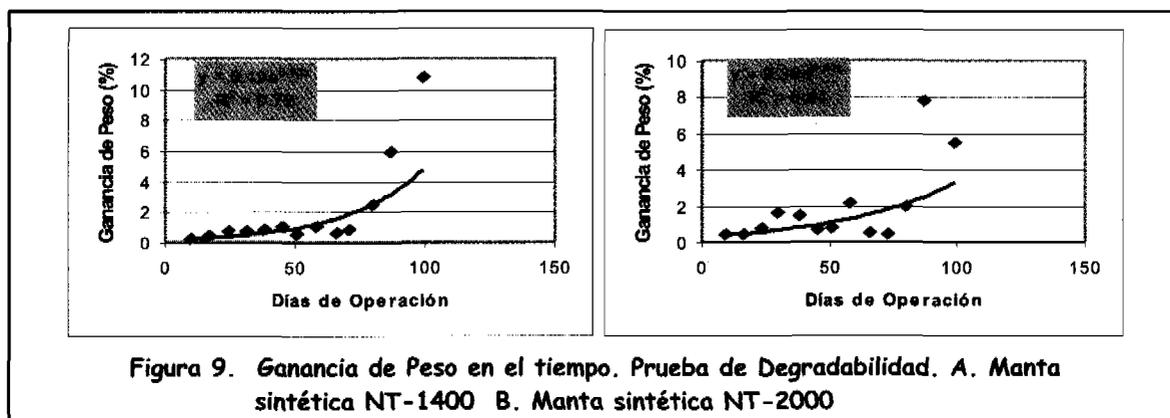
Los resultados encontrados para la degradabilidad de las mantas sintéticas en el tiempo, se muestran en la Figura 9. En general, las mantas sintéticas no sufrieron un proceso de degradación, tal como ocurrió con las mantas naturales, sino por el contrario, se observó ganancia de peso en las mantas, lo cual parece seguir una tendencia específica de crecimiento exponencial similar a una curva de crecimiento biológico.



Este resultado indica que existe muy poca degradabilidad de las fibras sintéticas y que la manta, a pesar de ser sometida a un proceso de lavado, presenta biomasa adherida a las fibras, como se aprecia en la foto 9. Aunque no se presente el efecto de degradación, la acumulación de biomasa dentro de la manta podría limitar hacia el futuro las propiedades hidráulicas como la conductividad, el lavado puede llegar a ser poco



efectivo para recuperar las condiciones iniciales de la manta como medio filtrante. Por lo tanto puede no existir degradación de las fibras, ni de la manta en términos de durabilidad, pero si puede existir pérdida de sus propiedades como medio filtrante.



### Concentración de Microorganismos en las Mantas

En general, la concentración de microorganismos fue mucho mayor en las mantas naturales que en las mantas sintéticas y que en el filtro lento usado como blanco (figura 10). Esto indica que las mantas naturales son un medio más propicio para el desarrollo de los microorganismos, que las mantas sintéticas y que la arena, debido probablemente a las características de las mantas naturales de poseer carbohidratos y materia orgánica.

En las mantas sintéticas el comportamiento de las bacterias y hongos es menor que en las mantas naturales, sin embargo su valor es similar al encontrado para el blanco, lo que indica que al presentarse estos compuestos de material inerte o poco degradable, las poblaciones de microorganismos dependen de la materia orgánica y los nutrientes que vienen o son propios del agua afluyente al sistema.

### Observaciones Adicionales

Durante el desarrollo de la fase experimental, a los 100 días de carrera se observó en el efluente de los filtros que poseían manta natural, el desarrollo de una biopelícula de color negro adherido a las paredes de la tubería de salida. Una muestra de este material fue colectada y llevada al laboratorio para ser observada al microscopio e identificarlo. Los resultados mostraron la presencia de organismos filamentosos, en una cantidad que no pudo ser estimada. Estos organismos pueden ser bacterias u hongos y su presencia podría estar asociada a la alta carga orgánica que se presenta como consecuencia de las mantas naturales. Este tipo de organismos pueden causar

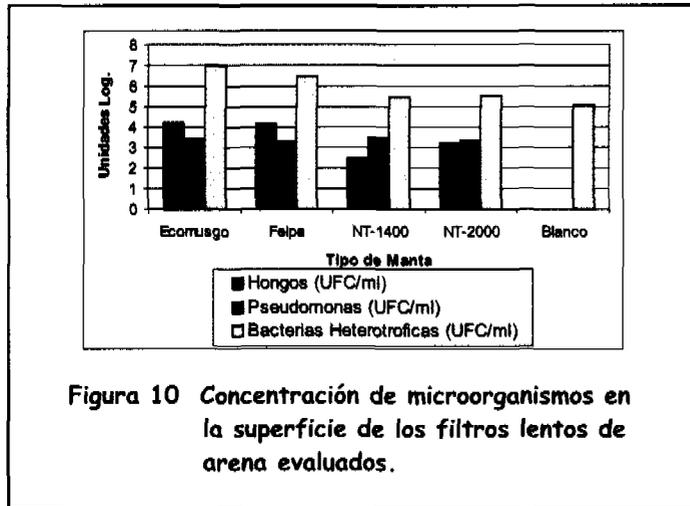


Figura 10 Concentración de microorganismos en la superficie de los filtros lentos de arena evaluados.

riesgo para la salud pública, asociado principalmente a enfermedades alérgicas.

Tales organismos están, usualmente, presentes en el efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales y asociados a aguas donde existe una caída del pH y del oxígeno disuelto.

### 2.3.5 Conclusiones y Recomendaciones

A pesar de que se logró establecer que la densidad de la manta es un factor clave en la degradabilidad de las mantas naturales elaboradas con fique, las dos mantas naturales evaluadas debieron ser reemplazadas al final de cada ensayo debido a su alto grado de descomposición, lo cual genera muchas limitaciones para la aplicación de este tipo de mantas en filtración lenta en arena, particularmente en un ambiente tropical como el Colombiano. De otra parte la mantas naturales generan la presencia de microorganismos filamentosos que pueden ocasionar riesgo sanitario, lo cual limita aun más su aplicación en agua para consumo humano.

La alta concentración de Bacterias Heterotróficas y de Hongos en las fibras naturales, comparadas con las fibras sintéticas parece estar correlacionada con una mayor degradación, por lo tanto una mayor pérdida de peso y desprendimiento de fibras, además de la generación de lodo producto de la descomposición de materia orgánica. Esta descomposición puede estar ayudando a la rápida obstrucción del lecho filtrante, con lo cual la duración de carrera del filtro lento en arena se hace más corta.

Las mantas sintéticas presentaron ganancia de peso en el tiempo siguiendo un comportamiento similar al crecimiento de microorganismos, presentando adherencia progresiva de biomasa a las fibras, fenómeno que puede tener incidencia sobre las características hidráulicas de la manta como medio filtrante.

### 3 CONSIDERACIONES SOBRE EL IMPACTO Y LAS PERSPECTIVAS DEL PROYECTO

La aplicación de las mantas sintéticas no tejidas tiene un gran potencial para la optimización de las unidades de filtración lenta en arena. Las prolongadas carreras de filtración y el lento desarrollo de la pérdida de carga permiten suponer que es posible obtener grandes reducciones en los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento, además de la optimización de unidades en servicio de filtración lenta en arena, que hayan llegado al final de su periodo de diseño.

La disponibilidad de mantas sintéticas en Colombia, ha estado muy orientada hacia soportar la construcción de vías, sin embargo una buena parte de los Geotextiles utilizados en esta actividad también pueden ser empleados para los propósitos de la presente investigación. De otra parte existe en el país una alta disponibilidad tanto de material importado como nacional. En este sentido se reconoce que la industria nacional podría suministrar el material requerido para una utilización más amplia de la tecnología de mantas sintéticas en filtros lentos en arena.

La utilización de mantas de naturales sobre la superficie de los FLA, hace que estas unidades generen una mejor calidad en el efluente final del filtro en términos de turbiedad, color y sólidos suspendidos, comparado con un filtro sin manta y los filtros que utilizaron mantas sintéticas. Sin embargo, la alta degradabilidad a la cual están sometidas las manta naturales, por causa de la actividad biológica de los FLA, hace que la duración de carrera de los filtros lentos sea muy corta y genere frecuencias de mantenimiento altas. Adicionalmente se requiera el cambio de las mantas cada vez que se realiza la limpieza del filtro, lo cual limita grandemente su utilización en este tipo de filtros. Por estas razones, el empleo de mantas naturales no tejidas con base en fibra de fique no se recomienda para su uso en FLA, bajo ambientes tropicales como el nuestro, lo que claramente es una lástima ya que esta alternativa podría haber ayudado a la recuperación del sector fiquero en Colombia.

Las mantas sintéticas no tejidas, fabricadas con base en fibra de polipropileno, mostraron que su utilización es factible sobre la superficie de los filtros lentos, y que su uso, genera carreras de filtración que se prolongan, en comparación con un filtro lento sin manta, hasta en aproximadamente el doble del tiempo, si se utiliza una fuente superficial altamente contaminadas por el arrastre de material particulado como el río Cauca, y que si se utiliza una fuente superficial menos contaminada, este periodo se puede extender a mucho más del doble.

Si bien las mantas sintéticas generaron una mayor duración de carrera en los filtros lentos que la utilizaron, todavía se presentan inconvenientes que deben ser superados con la investigación futura. Las mantas sintéticas permitieron el trasvase de sólidos hacia la superficie de la arena, lo cual significa que las actividades de mantenimiento del filtro deben incluir el raspado superficial de la arena, incrementando de esta manera las labores del operador. En este sentido, nueva experimentación debe ser realizada utilizando una combinación de mantas sintéticas no tejidas de diferente porosidad y área superficial específica, que permita minimizar el trasvase de lodo y mantener la prolongación de las carreras de filtración.

Respecto a la eficiencia de remoción que mostraron los FLA cuando usaron mantas sintéticas esta no fue diferente a la encontrada con un filtro lento en arena sin manta, cuando se utiliza una fuente superficial con alta concentración de material particulado como el río Cauca. Sin embargo en fuentes superficiales de mejor calidad se presentaron diferencias entre el filtro con manta sintética y sin ella, presentando la mejor eficiencia, el filtro con la manta, aunque ambos filtros, en este caso, presentaron un efluente final de muy bajo riesgo sanitario, que permite la aplicación del cloro como barrera de seguridad.

El desarrollo de este proyecto de investigación ha ayudado al entendimiento de la tecnología del uso de mantas no tejidas sobre la superficie del filtro lento, y abre grandes y nuevas perspectivas en el desarrollo de FLA y de la filtración en múltiples etapas. De esta manera, se abre la posibilidad de optimizar y ampliar la capacidad de los sistemas existentes, solo con el uso apropiado de mantas sintéticas no tejidas. En este sentido en el país existen mas de 100 sistemas de potabilización por filtración lenta en arena que podrían beneficiarse de este desarrollo, en el mediano y largo plazo. Sin embargo, nuevas investigaciones son necesarias, que permitan asegurar, por ejemplo, que el uso de mayores velocidades de filtración en los FLA, en un ambiente tropical como el nuestro, no generará grandes reducciones en el comportamiento de la eficiencia de la unidad, ni en el desarrollo de la pérdida de carga.

Poder ampliar la capacidad del sistema de tratamiento con base en el uso de las mantas sintéticas no tejidas, podría reducir los costos de inversión y prácticamente evitar la construcción de nuevas estructuras, solo se requeriría realizar la adaptación de la manta a la estructura del filtro existente. En este sentido, también es necesario estudiar la mejor manera de instalar la manta dentro del filtro, considerando que las áreas de los FLA pueden alcanzan tamaños hasta de 100 m<sup>2</sup> en Colombia y que la experiencia, a nivel local, es, hasta ahora, con áreas de 12 m<sup>2</sup> y a nivel internacional hasta con 16 m<sup>2</sup>.

Finalmente, el impacto del desarrollo alcanzado hasta el momento en el uso de mantas sintéticas no tejidas, también beneficia la utilización de la tecnología FiME, en donde los costos de inversión inicial de la etapa de FLA alcanzan entre el 35 y 55% de la inversión inicial. Si se logra establecer con los nuevos estudios la viabilidad de usar mayores velocidades de filtración así como reducir la altura total del filtro, sin incrementar las labores de operación y mantenimiento, ni disminuir su eficiencia de remoción, es claro que la tecnología FiME ganaría en reducción de costos de inversión inicial, posibilitando un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles, especialmente en la zona rural del país donde, de una parte esta tecnología tiene su mayor ventaja y de otra, se presentan las mayores limitaciones en cuanto a la distribución de agua con calidad.

#### 4 BIBLIOGRAFÍA

DELVASTO S., (1997). Comportamiento a la Flexión de un Concreto Reforzado con Cabuya. En Memorias. Primer Seminario Iberoamericano 1997 de Materiales Compuestos Fibrorreforzados. Mayo 15 al 17 de 1997. Cali, Colombia.

DI BERNARDO, L.; PATERNIANI, J.E.S.; GRAHAM, N.J.D.; (1994). Fabric protected shallow depth slow sand filters preliminary pilot-plant investigations. In: Slow Sand Filtration - an international compilation of recent scientific and operational developments. American Water Work Association, p. 105 - 115.

Di BERNARDO, L., (1993). Metodos e Tecnicas de Tratamiento de Agua. Volumen I y II, ABES, Rio de Janeiro, Brasil.

GALVIS G, LATORRE J. Y VISSCHET J.T. 1998. Multistage filtration an innovative technology for water treatment. Cinara and IRC, Netherlands..

GALVIS G, LATORRE J. Y VISSCHET J.T. 1999. Filtración en Múltiples Etapas, Tecnología innovativa para el tratamiento de agua. Cinara, IRC, Editorial Artes Gráficas Univalle, Cali, Colombia.

GALVIS G, 1999. CEHE, Development and evaluation of Multi Stage filtration Plant. An innovative, robust and efficient water treatment technology. PhD Thesis. Centre for Environmental Health Engineering. School of Engineering Environmental, University of Surrey

GRAHAM, N.J.D; MBWETT, T.S.A. Y DI BERNARDO, L. (1994). Fabric Protected Slow Sand Filtration: A Review. En: Slow Sand Filtration. An International of Recent Scientific and Operational Development. AWWA. Editors: M:R Collins y N:J:D. Graham. USA.

GRAHAM N.J.D., CLARKE B. A., JONES C.J. , LLOYD B.J. (1996). Effect of Reduced Depth, Fabric -Protected Slow Sand Filters on Treated Water Quality. In : Advance in Slow Sand and Alternative Biological Filtration. Edited By Graham and Collins.

HEERTEN, G.; WITTMAN, L. (1985).- Filtration properties of geotextile and mineral filters related to river and canal bank protection. Geotextiles and Geomembranes, v. 2, p. 47 - 63.

LIVERSIDGE, P.W. (1982). Potable Water Supply Scheme for Refugee Camps - Evaluation of a Modular Slow Sand Filter. Msc Thesis. University of London. London, England.

LUXTON, P. Y GRAHAM, N. (1996). Evaluation of Natural Fabrics for Slow Sand Filtration. Progress Report. Environmental and Water Resources Engineering, Department of Civil Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine. London, United Kingdom.

LUXTON, P. Y GRAHAM, N. (1998). Preliminary Evaluation of Natural Fabrics In Slow Sand Filtration.. Environmental and Water Resources Engineering, Department of Civil Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine. J. Water SRT-Aqua. Vol- 47 No. 3. pp 95-106. London, United Kingdom.

MBWETTE, T.S.A, (1989). The Performance of Fabric Protected Slow Sand Filters. PhD Thesis. Department of Civil Engineering, Imperial College of Science Technology and Medicine. London. U.K.

MBWETTE, T.S.A; GRAHAM, N.J.D. (1990). Performance of fabric protected slow sand filters treating lowland surface water. Journal of the institution of water and enviromental management. p. 51 - 61, Feb.

MIER, C. P. (1997) Fibras Naturales de Colombia, En: Primer Seminario Iberoamericano 1997 de Materiales Compuestos Fibrorreforzados II Reunión Proyecto PIP VIII.5 CYTED.

MINISTERIO DE SALUD DE COLOMBIA (1998). Decreto 475.

PALACIO F. J. (1997). Cultivo del Fique y Calidad de la Fibra. En Memorias Primer Seminario Iberoamericano 1997 de Materiales Compuestos Fibrorreforzados. Mayo 15 al 17 de 1997. Cali, Colombia.

## CINARA, INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN AGUA POTABLE, SANEAMIENTO BÁSICO Y CONSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

La Universidad del Valle, Univalle, principal centro de educación del suroccidente de Colombia, ~~para~~ potenciar actividades científicas y tecnológicas y facilitar su trabajo al servicio de la sociedad y fortalecer los vínculos con el sector productivo, ha promovido la creación de Institutos de Investigación, entre los cuales se encuentra Cinara. Cinara surgió como Centro Inter-regional de Abastecimiento y Remoción de Agua en la década de los 80's y ahora opera como instituto que contribuye a mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las inversiones en el sector, con base en actividades metódicas e interdisciplinarias de investigación y transferencia, trabajando en equipo con otras instituciones y promoviendo el potencial de nivel local y comunitario para el mejoramiento de la prestación de los servicios básicos y la conservación del ambiente.

Los proyectos que realiza Cinara tienen relación con instituciones nacionales como el Departamento Nacional de Planeación, Colciencias, Ministerios de Desarrollo Económico y de Salud, Findeter; gobiernos departamentales y municipales; empresas prestadoras de servicios públicos e institucionales de países como Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela, Guatemala, Nicaragua, México, Santa Lucía, Inglaterra, Países Bajos, Suiza, India y Pakistán. En el instituto han hecho pasantías profesionales de UNICEF, OPS/OMS, SECAB, IHE/DUT de los Países Bajos, SANDEC, EPFL de Suiza, ODA, British Council, Universidad de Surrey de Inglaterra, entre otros.

Para información adicional dirigirse a:

A.A. 25157

CALI, COLOMBIA, SUR AMERICA

E-MAIL: [cinarauv@mafalda.univalle.edu.co](mailto:cinarauv@mafalda.univalle.edu.co)