



UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA URBANA

**EVALUACIÓN DE UNA MANTA SINTÉTICA NO TEJIDA EN
UN SISTEMA PILOTO DE FILTRACIÓN LENTA PARA EL
TRATAMIENTO DEL AGUA**

GEMA

Grupo de Investigaciones y
Mediciones Ambientales



EVALUACIÓN DE UNA MANTA SINTÉTICA NO TEJIDA EN UN SISTEMA PILOTO DE FILTRACIÓN LENTA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA

MARÍA ADELAIDA JARAMILLO SANÍN
Ingeniera Ambiental

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de M.Sc. en Ingeniería Urbana con énfasis en Servicios Públicos

Directora:

MARGARITA MARÍA HINCAPIÉ PÉREZ
Química, Doctora en Ciencias Químicas.

Co-director:

LUIS JAVIER MONTOYA JARAMILLO
Ingeniero Civil, Doctor en Ingeniería.

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
FACULTAD DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN INGENIERIA URBANA
MEDELLÍN
2013

EVALUACIÓN DE UNA MANTA SINTÉTICA NO TEJIDA EN UN SISTEMA PILOTO DE FILTRACIÓN LENTA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA

Trabajo de grado para optar por el título de M.Sc. en Ingeniería Urbana con énfasis en Servicios Públicos, Maestría en Ingeniería Urbana, Universidad de Medellín.

María Adelaida Jaramillo Sanín
Ingeniera Ambiental

Directora:
Margarita María Hincapié Pérez
M.Sc. Ciencias Químicas - Ph.D. Ciencias Químicas

Co-director:
Luis Javier Montoya Jaramillo
Ingeniero Civil, Ph.D. en Ingeniería.

RESUMEN

Acceder a agua de buena calidad en las comunidades rurales de los países en vías de desarrollo es en la actualidad un reto; el uso de mantas sintéticas en los sistemas de filtración lenta para la potabilización puede convertirse en una opción eficiente en sistemas de abastecimiento rurales de mediana y pequeña envergadura, fundamentada en el uso de materiales alternativos, que en la actualidad se han estudiado muy poco si los comparamos con la filtración lenta en arena convencional. En el presente trabajo se evaluó la eficiencia de remoción de contaminantes para el tratamiento del agua por medio de una manta sintética no tejida usada en un sistema de filtración lenta. Para esto se evaluaron tres configuraciones de filtros lentos con y sin manta sintética como medio filtrante y se evaluó la remoción de turbiedad, color aparente, materia orgánica y *Escherichia coli* (*E.coli*) con tasas de filtración de 6, 9 y 12 m³/m².día. También se realizó un seguimiento a la capa biológica que se estableció en cada uno de los sistemas de filtración. Se encontró que el sistema de filtración que mejor se comporta es el que posee manta sintética superficialmente a una tasa de filtración de 6 m³/m².día, alcanzando remociones para turbiedad de 98%, color aparente del 91%, materia orgánica del 72% y de *E. coli* del 99% (3,1Log).

PALABRAS CLAVE: filtración lenta, mantas sintéticas no tejidas, tratamiento de agua, agua potable.

EVALUATION OF A NON WOVEN SYNTHETIC FABRIC IN A SLOW SAND FILTRATION SYSTEM FOR WATER TREATMENT

Degree work to qualify for Magister in Urban Engineering with emphasis in Public Services,
Master of Urban Engineering, University of Medellín.

María Adelaida Jaramillo Sanín
Environmental Engineering

Director:

Margarita María Hincapié Pérez
M.Sc. Chemistry Sciences - Ph.D. Chemistry Sciences

Co-director:

Luis Javier Montoya Jaramillo
Civil Engineering, Ph.D. Engineering

ABSTRACT

Access to good quality water in rural communities of developing countries is a challenge; the use of synthetic Fabrics in slow filtration systems for potabilization can be an effective option in medium and small scale rural water supply systems, based on the use of alternative materials that have been studied very little if compared with conventional slow sand filtration. Non-woven synthetic fabric in a slow filtration system to water treatment was evaluated. For this we evaluated three different configurations of slow filters with and without non-woven synthetic fabric as a filter medium and determining the removal of turbidity, apparent color, organic matter and *Escherichia coli* (*E. coli*) using flows of 6, 9 and 12 m³/m².day. Additionally, the development of the established biofilm in each of the filtration systems. The system composed by sand and synthetic fabric on the surface using a flow of 6 m³/m².day showed the highest efficiency, reaching removing of 98% for turbidity, 91% of apparent color, 72% of organic matter (TOC), and 99% of *E. coli* (3,2Log).

KEY WORDS: slow filtration, filtration with non-woven synthetic fabrics, water treatment, drinking water.

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente quiero expresar mi agradecimiento a la profesora Liliana Botero, sin ella no habría seguido este camino y no habría encontrado mi vocación como docente, su apoyo y confianza incondicional ha sido invaluable para mi formación personal y profesional, muchas gracias.

Me gustaría agradecer a mis directores de trabajo de grado Margarita Hincapié y Luis Javier Montoya por su paciencia y disposición.

De manera especial a mis compañeros de maestría, Juan David Correa, Juan Fernando Saldarriaga y Juan Fernando Gómez, por sus consejos en los momentos difíciles, por sus valiosas ideas y por su ayuda durante la realización de este trabajo de grado. Mi sincero agradecimiento a Darío Naranjo por su valioso tiempo y sus aportes.

A mis padres que con su sacrificio y apoyo constante han contribuido al logro de este nuevo objetivo y han hecho de mí una excelente persona.

Quiero agradecer a la empresa Guatas y Alcolchados por su aporte en material, el eje básico para el desarrollo de la presente investigación. Finalmente, debo agradecer al programa de investigación Expedición Antioquia 2013, que bajo el proyecto “Procesos innovadores para la potabilización de aguas en comunidades rurales antioqueñas” financió parte de mis estudios.

CONTENIDO

<i>RESUMEN</i>	<i>iii</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>9</i>
<i>CAPÍTULO 1</i>	<i>19</i>
1. REVISIÓN TEÓRICA	20
1.1. Filtración lenta en arena –FLA–	20
1.2. Aspectos técnicos y principios de tratamiento de la FLA	21
1.2.1. Descripción general del proceso de FLA	21
1.2.2. Mecanismos de la filtración lenta	23
Mecanismos de transporte	24
Mecanismos de adherencia	26
Mecanismos biológicos de la filtración lenta	26
1.2.3. Lecho filtrante en los sistemas de FLA	29
1.2.4. Velocidad y tasa de filtración	30
1.2.5. Operación y mantenimiento de los sistemas de FLA	31
1.2.6. Limitantes del sistema de FLA	32
1.3. La FLA como proceso en Filtración en Múltiples Etapas –FiME–	34
<i>CAPÍTULO 2</i>	<i>36</i>
2. METODOLOGÍA Y FASE EXPERIMENTAL	37
2.1. Diseño de los sistemas de filtración	37
2.1.1. Características de los sistemas de filtración	37
2.1.2. Parámetros de diseño para los sistemas de filtración	39
2.2. Caracterización de la manta sintética no tejida	40
2.2.1. Generalidades de la manta	40
2.2.2. Determinación de la porosidad de la manta no tejida	42
2.2.3. Determinación del área superficial de la manta no tejida	43

2.3. Preparación del agua sintética _____	43
2.4. Métodos analíticos y parámetros de calidad del agua evaluados _____	46
2.4.1. Turbiedad _____	47
2.4.2. Color Aparente _____	47
2.4.3. Carbono Orgánico Total –COT– _____	47
2.4.4. <i>Escherichia coli</i> _____	48
2.4.5. Potencial de hidrogeniones –pH– _____	50
2.4.6. Temperatura _____	50
2.5. Seguimiento a los sistemas de filtración _____	51
2.6. Seguimiento de la capa biológica en los sistemas _____	52
2.6.1. Seguimiento y cuantificación de la comunidad de mesófilos _____	53
2.6.2. Observación directa de la capa biológica al microscopio _____	55
2.6.3. Medición de Oxígeno Disuelto –OD– en la superficie del lecho _____	55
2.7. Mantenimiento de los sistemas de filtración _____	56
2.8. Diseño de experimentos y análisis de datos _____	58
2.8.1. Criterios para el análisis de los datos _____	60
2.9. Metodología para la selección del mejor sistema de filtración _____	61
CAPÍTULO 3 _____	63
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS _____	64
3.1. Evaluación de los tiempos de colmatación de los sistemas de filtración _____	64
3.2. Resultados y análisis de los parámetros evaluados _____	65
3.2.1. Evaluación de la eficiencia de remoción de turbiedad _____	67
3.2.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de color aparente _____	70
3.2.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de Materia Orgánica –MO– _____	75
3.2.4. Variación de pH y temperatura _____	77
3.2.5. Evaluación de la eficiencia de remoción de <i>Escherichia coli</i> _____	78
3.2.6. Evaluación final de los resultados obtenidos _____	82
3.3. Desarrollo de la capa biológica _____	84
3.3.1. Observación directa de la capa biológica _____	85
3.3.2. Seguimiento a la comunidad de mesófilos _____	89
3.4. Evaluación de la influencia de la luz solar en el proceso de tratamiento _____	94
3.4.1. Evaluación del tiempo de colmatación en los sistemas de filtración _____	94



3.4.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de turbiedad y color	95
3.4.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de Materia Orgánica	97
3.4.4. Evaluación de la eficiencia de remoción de <i>Escherichia coli</i>	98
3.4.5. Seguimiento a la comunidad de Mesófilos	99
3.4.6. Análisis de la concentración de OD en la superficie del lecho	101
3.5. Evacuación técnica y económica	102
3.5.1. Evaluación técnica	102
3.5.2. Evaluación económica	102
3.5.3. Selección del mejor sistema de filtración	108
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	110
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	116
<i>ANEXOS</i>	128

INTRODUCCIÓN

En Colombia la falta de potabilización está asociada con la morbilidad y mortalidad en población infantil por enfermedades de origen hídrico y se relaciona principalmente con la presencia de microorganismos patógenos, sin descartar otros contaminantes de origen fisicoquímico. De acuerdo con los datos presentados por el Ministerio de Protección Social de Colombia y la Organización Mundial de la Salud (2008), de cada 100.000 niños colombianos menores de cinco años murieron 500 de Enfermedad Diarreica Aguda –EDA–. Dentro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio propuestos por las Naciones Unidas, se plantea la necesidad del acceso a agua potable en comunidades aisladas o sin acceso a la misma y según los Planes Departamentales de Agua y Saneamiento para el Manejo Empresarial de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo (Departamento Nacional de Planeación –DNP–, 2007), se estima que más de la mitad de la población colombiana carece de agua de aceptable calidad para el consumo.

En la mayoría de las zonas rurales del país se presenta un déficit de agua potable, sobre todo, para el abastecimiento de poblaciones alejadas de los centros urbanos rurales. Existen diferentes factores que contribuyen a esta situación como la preferencia de sistemas convencionales de difícil aplicación, con altos costos de operación y mantenimiento que generan el abandono paulatino del sistema de tratamiento, entre otros factores que originan que la transferencia de las tecnologías básicas de potabilización hacia estas zonas, aunque se han estudiado ampliamente, aún sea bastante insignificantes (Naranjo, 2009).

Lo antes mencionado dirige la atención a los sistemas de Filtración Lenta en Arena –FLA– ya que estos han demostrado ser adecuados en comunidades rurales pequeñas (Campos, 2002; Fernández *et al.* 1998; Naranjo, 2009 y Sánchez *et al.* 2007). La filtración lenta se considera como el tratamiento más antiguo para la potabilización, recopilando lo que mencionan Huisman y Wood (1974) este método fue usado desde el siglo XVIII en países como Escocia, Inglaterra, Estados Unidos y Alemania. La característica más importante de este sistema y que solo fue conocida a principios del siglo XIX, es la capa biológica llamada *schmutzdecke* que se forma en la superficie del filtro y que se relaciona con los procesos de descomposición de la materia orgánica luego de procesos oxidativos (Graham y Collins, 1996), y la eliminación de patógenos

como coliformes, *Giardia* y *Cryptosporidium*; parámetros de difícil remoción con otros tratamientos como la filtración rápida.

La FLA debe su nombre a su baja tasa de filtración, ya que ésta varía según Arboleda (2000) entre 2 y 14m³/m².día. En información presentada por Sánchez *et al.* (2007) la introducción de la FLA a Colombia fue adelantada sin ajustarla a las condiciones locales, por lo que los resultados no son los mejores. La mayoría de plantas de FLA que han sido construidas en países como Brasil, Colombia y Perú, presentan grandes dificultades en el diseño, la operación y el mantenimiento; esto principalmente debido a que los sistemas se colmatan rápidamente en época de invierno cuando los picos de turbiedad aumentan, lo que lleva a un mantenimiento prematuro del sistema generando sobrecostos asociados a la mano de obra y en muchos casos la salida de funcionamiento del sistema. A raíz de lo antes mencionado, es usual que en Colombia y Latinoamérica se use un sistema de prefiltración en grava para disminuir los picos de turbiedad y permitir que el sistema de FLA sea eficiente, puesto que la mayor restricción de éste es la alta turbiedad que puedan presentar las aguas crudas; según Arboleda (2000) aguas con turbiedad mayor a 15UNT pueden generar problemas de colmatación en los filtros lentos. Cuando los niveles de turbiedad son controlados o se mantienen en los límites (turbiedad de 10 – 15UNT o picos de turbiedad cortos y esporádicos de 50 – 100UNT) los sistemas de FLA pueden ser utilizados con éxito, en veredas y poblaciones pequeñas de hasta 10.000 habitantes (Campos, 2002; Fernández *et al.*1998; Galvis *et al.*1998; Naranjo, 2009; Sánchez *et al.*2007).

Antecedentes de la investigación en FLA y sistemas de filtración lenta con mantas

La mayoría de las investigaciones en FLA se han concentrado en la remoción de turbiedad, Wegelin, Boller y Schertenleib (1986) y Wegelin (1996) se enfocaron en modelos de exploración de remoción de sólidos suspendidos; el diseño, las características constructivas y las condiciones de operación y mantenimiento de estos sistemas también han sido bien estudiados (Arboleda, 2000; AWWA, 1999; Cánepa, 1982; Cánepa, 1992; Dijk y Oomen, 1978; Huisman y Wood, 1974; Pérez y Cánepa, 1984; Visscher,1990).

En Colombia y Latinoamérica los estudios en FLA han sido liderados en su mayoría por el Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso –CINARA– y se han concentrado en analizar la remoción de turbiedad y coliformes fecales, las características constructivas de los mismos, los costos de los sistemas, las condiciones de operación y su mantenimiento (Fernández *et al.*1998; Galvis, 1999; Galvis, Latorre y Visscher,1998; Hurtado, 1996; Ortega, 1996; Vargas *et al.*1999).

Los procesos biológicos que se llevan a cabo en estos sistemas han sido estudiados por varios autores, entre ellos: Campos (2002) en Inglaterra, Sánchez, Latorre y Galvis (1999a y 1999b) en Colombia y Alves de Brito *et al.* (2005) en Brasil, entre otros. El resultado de sus investigaciones se describe a continuación.

Campos (2002) simula y modela los mecanismos de remoción físicos y biológicos en los sistemas de FLA tanto cubiertos como al aire libre. Los filtros cubiertos se presentan como una alternativa para disminuir los efectos del congelamiento en el invierno. En la investigación se encontró que los cambios de temperatura influyen en el crecimiento de la capa biológica, a bajas temperaturas el crecimiento es mínimo, básicamente éste se inhabilita. Se encontró además que en los filtros cubiertos la cantidad de biomasa presente era mucho menor que la contenida en los filtros expuestos al aire libre, pero que esto no influyó en la remoción de materia orgánica.

Sánchez, Latorre y Galvis (1999a y 1999b) estudiaron los efectos de la limpieza de la biomembrana en FLA y las etapas de maduración de la capa biológica luego de la limpieza, encontrando que el impacto de la limpieza sobre estas poblaciones podría en un momento determinado afectar la remoción de patógenos por el filtro lento en arena, generando un incremento del riesgo sanitario en el agua efluente del filtro. En este mismo estudio, se identificó que a mayor población de algas y protozoos en el medio filtrante, puede haber mayor eficiencia de remoción de coliformes fecales.

Alves de Brito *et al.* (2005) en una investigación experimental operada bajo dos velocidades de filtración (3 y $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$) en un sistema de FLA de flujo ascendente y descendente, encontraron que la maduración biológica de los medios de filtro fue menos favorecida por la tasa más alta y por el filtro de flujo ascendente. Adicionalmente, identificaron que los primeros $0,45\text{m}$ del medio filtrante son importantes en la eliminación de microorganismos patógenos, pero la eliminación no se limita a estas capas, ya que todos los indicadores se mantienen también en $0,45\text{-}0,75\text{m}$; finalmente encontraron que la capa biológica desempeña un papel eficaz en la eliminación de los indicadores microbiológicos sólo cuando esta se encuentra bien desarrollada.

Naranjo (2009) encontró en su investigación que los valores medios de coliformes fecales para el agua cruda ($140\text{UFC}/100\text{mL}$) pasaron a $0\text{UFC}/100\text{mL}$ para el agua tratada, disminuyeron a medida que el afluente pasaba a través del sistema de potabilización, una reconocida característica atribuible a los mecanismos de depredación desarrollados en la capa biológica que se forma en la superficie del filtro lento en arena.

Fox, Graham y Collins (1994) reportaron también que en el tratamiento por FLA la eliminación siempre fue de 4-5 unidades logarítmicas (99,99%-99,999%) de coliformes totales en los filtros a escala piloto. Bellamy, Hendricks y Logsdon (1985), también encontraron una remoción alta, por encima del 99% de coliformes totales.

En cuanto a la remoción de materia orgánica la mayoría de las investigaciones se han realizado en países estacionales. Logsdon, Kohne y LaBonde (2002) mencionan que la implementación de carbón activado como lecho filtrante para la adsorción de materiales orgánicos y la inyección de ozono como pre-tratamiento para romper las moléculas orgánicas se han implementado con buenos resultados, ya que la concentración de Carbono Orgánico Total –COT– puede disminuir hasta en un 28% más y que además, la disminución de la materia orgánica antes de la entrada del filtro hizo que la biocapa no creciera tan rápidamente ayudando a que la colmatación del sistema también se alargara, aumentando la carrera de filtración. Aquí cabe resaltar que se le llama COT al carbón que hace parte de sustancias orgánicas en aguas superficiales que pueden ser descompuestas por la actividad biológica; este parámetro se mide para identificar cuanta materia orgánica posee una muestra de agua.

Fox, Graham y Collins (1994) usaron un lecho filtrante de 0,82m de carbón activado en forma granular buscando remover materia orgánica, luego de 278 días de ensayos encontraron una remoción cercana al 90% para los precursores de los trihalometanos. Del mismo modo Collins *et al.* (1989) estudiaron el uso de una capa de carbón activado de 7,6cm en un filtro lento en arena, encontrando que la eliminación de los precursores de los trihalometanos fue aproximadamente de un 80% en tres meses de operación.

En países tropicales, la remoción de materia orgánica ha sido estudiada por Fernández *et al.* (2006), evaluando una fuente superficial receptora de descargas de aguas domésticas y descargas de la producción de fibra de fique. Las aguas de estudio presentan una alta carga orgánica, debido a que en la producción de fique los residuos generados son ricos en celulosa, lignina y pentosa, compuestos orgánicos corresponden al 99,6% de la composición del fique y son vertidos sin ningún tratamiento al río Cofre, fuente superficial del estudio. El estudio tiene como objetivo general estudiar la remoción de la materia orgánica natural en un sistema de Filtración en Múltiples Etapas –FiME–. Cabe mencionarse que los sistemas de FiME están constituidos por un filtro lento en arena que es precedido de unidades de prefiltración ascendente o descendente de materiales gruesos como grava, cuyo objetivo es disminuir los picos de turbiedad del agua cruda. Se encontró que las eficiencias de remoción de materia orgánica fueron de 88% para la Demanda Química de Oxígeno –DQO– y de 77% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno –DBO₅–. Adicionalmente, se encontró una relación entre la

temperatura (promedio de 15°C) y las eficiencias de remoción de materia orgánica (88%); según el estudio, a mayores temperaturas los procesos de adsorción y biodegradación se ven favorecidos. Por otro lado, Naranjo (2009) reporta para la DQO valores medios del agua cruda de 42,6mg/L y para el agua tratada de 21,3mg/L, presentándose una disminución del 50% para este parámetro.

Los sistemas de FLA tienen un limitante, cuando en la fuente de agua persisten durante la mayoría del tiempo condiciones de turbiedad alta (mayor 10UNT) se da la colmatación del lecho filtrante rápidamente. Esta situación puede afectar el abastecimiento continuo de agua y generar altos costos de mantenimiento. Buscando que este problema sea mitigado se ha estudiado la implementación de mantas sintéticas y naturales en los sistemas de FLA, a continuación se hace un resumen de las diferentes investigaciones que se consideran como referente bibliográfico para la presente investigación.

Las mantas sintéticas tienen un gran potencial de uso en la filtración lenta, estas se fabrican con fibras de polipropileno, poliéster, polietileno, cloruro de polivinilo, poliamida y poliestireno, poseen alta porosidad (aproximadamente 80-90%) si se compara con la de la arena (aproximadamente 40-45%), y superficie específica alta. La combinación de las características de porosidad, superficie específica y espesor de la misma, son parámetros que determinan las condiciones más adecuadas para obtener buenos resultados en el filtrado (Stipp, 1991). Algunos estudios realizados con sistemas de FLA han mostrado que las mantas sintéticas no tejidas superpuestas sobre el lecho filtrante de arena trae mejoras al proceso por la facilidad de limpieza de las mantas, el aumento en los tiempos entre mantenimientos (carrera de filtración) y la disminución del espesor del lecho filtrante de arena (Mbwette y Graham, 1988; Graham y Mbwette, 1990; Stipp, 1991). Según Fernández *et al.* (2000), el uso de mantas no tejidas en la superficie del lecho filtrante de sistemas de FLA se viene estudiando desde el inicio de los años 80; la implementación de dicha manta a nivel superficial busca disminuir la pérdida de material en cada lavado, protegiéndolo y aumentando la carrera de filtración si se compara con un filtro sin manta.

Mbwette, Steitieh y Graham (1990) encontraron que la eficiencia de los sistemas de FLA puede ser sustancialmente mejorada mediante el uso de una manta sintética sobre superficie de la arena. Por medio de experimentos a escala piloto, utilizando el agua del río Tamesis, se encontró que el uso de las mantas puede prolongar los tiempos de filtración por un factor de 3-5 en comparación con un FLA convencional. Además, se evita la reducción y el posterior cambio del lecho de arena ya que se evita remover la arena de la superficie para lavarla, solo se remueve la manta y su lavado es simple y rápido.

Bergamini y Stipp (2010) señalan que uno de los principales factores que limitan el uso de la FLA es la limpieza de los filtros después de la operación, porque al realizar el raspado superficial de la capa de arena luego de la colmatación genera la desaparición de la biocapa y así el sistema pierde eficiencia en la remoción de los parámetros de calidad. Con el fin de mejorar el sistema de FLA, Di Bernardo, Graham y Stipp (1991) y Stipp (1991) llevaron a cabo investigaciones usando mantas sintéticas no tejidas instaladas en la parte superior de los FLA. Los resultados demuestran que al usar las mantas es viable reducir el espesor del lecho filtrante en arena, aumentar las velocidades de filtración sin comprometer los parámetros de calidad para el agua potable y que además se facilita la limpieza del filtro ya que cuando se haya completado la carrera de filtración, la manta se quita, lava y vuelve a su sitio fácilmente. Lo anterior reduce los costos de mantenimiento y el tiempo para la operación, por lo que es muy viable para las plantas de tratamiento de aguade pequeñas comunidades.

Como lo mencionan Fernández *et al*, (2000) las mantas no tejidas concentran la mayor parte de los procesos de tratamiento en la manta y no en la superficie de la capa de arena, esto puede ser explicado las propiedades estructurales de las mantas no tejidas ofrecen un medio filtrante más eficiente que la arena. Una comparación que los autores exponen radica en la filtrabilidad del medio, es decir, un medio compuesto por una manta con área superficial de $2000\text{m}^2/\text{m}^3$ sugiere un coeficiente de filtración 4,4 veces mayor que la arena (Graham, Mbvette y Di Bernardo, 1994). De otra parte, la porosidad de la arena que está entre el 40-50% es menor que la de la manta (90% aproximadamente), por lo que la manta presenta una mayor posibilidad de almacenamiento de sedimentos y de bacterias que la arena.

Rendón (2001), estudio el desempeño de las unidades de FLA cuando se implementa en la superficie del lecho filtrante una manta sintética. Se comparó la eficiencia de remoción de turbiedad, sólidos suspendidos, color aparente y coliformes fecales de los FLA, con la implementación de mantas sintéticas y sin ellas y se evaluó la pérdida de carga y la duración de las carreras de filtración. Los resultados de evaluar los parámetros hidráulicos arrojaron que el desarrollo de la pérdida de carga se llevó a cabo sobre el lecho de arena y no sobre la manta y que las carreras de filtración de los FLA con mantas aumentaron en factores que iban desde 1,35 a 1,92 comparando con un filtro que no utilizó mantas. Sin embargo, tanto las unidades con manta sintética como el FLA convencional presentaron eficiencias similares en cuanto a porcentajes de remoción y calidad del efluente, lo que sugiere que la utilización de dichas mantas sobre el lecho de arena no tuvo un efecto significativo sobre la calidad de agua obtenida.

Para comparar la eficiencia de las fibras sintéticas respecto a las de fique (Fibra natural), Fernández *et al.* (2000) evaluaron la calidad del agua tratada, la duración de la carrera de filtración y el efecto de la degradación de la fibra natural en un sistema piloto de FiME. El estudio mostró que la aplicación de mantas sintéticas no tejidas de 20mm de espesor en la superficie del lecho filtrante en los sistemas de FiME incrementan las carreras de filtración en un factor de 1,33 a 1,72 con velocidad de filtración de $3,6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; lo que optimiza el proceso de filtración. Por otro lado, el uso de mantas naturales, como el fique, no mostró buenos resultados debido a su alta biodegradabilidad. Según información presentada por Cánepa (1992), debido a su alta porosidad las mantas proporcionan una baja pérdida de carga, aumentando las carreras de filtración y viabilizando la posibilidad de aumentar la tasa de filtración.

Gómez y Herrera (2001) realizaron una evaluación comparativa de la operación y mantenimiento de los filtros lentos en arena a escala piloto que utilizan mantas sintéticas y naturales para proteger los lechos de los filtros en ambientes tropicales. En la investigación se usaron dos fibras naturales como el ecomusgo y la felpa, encontrando que no son adecuadas para los filtros debido a que éstas generan la aparición de microorganismos filamentosos, asociados a riesgo biológico. El uso de mantas sintéticas arrojó como resultado un aumento de los tiempos de operación ya que las mantas protegen el lecho filtrante permitiendo que el tiempo de carrera aumente, ya que la manta retiene gran parte del material coloidal del agua cruda lo que ayuda a que los poros del lecho filtrante en arena permanezcan sin colmatarse por más tiempo.

Lozano y Ramírez (2004) sustituyeron los medios filtrantes convencionales por lechos fibrosos de queratina y polipropileno y encontraron que fue posible aumentar las tasas de filtración de 10 a $15\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ utilizando polipropileno con una eliminación de patógenos (coliformes totales y fecales) del 100% y, en comparación con un sistema convencional, encontraron un aumento en la eficiencia en remoción de turbiedad en un 30% y en color aparente del 40%. Por otro lado, el lecho de queratina no funcionó como medio filtrante, por tener alta porosidad y permeabilidad.

Fenga y Stipp (2000 y 2002) estudiaron a escala de laboratorio la influencia de la reducción del lecho de soporte para un sistema compuesto por una unidad de pre-filtración ascendente y tres filtros lentos en arena; se usaron las mantas sintéticas no tejidas de polipropileno de tres formas, la primera usándola sobre el lecho de arena, la segunda sobre el lecho de soporte de grava y sobre el lecho filtrante de arena y finalmente sustituyendo el lecho de grava en su totalidad y sobre la superficie del lecho filtrante de arena. Se experimentó a tres tasas de

filtración, 3, 6 y $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, encontrando que la mejor tasa de operación es de $3\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; es viable sustituir el lecho de soporte en grava por la manta ya que comparando la remoción de los parámetros evaluados (turbiedad, color aparente y coliformes fecales y totales) en los tres sistemas de filtración no hay diferencias significativas. Adicionalmente ésta modificación permite alargar las carreras de filtración y reduce los costos por lo que es más asequible a las comunidades de regiones desfavorecidas.

Di Bernardo y Bojorge (1997) realizaron pruebas en dos unidades de pre-filtración de flujo ascendente con una serie de mantas sintéticas no tejidas puestas en la superficie del lecho en grava, realizando siete ensayos con tasas que variaron entre 12 y $24\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. En la investigación se encontró que el uso de las mantas mejoró la calidad del agua producida, es posible aumentar las carreras de filtración (usando tasas de hasta $24\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$) sin poner en riesgo la calidad del agua filtrada y la remoción de turbiedad, color aparente, coliformes totales y hierro siempre fue mejor en los sistemas con manta.

Justificación de la presente investigación

La presente investigación tiene un impacto social directo, ya que los sistemas de filtración lenta han mostrado ser eficientes en la remoción de materiales orgánicos e inorgánicos, así como de patógenos asociados a las fuentes hídricas. Lo anterior tiene resultados muy positivos sobre la calidad de vida de las comunidades favorecidas, ya que al tener acceso a agua potable se reducen enfermedades diarreicas. En 2004 la Organización Mundial de la Salud -OMS- mencionó que el 88% de las enfermedades diarreicas se debe a aguas no potables; es posible reducir de un 6 a 21% la morbilidad por diarreas agudas al potabilizar el agua, y enfermedades como la esquistosomiasis que está relacionada con la contaminación del agua con materia fecal se puede reducir hasta en un 77% al tratar el agua. La filtración lenta tiene varias ventajas que lo convierten en un método de potabilización viable y exequible para comunidades rurales aisladas de poca población. Permiten la disminución en la utilización de productos químicos lo que traduce facilidad de mantenimiento y operación, aplicable en localidades de bajo nivel tecnológico y donde el tratamiento con productos químicos puede ser limitado. Adicionalmente, si las condiciones topográficas lo permiten no es necesario el uso de energía eléctrica.

Ahora, se podría decir que la presente investigación genera nuevos conocimientos que se enfocan en el material usado para conformar la manta no tejida (polyester 100%) ya que en las diferentes fuentes bibliográficas estudiadas no se logró identificar la descripción del material usado, debido básicamente a que muy pocos autores mencionan los componentes de las

mantas y las propiedades de las mismas (porosidad, peso específico, área superficial, cantidad de napas que la conforman, entre otros). Por otro lado, es necesario recalcar que tanto la empresa que produce la fibra cortada de polyester, como la empresa que lo transforma en manta, están ubicadas en Medellín, permitiendo un fácil acceso a estos materiales y disminuyendo posibles sobrecostos de importaciones. Finalmente, el uso de mantas sintéticas no tejidas como lechos filtrantes para la potabilización por medio de filtración lenta es una alternativa eficiente para sistemas de abastecimiento de mediana y pequeña envergadura y se ha comprobado mediante esta investigación.

La investigación “*Evaluación de una manta sintética no tejida en un sistema piloto de filtración lenta para el tratamiento del agua*”, tuvo los siguientes objetivos:

General

- Evaluar la eficiencia de mantas sintéticas no tejidas en un sistema de filtración lenta para potabilización.

Específicos

- Diseñar y construir tres sistemas de experimentación; el primero un sistema convencional de filtración lenta, el segundo un sistema con manta sintética puesta superficialmente y el tercero un sistema uno que posee como lecho filtrante manta sintética.
- Caracterizar el material sintético que se usará como manta filtrante en los sistemas de filtración.
- Evaluar y comparar la eficiencia en la remoción de la turbiedad, color aparente, *Escherichia coli* y materia orgánica entre los tres sistemas propuestos.
- Realizar el seguimiento de las comunidades microbianas en la capa biológica *schmutzdecke* para cada uno de los sistemas de filtración.
- Seleccionar el mejor sistema de filtración a partir del análisis técnico y económico de las alternativas evaluadas.

A continuación se resume la información presentada en cada uno de los capítulos del presente trabajo de grado. En el capítulo 1 se realizó una revisión teórica inherente al tema de la filtración lenta. El capítulo 2 describe la metodología usada para el desarrollo de la

investigación, se describe el montaje experimental que se usó para este estudio, la preparación de las condiciones de experimentación y en detalle el análisis y monitoreo realizado. El capítulo 3 se enfoca en los resultados de la investigación y el análisis de los mismos. Finalmente, en el capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

Esta investigación se encuentra articulada y cofinanciada por el proyecto “Procesos innovadores para la potabilización de aguas en comunidades rurales antioqueñas” asociado al programa Expedición Antioquia 2013.

CAPÍTULO 1

Revisión Teórica

1. REVISIÓN TEÓRICA

1.1. Filtración lenta en arena –FLA–

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que pasa a través de un medio poroso. La filtración puede ser rápida o lenta, dependiendo de la tasa de filtración. Usualmente, los filtros rápidos funcionan con tasas de filtración entre 120 y 360m³/m².día, mientras que la filtración lenta a tasas de filtración entre 2 y 14m³/m².día (Arboleda, 2000).

En la tabla 1.1 se presenta un resumen de algunas características representativas para el diseño de los sistemas de FLA según varios autores; nótese que para algunas de las características presentadas la variación que hay entre autores es poca.

Tabla 1.1. Principales características de los filtros lentos en arena presentadas por diferentes autores.

Característica	Arboleda, (2000) ¹	Huisman y Wood (1974) ²	Sánchez et al.(2007) ³	Visscher et al.(1990) ⁴
Tasa de filtración (m ³ /m ² .día)	2,0 – 14,0	2,4 – 9,6	2,4 – 9,6	2,4 – 4,8
Profundidad mínima del lecho de arena (m)	0,90	1,2	0,80	0,90
Tamaño efectivo (d_{10}) (mm)	0,15 – 0,30	0,15 – 0,35	0,15 – 0,30	0,15 – 0,30
Coefficiente de desuniformidad (d_{60}/d_{10})	1,5 – 2,5	<3	3,0 – 5,0	< 5

¹ Tomado de Arboleda, “Teoría y Práctica de la Purificación del Agua” (2000).

² Tomado de Huisman y Wood, “Slow Sand Filtration” (1974).

³ Tomado de Sánchez et al. “Filtración en Múltiples Etapas” (2007).

⁴ Tomado de Visscher et al. “Slow Sand Filtration: Design, Operation and Maintenance” (1990).

A diferencia de la filtración rápida que requiere un pre-tratamiento del agua cruda con coagulación química, la filtración lenta no usa coagulantes, ya que estos afectan la biocapa que se forma en este tipo de sistemas. Algunas características fisicoquímicas de la fuente de abastecimiento limitan el uso del sistema de FLA, como por ejemplo la alta turbiedad (>15 UNT) que hace que el sistema se colmate rápidamente (Arboleda, 2000). En la tabla 1.2. se pueden observar los parámetros más importantes para la selección del sistema de FLA, como turbiedad, color aparente y coliformes totales; estos parámetros son la referencia para determinar si se requieren unidades de prefiltración que permitan que la eficiencia del sistema aumente.

Tabla 1.2. Límites establecidos para los parámetros de mayor importancia en la FLA.

Parámetro	Arboleda, (2000) ¹	Di Bernardo y Dantas (2005) ²	Galvis, (1999) ³
Turbiedad (UNT)	< 10	< 15	< 10
Color verdadero (UPC)	< 10	< 15	< 10
Coliformes totales (UFC/100 mL)	< 800	< 1000	< 1000

¹Tomado de Arboleda, "Teoría y Práctica de la Purificación del Agua" (2000).

²Tomado de Di Bernardo y Dantas, "Métodos e Técnicas de Tratamiento de Agua" (2007).

³Tomado de Galvis, "Development and Evaluation of Multistage Filtration Plants: An Innovative, Robust and Efficient Water Treatment Technology" (1999).

Una característica fundamental en los sistemas de FLA es la capa biológica que se establece en el lecho filtrante, ésta se encuentra constituida fundamentalmente por partículas inertes, materia orgánica y una gran biodiversidad de organismos activos como: bacterias, algas, protozoarios, rotíferos, y bacteriófagos (Di Bernardo y Dantas, 2005; Huisman y Wood, 1974) que se alimentan de la materia orgánica y nutrientes provenientes de las aguas. Además, bacterias, virus y quistes de *Giardia* y *Cryptosporidium* son removidos en el proceso de filtración (Campos, 2002; Ellis y Wood, 1985; Fogel *et al.* 1993). Según Sánchez *et al.* (2007), las poblaciones microbiológicas tales como algas, bacterias y protozoarios y las condiciones ambientales como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y la radiación solar, deben ser entendidas como un sistema, ya que todos estos factores afectan el desempeño de los filtros, el proceso de maduración y la eficiencia del tratamiento.

1.2. Aspectos técnicos y principios de tratamiento de la FLA

1.2.1. Descripción general del proceso de FLA

La filtración en arena consiste en la remoción de partículas suspendidas, coloidales y disueltas presentes en el agua cruda, que pasan a través de un medio poroso de arena. Durante el proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples (Huisman y Wood, 1974).

Según Arboleda (2000) el agua cruda compuesta por diversidad de partículas (figura 1.1), ingresa al sistema y de acuerdo a una tasa de filtración el agua permanece en contacto con el lecho filtrante un cierto tiempo, denominado tiempo de retención. Huisman y Wood (1974) exponen que el tiempo de retención puede estar entre 3 y 12 horas, en el cual las partículas

disueltas, coloidales y suspendidas se van acumulando en los poros del lecho filtrante a través de diferentes mecanismos; estos se describen con mayor profundidad en el numeral 1.2.2. A medida que pasa el tiempo se comienza a formar en la superficie del lecho filtrante una capa biológica *Schmutzdecke*, en la que diversidad de microorganismos se establecen, debido a la existencia de alimento y óptimas condiciones.

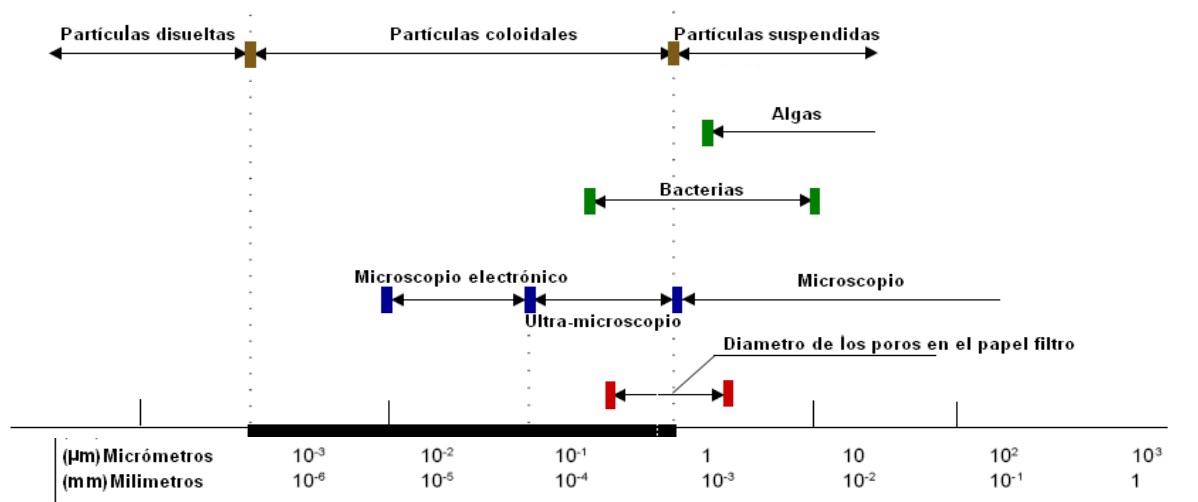


Figura 1.1. Partículas que están presentes en aguas crudas, según su tamaño.

Fuente: Tomada de Cánepa, "Tratamiento de Agua para Consumo Humano: Plantas de Filtración Rápida" (2004).

La acción intensiva de estos microorganismos en el lecho filtrante atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua. Las bacterias y las algas muertas presentes en el agua cruda son consumidas en este proceso. Una parte del color es removido y una considerable proporción de partículas inertes en suspensión son retenidas por el lecho poroso de arena (Huisman y Wood, 1974).

El rendimiento del filtro lento depende principalmente del proceso biológico (Huisman y Wood, 1974), mientras la capa biológica se desarrolla, la eficiencia disminuye, mejorando a medida que progresa la carrera de filtración (comprendida entre el momento de inicio de la operación del filtro y el momento de la salida de funcionamiento del sistema para el lavado).

Luego de un tiempo de funcionamiento, el cual depende directamente de la turbiedad del agua cruda, el filtro se colmata y es necesario interrumpir la carrera de filtración para lavar el sistema. La limpieza consiste en el raspado superficial de la arena; ésta posteriormente es lavada y almacenada. El espesor del lecho filtrante disminuye hasta valores límite, momento en el que la arena almacenada debe reponerse para restaurar el medio filtrante original.

Al inicio de la operación, el nivel de agua en el filtro lento es mínimo y la eficiencia de remoción de impurezas es baja; en este período predomina la acción física de cernido (filtración de acción superficial), quedando retenidas las partículas con un tamaño superior al tamaño de los intersticios entre el material filtrante, contribuyendo así a la formación de la capa biológica en la superficie. Solamente después del periodo de maduración, se alcanza la producción de un efluente con una calidad satisfactoria asociada a la alta eficiencia para la remoción de partículas, predominando el mecanismo de acción biológica (Naranjo, 2009).

1.2.2. Mecanismos de la filtración lenta

La filtración usualmente es considerada como el resultado de tres mecanismos distintos pero complementarios: el transporte, la adherencia y el mecanismo biológico. El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masa. La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influido por parámetros físicos y químicos. El mecanismo biológico se constituye como un mecanismo de depredación y de oxidación biológica, en donde unos microorganismos se alimentan de otros, de materia orgánica y compuestos nutricionales presentes en la fuente de abastecimiento.

En la tabla 1.3 se describen de manera breve los mecanismos que contribuyen a la remoción de partículas disueltas, coloidales y suspendidas en el lecho de arena. Los mecanismos descritos, se desarrollan al interior del lecho filtrante y son los responsables de la remoción de turbiedad, color aparente, materia orgánica y microorganismos patógenos de las aguas de abastecimiento.

Tabla 1.3. Mecanismos que contribuyen a la remoción de partículas en el lecho filtrante.

MECANISMO		DESCRIPCIÓN
1. Cernido	a. Mecánico	Las partículas más grandes que los intersticios entre el material filtrante son cribadas mecánicamente.
	b. Contacto	Las partículas más pequeñas que los intersticios son atrapados por la oportunidad de contacto existente con el lecho filtrante.
2. Sedimentación		Se produce la sedimentación de las partículas sobre el material filtrante.
3. Impacto		Las partículas pesadas no siguen las líneas de flujo debido a la inercia que poseen y son removidas al impactar con el material filtrante.

MECANISMO	DESCRIPCIÓN
4. Intercepción	Muchas partículas que se mueven a lo largo de las líneas de flujo son removidas cuando entran en contacto con la superficie del material filtrante.
5. Adhesión	Las partículas se adhieren al material filtrante a medida que pasan a través de él, resistiendo las fuerzas de cizalla ocasionadas por el flujo a lo largo del material.
6. Floculación	La floculación puede ocurrir dentro de los intersticios del material filtrante; así, las partículas más grandes formadas por los gradientes de velocidad dentro del filtro son removidas por uno o más de los mecanismos mencionados antes.
7. Adsorción química a. Enlace b. Interacción química	Una vez que las partículas han entrado en contacto con el material filtrante o con otras partículas, uno de estos mecanismos, sean de adsorción química, adsorción física o ambas, pueden ser responsables de la retención al interior del lecho filtrante.
8. Adsorción física a. Fuerzas electroestáticas b. Fuerzas electrocinéticas c. Fuerzas Van Der Walls	
9. Crecimiento biológico	

Fuente: Tomada de Naranjo, "Desarrollo de un Sistema Compacto de Potabilización (2009) quien la adapto de Metcalf y Eddy, "Waste water Engineering: Treatment and Reuse" (2003).

Mecanismos de transporte

Los mecanismos de transporte hacen que las partículas se salgan de sus líneas de tránsito y se queden retenidas en el lecho filtrante. Según Ives (1975), el transporte de las partículas depende de la tasa de filtración, el tamaño de las partículas y la temperatura del agua. Además, muchos de los mecanismos pueden actuar paralelamente en el proceso de filtración.

La figura 1.2 representa los mecanismos de transporte más representativos en la filtración lenta, además de apreciar como es el movimiento de las partículas al interior del lecho filtrante. Si la partícula es conducida por las líneas de flujo, el impacto inercial puede cambiar su trayectoria, moviéndose de una línea de flujo a otra, pudiendo eventualmente colisionar con un grano de arena. Según Yao, Habibian y O'melia (1971) el flujo entre dos líneas de flujo cualesquiera es similar y el espacio dentro del cual discurren se denomina conducto cilíndrico. La configuración de estos conductos cilíndricos es tortuosa, se bifurcan, se unen y se vuelven a bifurcar en

diferentes puntos. Este cambio continuo de dirección del flujo crea mayor oportunidad de colisión, al cruzarse constantemente las partículas y los granos de arena.

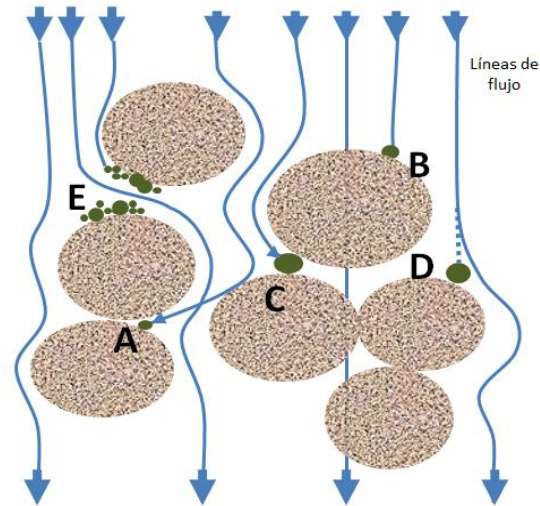


Figura 1.2. Mecanismos de transporte más representativos en la FLA. (A) impacto inercial, (B) intercepción, (C) cernido, (D) sedimentación (E) adhesión.

Fuente: Elaboración propia, a partir la información presentada por Arboleda “*Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*” (2000) y Metcalf y Eddy “*Waste Water Engineering: Treatment and Reuse*” (2003).

En el impacto inercial (A), la inercia que poseen las partículas ayuda a que estas puedan seguir trayectorias diferentes a las líneas de flujo, lo cual hace que choquen con los granos del lecho para quedar adheridas a ellos. La intercepción (B) se da cuando las partículas que viajan por el lecho hacen contacto con la superficie de los granos o con el floc ya adherido quedando interceptadas. Según Herzig, Leclere y Legoff, (1970) y Pérez (1990), el mecanismo dominante en la filtración lenta es el cernido (C), que se presenta cuando las partículas en suspensión tienen un tamaño mayor que los poros del lecho y quedan atrapados en los intersticios del mismo. Los filtros lentos en arena están compuestos por un material filtrante de tamaño efectivo promedio de 0,2mm, lo que ayuda a la retención de partículas de mayor tamaño que no logran atravesar los poros del lecho. Incluso, Campos (2002) menciona que la capa biológica formada en la superficie del filtro es una respuesta directa a este mecanismo, debido a que la biota queda retenida en la superficie.

La sedimentación (D) se da por acción de la gravedad y la difusión, debido a la tendencia de las partículas a propagarse desde las zonas de mayor concentración a las zonas de menor concentración (movimiento browniano). En la sedimentación, la fuerza de gravedad actúa sobre todas las partículas, produciendo la componente vertical de la resultante de la velocidad de

conducción, la cual puede causar la colisión de la partícula con el grano de arena. Su influencia es perceptible solamente con partículas mayores de 10 μm (Yao, Habibian y O'melia, 1971).

Mecanismos de adherencia

La adherencia (E) entre las partículas transportadas y los granos del lecho filtrante en arena está gobernada principalmente por las características de sus respectivas superficies. Las partículas pueden adherirse directamente a la superficie del grano o a partículas previamente retenidas por ellos. La adherencia es atribuida más que a mecanismos puramente físicos, a una serie de factores químicos y electroquímicos, siendo los más importantes las fuerzas de Vander Walls y las fuerzas electrocinéticas. Según Metcalf y Eddy (2003), cuando tales fuerzas superan las fuerzas de adhesión superficiales debido a la continua colmatación del filtro, se produce el desprendimiento, causando el arrastre de las partículas más profundamente en el medio filtrante hasta que aparecen en el efluente aumentando la turbiedad.

Según Cánepa (1992) los mecanismos de transporte y adherencia que actúan sobre las partículas acarreadas por el agua en el proceso de remoción por filtración lenta, son los mismos que actúan en el proceso de filtración rápida, la diferencia fundamental está en el mecanismo biológico adicional que actúa en el filtro lento. Mientras que en el filtro rápido los microorganismos quedan entre el lodo retenido en el lecho filtrante y salen del filtro con el agua de lavado, en el filtro lento mueren como consecuencia del proceso de degradación biológica. Por lo antes mencionado el mecanismo de adherencia tiene una relación directa con el mecanismo biológico. Cuando la capa biológica está madura hay una gran cantidad de microorganismos y la depredación entre ellos es mayor. Luego de producida la adherencia a la superficie del lecho ocurrirá inevitablemente la depredación y la muerte de los microorganismos patógenos (Bryck y Sklenar, 1986).

Mecanismos biológicos de la filtración lenta

El principio de tratamiento de la filtración lenta radica en la formación de la capa biológica superficial. En la figura 1.3 se puede observar la capa biológica en la superficie del lecho filtrante, en esta capa se establecen la mayoría de los microorganismos presentes en el lecho filtrante, forman una "barrera" donde parte del material coloidal se queda retenido. Por esta membrana biológica el agua percola con una tasa de filtración baja; según Galvis *et al.* (1985), esta capa sobrenadante reduce el tamaño de los poros de la superficie de filtración, mejorando la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos en el agua. La biocapa es fundamental para la remoción de material orgánico; según Huisman y Wood (1974), el alimento de los microorganismos consiste esencialmente en partículas de origen orgánico llevadas por el agua

cruda. El revestimiento orgánico mantiene a las partículas que se encuentran en suspensión hasta que se degrada la materia orgánica.

Al transcurrir el tiempo esta membrana biológica crece, la multiplicación de bacterias, protozoos y algas tiende a incrementarse, así como la sedimentación de partículas coloidales sobre el lecho filtrante, esto lleva a que la eficiencia del filtro tiende a disminuir generando una resistencia hidráulica (Campos, 2002; Fernández, Cruz y Benavides, 2006). Esta resistencia hidráulica se relaciona con el creciente aumento de la presión, que a su vez, genera una pérdida de carga que ocurre cuando no es posible alcanzar el caudal de diseño de filtración, en este momento es necesario restaurar la tasa de filtración (Campos, 2002). Lo anterior, hace necesaria la remoción de la arena de la parte superior del filtro; con la remoción de 2 a 3 cm de arena es suficiente (Campos, 2002), extrayendo también una parte del material biológico activo lo que desencadena un desequilibrio del sistema, siendo evidente el uso de mínimo dos unidades de filtración operando en paralelo. Mientras que se renueva la capa biológica en el filtro lavado, su eficiencia será baja; la remoción de organismos patógenos será eficiente de nuevo en aproximadamente 1 a 2 días para filtros en uso y de 10 a 20 días para filtros completamente nuevos (Galvis *et al.* 1985).



Figura 1.3. Capa biológica que se forma en la superficie del lecho filtrante de arena.

La actividad biológica es más pronunciada en la superficie del material filtrante. Según Huisman y Wood (1974) y Bellamy, Hendricks y Logsdon (1985), la biota puede extenderse hasta cerca de 40cm de profundidad del medio filtrante, presentándose diferentes formas de vida dependiendo de la profundidad del lecho (figura 1.4). En el extremo final del manto filtrante disminuye la cantidad de alimento, encontrándose otro tipo de bacterias, las cuales utilizan el oxígeno disuelto en el agua y los nutrientes que se encuentran en solución. En la figura 1.4 se

esboza como es la estratificación de los diferentes microorganismos que se establecen en el lecho filtrante.

La mayor parte de la literatura existente sobre filtración lenta (Campos, 2002; Di Bernardo y Dantas, 2005; Ellis y Wood 1985; Fogel *et al.*1993; Huisman y Wood, 1974; Sánchez *et al.*2007, entre otros) adjudica a la capa biológica toda la eficiencia del filtro. Bellamy, Hendricks y Logsdon (1985) encontraron que un filtro sin capa biológica activa remueve cerca del 85% de coliformes presentes en las aguas de abastecimiento, cuando la capa biológica se establece y madura la eficiencia en la remoción de los coliformes aumenta hasta un 99%.

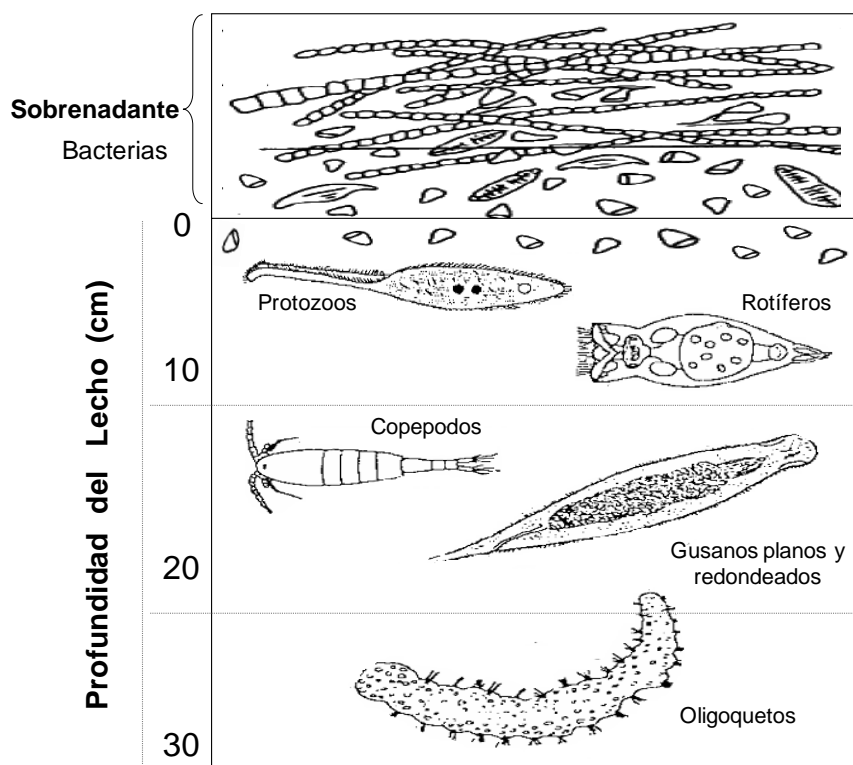


Figura 1.4. Formas de vida características de los filtros lentos en arena a diferentes profundidades del lecho.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información presentada en AWWA "Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies" (1999) y Mc Nair *et al.* "Schmutzdecke Characterization of Clinoptilolite" (1987).

No obstante, el contenido bacteriológico está limitado por el contenido de materia orgánica en el agua cruda; el límite máximo de desarrollo de la capa biológica se relaciona con el contenido de nutrientes en el agua cruda (Barret, 1989; Bellamy, Hendricks y Logsdon, 1985; Bryck, 1987), siendo este factor un limitante para el establecimiento de la capa biológica y así de los procesos de depredación y oxidación. Según Bellamy, Hendricks y Logsdon (1985) puede esperarse que los filtros lentos que tratan aguas con bajo contenido de nutrientes presenten una remoción de

coliformes fecales del orden de 2log o del 99,0%, después de producirse la maduración de la película biológica. En cambio, con aguas ricas en nutrientes es de esperar que se obtengan remociones del orden de 3log que equivale a 99,9%, evidenciándose en otros casos eficiencias de remoción de hasta 4log o del 99,99%.

1.2.3. Lecho filtrante en los sistemas de FLA

La arena es el material más usado para la construcción de estos filtros, debido principalmente a su durabilidad, disponibilidad y sus bajos costos con respecto a otros materiales granulados como la tierra diatomácea (Campos, 2002). La arena va sobre una serie de capas de grava y gravilla que actúan como lecho de soporte, constituyendo la última estación del sistema de filtración. Los lechos filtrantes pueden componerse de un sólo material (generalmente arena), denominados lechos simples, o de varios materiales (generalmente arena y antracita), denominados lechos múltiples o mixtos. Cuando se utiliza un lecho simple en la filtración descendente, la permeabilidad aumenta con la profundidad del lecho filtrante, quedando los granos más pequeños arriba y los más grandes abajo. Así, las partículas coloidales o suspendidas encuentran intersticios cada vez más grandes a medida que pasan a través del lecho filtrante, logrando atravesarlos con mayor facilidad (Cánepa, 2004).

Para conformar el lecho filtrante se deben tener en cuenta algunas consideraciones:

El contenido de materia orgánica debe ser mínimo, por lo que en algunos casos se debe realizar un prelavado de este material antes de su colocación; además, se deben tener en cuenta la granulometría del material y el espesor de la capa (Galvis *et al.* 1985).

Materiales con un tamaño efectivo de 0,15 a 0,35mm y coeficiente de desuniformidad (relación entre el tamaño de las partículas del material que pasan el 60% y el tamaño de las partículas del material que pasan el 10% en la curva de distribución granulométrica) entre 2,0 a 3,0 permiten obtener agua tratada de buena calidad (Sundaresan y Paramasivam, 1982; Visscher, 1990). Al mismo tiempo, Galvis *et al.* (1985) establecen que para una misma calidad de agua tratada, un aumento del tamaño efectivo genera un incremento de la carrera de filtración, este no afecta de manera negativa la remoción de la turbiedad, pero si disminuye la eficiencia de remoción de microorganismos patógenos.

Galvis *et al.* (1985) recomiendan que la altura del lecho de arena sea de mínimo 0,5m, para permitir los procesos de tratamiento al interior de la capa biológica y del material filtrante. Diferentes estudios (Campos, 2002; Galvis *et al.* 1985) mencionan que se debe utilizar

inicialmente un espesor de 0,8 a 1,2m, ya que a medida que se remueve la capa superficial en el lavado (1 a 3cm) el espesor del lecho va disminuyendo. Además, Cánepa (1982) establece que el tamaño de las partículas del lecho filtrante se relaciona con los diferentes procesos que se desarrollan en él; así, tamaños de partículas mayores comprendidas entre 10^{-2} y $10^3 \mu\text{m}$ se relacionan con degradación biológica, tamaños de partículas menores de $10^{-5} \mu\text{m}$ hasta $10^1 \mu\text{m}$ con procesos de adsorción y en todo el sistema con partículas menores a $10^{-5} \mu\text{m}$ y mayores de $10^3 \mu\text{m}$, con procesos de oxidación bioquímica.

1.2.4. Velocidad y tasa de filtración

Las velocidades de filtración varían dependiendo de la cantidad de partículas coloidales y suspendidas presentes en las aguas; según Galvis *et al.* (1985), éstas pueden ir entre 0,1 y 0,5m/h (equivalente a una tasa de 2,4 a $12,0\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$); si la turbiedad se excede de 10UNT y si se aplican velocidades mayores a las mencionadas, el filtro puede colmatarse rápidamente. Hay que tener presente que no siempre las tasas de filtración bajas aseguran agua filtrada de buena calidad, variables como alta turbiedad y la pérdida de carga pueden influir de manera directa en la calidad del agua filtrada.

Según Sundaresan y Paramasivam (1982), al comparar diferentes velocidades de filtración, 0,1, 0,2 y 0,3m/h (equivalente a una tasa de 2,4, 4,8 y $7,2\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$), para aguas con turbiedad de 10UNT, establecieron que las eficiencias para parámetros como color, remoción de patógenos y remoción de turbiedad eran prácticamente iguales.

Huisman (1974) identificó que el periodo entre lavados de los filtros era de 45 días para velocidades de 0,1m/h, de 26 días para 0,25m/h y sólo de 12 días para 0,45m/h. Evidentemente, a mayores velocidades de filtración más rápido se colmatará el filtro; por lo tanto, velocidades bajas se traducen en disminución de las frecuencias de lavado lo que simplifica el mantenimiento del sistema. Por otro lado, si se cuenta con suficiente mano de obra local, se podrían aplicar velocidades de filtración altas, ya que el mantenimiento de los filtros podría realizarse consecutivamente.

La velocidad de filtración debe mantenerse constante, ya que fluctuaciones fuertes y rápidas conducen al deterioro de la calidad del agua filtrada, pues se afecta negativamente la actividad biológica del filtro (Galvis *et al.* 1985; Sundaresan y Paramasivam, 1982).

1.2.5. Operación y mantenimiento de los sistemas de FLA

La operación y el mantenimiento de los filtros es indispensable para obtener un efluente con buenas condiciones y que pueda cumplir con los valores para agua de consumo humano que establece la Resolución 2115 de 2007 “*Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básico y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*” del Ministerio de Protección Social y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Dentro de las actividades de operación de los sistemas de FLA se presentan los ajustes de caudal y la limpieza de los filtros luego de su colmatación en los que se incluye el raspado superficial, así como las labores de rearenado. Adicionalmente, el lecho siempre debe estar húmedo para asegurar la supervivencia de los microorganismos, la fuente de abastecimiento debe contener oxígeno, por lo menos de 3,0mg/L (Cánepa, 1992) ya que éste es fundamental para el metabolismo de los microorganismos presentes en el lecho de filtración.

Por otro lado, para el control de la carga hidráulica en los sistemas de FLA es fundamental hacer un seguimiento diario a este parámetro. La carga hidráulica en el sistema indica el estado de colmatación del filtro y dependiendo de esto se efectuará la limpieza. La carga hidráulica aumenta a medida que la capa biológica madura y se saturan los poros del lecho, haciendo que aumente la resistencia hidráulica en el filtro, traduciéndose en aumento en la columna de agua al interior. Para realizar el control se debe establecer el nivel máximo del agua al interior del filtro; cuando la columna de agua llegue al máximo se realiza un alivio del caudal por medio de un vertedero a forma de desagüe, en este momento el sistema debe limpiarse. La limpieza se fundamenta en el raspado superficial de la capa biológica, lo que permite que la carga hidráulica vuelva a un nivel inicial; nivel que se determina por variables como la tasa hidráulica de diseño y la granulometría del lecho filtrante.

El lavado de los filtros se puede considerar como un lavado de rutina cuando el filtro se colmata y un lavado completo cuando se debe lavar todo el filtro y sustituir el medio filtrante. El lavado de rutina se fundamenta en un raspado superficial, se requiere la extracción de la capa de arena que se encuentra próxima a la membrana biológica, esto genera el continuo detrimento de la altura del lecho arenoso. La arena retirada se debe almacenar ya lavada, ya que la materia orgánica adherida puede descomponerse, generando olores y sabores que son difíciles de remover en lavados posteriores. Cuando se alcance el mínimo espesor del lecho de diseño que usualmente está entre 0,5 y 0,6m (Galvis *et al.*1985), se debe hacer el lavado completo del sistema y la arena almacenada puede ser reutilizada como material de reposición

Según Cánepa (S.Fa), para disminuir el impacto del lavado de rutina es necesario que la operación se ejecute en un día para evitar la mortandad de los microorganismos benéficos en la capa de arena que permanecerá en el filtro y acortar el período de remaduración.

1.2.6. Limitantes del sistema de FLA

Las limitaciones del sistema de filtración lenta dependen del diseño, las condiciones de operación y los factores ambientales; la tabla 1.4 expone las variables que se deben tener en cuenta para cada uno de los factores enunciados.

Tabla 1.4. Variables que afectan la eficiencia de los filtros lentos.

FACTOR	VARIABLE
Diseño	* Tasa de filtración.
	* Material filtrante (coeficiente de desuniformidad y tamaño efectivo).
	* Carga hidráulica.
	* Profundidad del lecho filtrante.
	* Altura estática para la carga hidráulica.
Operación	* Frecuencia de raspados.
	* Tiempo de maduración del filtro.
	* Variación de la tasa de filtración.
	* Edad de la capa biológica.
	* Bajos niveles técnicos en la comunidad o características de la misma comunidad que no permitan su operación.
Ambiental	* Calidad del agua cruda.
	* Turbiedad presente en el agua cruda.
	* Temperatura del agua cruda.
	* Oxígeno disuelto en el agua cruda.
	* Cantidad de nutrientes y de materia orgánica en el agua cruda.
	* Cantidad de microorganismos patógenos en el agua cruda.
	* Presencia de pesticidas o biocidas en el agua cruda.
	* Crecimiento de la población microbiológica y de algas en el filtro.

Fuente: Desarrollado a partir de información recopilada por Cánepa S.Fb "Filtración Lenta como Proceso de Desinfección" (S.Fb) y Solsona y Méndez "Desinfección de Aguas" (2002).

Según Sánchez, Latorre y Galvis (1999a) entre las limitaciones más frecuentes que presenta la FLA se han identificado las salidas de operación por limpieza y los períodos de maduración. El período de maduración es definido como el tiempo necesario después de la limpieza para alcanzar la condición estable de una variable de interés en el agua efluente del sistema y de acuerdo a lo reportado por la literatura (Sánchez, Latorre y Galvis, 1999b; Collins, Eighmy y

Malley, 1991), su ocurrencia puede desmejorar la calidad del agua efluente e incrementar el riesgo sanitario para los usuarios del sistema.

Otra de las limitaciones que afecta a los sistemas de FLA es que la naturaleza biológica del tratamiento requiere de un caudal continuo de agua que asegure el suministro de oxígeno y nutrientes. El tratamiento es afectado negativamente por las bajas temperaturas (menores a 4°C), la baja concentración de nutrientes y los bajos niveles de oxígeno disuelto (Sánchez *et al.* 2007). Además, la presencia de tóxicos como plaguicidas o agroquímicos presentes en las aguas puede afectar de forma negativa a la capa biológica. En la tabla 1.5 se describen, a manera de resumen las principales condiciones que afectan la eficiencia de los sistemas de FLA.

Tabla 1.5. Condiciones que afectan la eficiencia del filtro lento

Condición restrictiva	Descripción
Nutrientes	Los nutrientes son uno de los componentes limitantes para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos asociados a la capa biológica, básicamente porque estos son su fuente energética. Un filtro lento operado con aguas bajas en nutrientes como fósforo, nitrógeno y materia orgánica puede tomar varios meses en madurar y alcanzar su máxima eficiencia para la remoción de patógenos.
Temperatura	Se sabe, según Huisman y Wood (1974), que a bajas temperaturas las eficiencias del sistema de filtración lenta son bajas, básicamente porque a temperaturas bajas el crecimiento microbiano es lento. La eficiencia de remoción de coliformes fecales puede reducirse de 99% a 20°C a 50% a 2°C; permaneciendo inalterables todas las condiciones restantes.
Turbiedad	La capacidad de los filtros lentos para reducir la turbiedad es limitada. El agua cruda no debe sobrepasar de 10 a 20UNT por períodos prolongados, pudiendo aceptarse picos de 50 a 100UNT por pocas horas (Cánepa, 1992). Cuando la turbiedad aumenta en la fuente de abastecimiento, el filtro se colmata rápidamente y las carreras de filtración son más cortas, esto modifica las características del agua de salida y lleva al aumento de los costos de mantenimiento.
Algas	Cuando existe en el agua una alta cantidad de nutrientes y hay disponibilidad de luz, se produce un crecimiento excesivo de las poblaciones de algas, lo que lleva a la generación de condiciones anóxicas, que afectan la actividad microbiológica; se produce también pronta colmatación del filtro y adicionalmente el hidróxido de magnesio y de calcio presentes en el agua pueden precipitar sobre los granos de arena, afectando la eficiencia del proceso y la operación del filtro (Cánepa, 1992).
Sustancias tóxicas o químicos	Según información presentada por Cleasby (1991), se recomienda que el agua de abastecimiento esté libre de sustancias como pesticidas o herbicidas que pudieran afectar la biocapa asociada al filtro; así como oxidantes fuertes como el cloro que se apliquen durante el proceso, estos deben ser usados sólo al final del proceso buscando una barrera de protección.

1.3. La FLA como proceso en Filtración en Múltiples Etapas –FiME–

La FLA puede combinarse con otros sistemas alternativos para optimizar el proceso de potabilización. La tecnología FiME es el producto de la combinación de la FLA con un sistema de filtración gruesa en grava.

Según la Organización Panamericana de la Salud –OPS– (2005) la FiME puede estar conformada por dos o tres procesos de filtración, dependiendo del grado de contaminación de las fuentes de agua. Integrada por tres procesos: Filtros Gruesos Dinámicos (FGDi), Filtros Gruesos Ascendentes en Capas (FGAC) y FLA. Los dos primeros procesos constituyen la etapa de pre tratamiento, que permite reducir la concentración de sólidos suspendidos. Según Sánchez *et al.*, (2007) esta combinación hace posible el tratamiento de agua con niveles de contaminación muy superiores a los que se pueden tratar utilizando sólo la FLA.

La FiME conserva las ventajas de la FLA como una tecnología robusta y confiable, que puede ser mantenida por operadores con bajos niveles de escolaridad. Es mucho más sostenible que el tratamiento químico del agua para las comunidades rurales, pequeños y medianos municipios de los países en vía desarrollo, así como para las áreas más remotas de los países industrializados. Otros procesos de tratamiento como la sedimentación, las trampas de arena y rejillas pueden preceder a los sistemas FiME.

Dependiendo de los parámetros seleccionados de calidad de agua y la eficiencia de las etapas de tratamiento se pueden adoptar diferentes alternativas de tratamiento FiME. Existen varias opciones de posibles combinaciones de filtración en grava que se pueden emplear en las etapas de tratamiento de un sistema FiME, en la tabla 1.6 se presenta un resumen desde el punto de vista de diferentes autores.

Tabla 1.6. Valores máximos de algunos parámetros de calidad del agua para la implementación de alternativas de potabilización con FLA.

FUENTE	Arboleda (2000) ¹			Bernardo y Dantas (2005) ²			CEPIS (2005) ³		
PARÁMETRO	Turbiedad (UNT)	Color verdadero (UPC)	Coliformes totales (NMP/100mL)	Turbiedad (UNT)	Color verdadero (UPC)	Coliformes totales (NMP/100mL)	Turbiedad (UNT)	Color verdadero (UPC)	Coliformes fecales (UFC/100mL)
FLA	0-10	0-10	<800	100%<15 95%<10 90%<5		100%<1000 95%<250 90%<100	-	-	-
PFD FLA	10-50	10-20	-	100%<25 95%<15 90%<10	100%<10 95%<5	100%<5000 95%<1000 90%<500	<10	<20	<500
PFD PFAC FLA	50-150	10-50	-	100%<10 0 95%<50 90%<25		100%<20000 95%<1000 90%<500	10-50	20-40	500- 20000
PFD PFAS FLA							50-70	30-40	
Naranjo (2009)⁴									
	Turbiedad (UNT)			Color verdadero (UPC)			Coliformes fecales (UFC/100mL)		
PFD PFAC FLA	<200			<50			<30000		

FLA: Filtro Lento en Arena, PFD: Prefiltro Dinámico, PFAC: Prefiltro Ascendente en Capas, PFAS: Prefiltro Ascendente en Serie, PFD: Prefiltro Dinámico Modificado, PFACM: Prefiltro Ascendente en Capas Modificado.

¹ Tomado de Arboleda, "Teoría y Práctica de la Purificación del Agua", (2000).

² Tomado de Bernardo y Dantas, "Métodos e Técnicas de Tratamiento de Agua" (2005) que presenta parámetros de selección y procesos de tratamiento adicionales.

³ Modificado a partir de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, "Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas" (2005).

⁴ Tomado de Naranjo, "Desarrollo de un Sistema Compacto de Potabilización" (2009).

CAPÍTULO 2

Metodología y Fase Experimental

2. METODOLOGÍA Y FASE EXPERIMENTAL

2.1. Diseño de los sistemas de filtración

2.1.1. Características de los sistemas de filtración

El sistema experimental consta de tres columnas de filtración (figura 2.1) y un tanque de abastecimiento ubicado a 3m de altura, al cual se bombea el agua que nutre los sistemas de filtración por gravedad. Las columnas de filtración son cilíndricas construidas en acrílico, miden 2,1m de altura y 25,0cm de diámetro, el volumen de filtración es de $0,10\text{m}^3$. El lecho filtrante varía para cada sistema, la primera torre de filtración –SF1– es un sistema de control, tiene 90cm de lecho filtrante de arena con un tamaño efectivo de 0,15 a 0,30mm. La segunda torre de filtración –SF2– con un lecho filtrante de 90cm, constituido por arena con un tamaño efectivo de 0,15 a 0,30mm y en la superficie del lecho una manta sintética de 20mm de espesor. La tercera torre –SF3– usó como medio filtrante 60cm de manta sintética no tejida. Los sistemas de filtración tuvieron el mismo lecho de soporte constituido por cuatro capas de soporte de 8cm de espesor cada una, la primera cama con un tamaño efectivo de 10,0 a 15,0mm, la segunda de 4,8 a 5,0mm, la tercera de 1,2 a 2,5mm y la cuarta 0,45 a 0,55mm (figura 2.2). La manta sintética no tejida usada en los sistemas está constituida por poliéster 100%, un material no biodegradable y de alta resistencia a esfuerzos físicos, lo que le confiere una característica de durabilidad en el tiempo. La manta posee una porosidad de 93%, un peso específico de $1,38\text{g/cm}^3$ y un área superficial determinada por el método BET de $3,85\text{m}^2/\text{g}$.



Figura 2.1. Visualización del montaje experimental. Foto A, vista de los sistemas de filtración. Foto B, vista del tanque de preparación del agua sintética (abajo) y del tanque de abastecimiento (arriba).

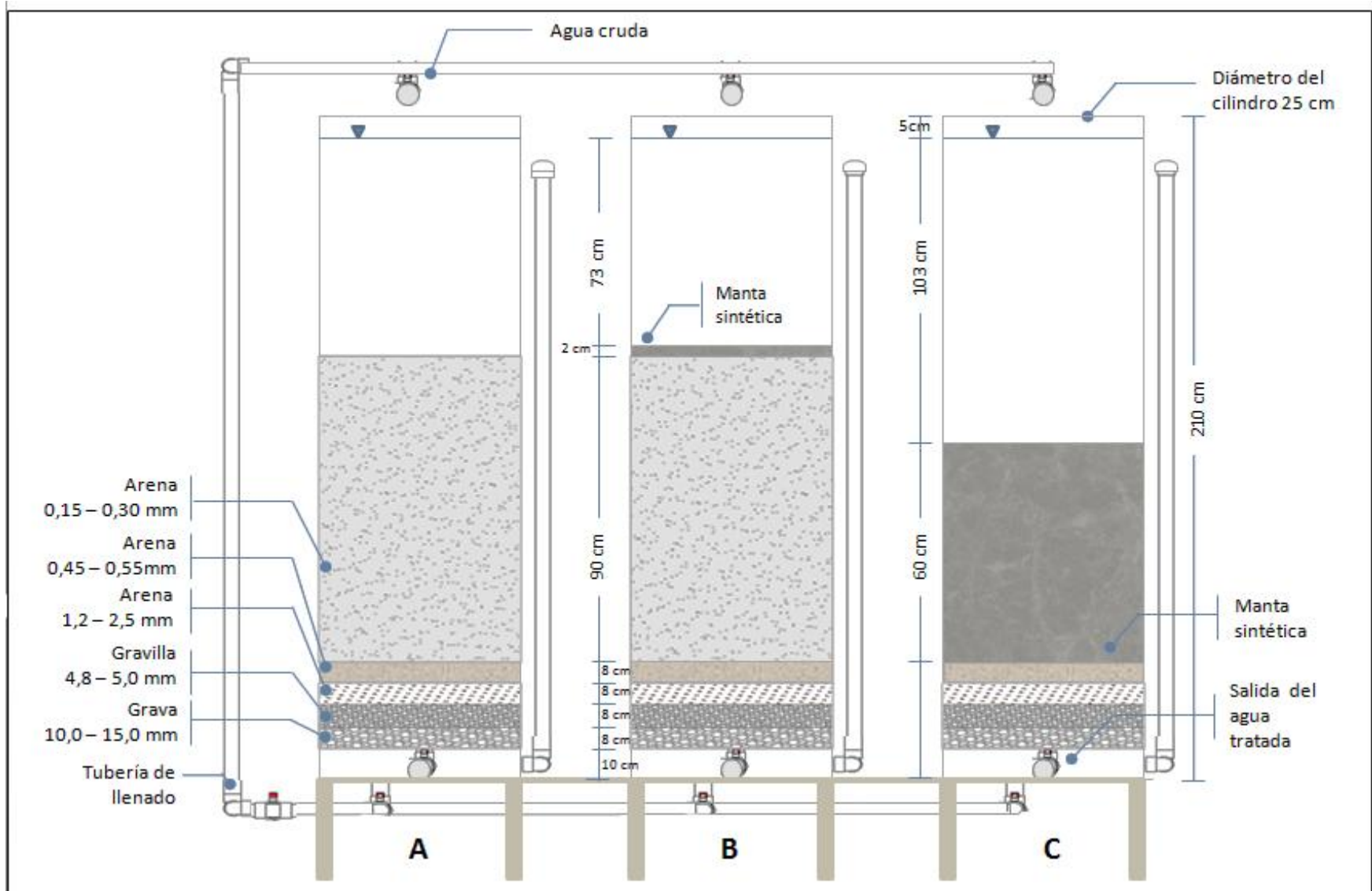


Figura 2.2. Características de la unidad experimental. A. sistema de filtración lenta convencional con lecho en arena, B. sistema de filtración lenta convencional con manta sintética superpuesta y C. sistema compuesto por lecho filtrante en manta sintética.

2.1.2. Parámetros de diseño para los sistemas de filtración

Las unidades de filtración fueron diseñadas teniendo en cuenta las recomendaciones propuestas por varios autores (Arboleda, 2000; Di Bernardo y Dantas, 2005; Galvis, Latorre y Visscher, 1998; Sánchez *et al.* 2007). En la tabla 2.1 se presenta una recopilación de las recomendaciones para el diseño de los sistemas de FLA según varios autores.

Tabla 2.1. Recomendaciones para el diseño de sistemas de FLA.

Criterio de diseño	Recomendaciones				
	Arboleda, (2000) ¹	Cánepa (1992) ²	Galvis, Latorre y Visscher (1998) ³	Sánchez <i>et al.</i> (2007) ⁴	RAS (2000) ⁵
Profundidad del lecho filtrante (m)	0,90 – 1,10	0,50 – 1,00	0,80	0,80 – 1,20	0,8 – 1,0
Tamaño efectivo (d_{10}) del lecho filtrante (mm)	0,15 – 0,30	0,15 – 0,35	0,15 – 0,30	0,15 – 0,30	0,35 – 0,55
Coefficiente de desuniformidad (d_{60}/d_{10}) del lecho filtrante	1,5 – 2,5	1,8 – 2,0	< 3,0	< 5,0	2 – 4
Lecho de soporte – grava (m)	0,30	0,30	0,25	0,30	0,25
Velocidad de Filtración (m/h)	0,30 – 0,58	0,10 – 0,20	0,10 – 0,30	0,10 – 0,40	0,10 – 0,30
Máxima altura del sobrenadante (m)	1,20	1,0 – 1,50	0,75	0,6 – 1,2	0,7 – 1,0

¹ Tomado de Arboleda, “Teoría y Práctica de la Purificación del Agua” (2000).

² Tomado de Cánepa, “Ciclo: Tratamiento, serie: Filtración Lenta. Manuales I, II y III” (1992).

³ Tomado de Galvis, Latorre y Visscher, “Multi-stage filtration: An Innovative Water Treatment Technology” (1998).

⁴ Tomado de Sánchez *et al.*, “Filtración en Múltiples Etapas” (2007).

⁵ Tomado de Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - (2000).

Para evaluar los sistemas de filtración se escogieron tres tasas de filtración: 6,9 y 12m³/m².día que equivalen a 0,25m/h, 0,38m/h y 0,5m/h respectivamente. En la tabla 2.2 se hace una descripción de los sistemas de filtración diseñados, se muestra la altura de las torres de filtración y la profundidad del lecho filtrante y de soporte. Es importante mencionar que el SF3 al igual que el SF1 Y SF2 posee lecho de soporte, éste hubiese podido eliminarse ya que el lecho de soporte sirve como base específicamente en los filtros de arena evitando que el material fino como la arena viaje medida que el agua filtrada sale del sistema. Se tomó la decisión de dejar el

lecho de soporte para el SF3 para que todos los sistemas trabajasen en iguales condiciones y para no agregar una variable más al estudio.

Tabla 2.2. Parámetros de diseño de cada una de las torres de filtración.

Parámetro		SF1	SF2	SF3
Tasas de filtración evaluadas ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$)		6,0 – 9,0 – 12,0		
Velocidad de filtración (m/h)		0,25 – 0,38 – 0,50		
Caudal ($\text{m}^3/\text{día}$)		0,29 – 0,44 – 0,59		
Máxima altura del sobrenadante (m)		0,73		1,03
Lecho filtrante (arena)	Espesor del lecho filtrante (m)	0,90		No aplica
	Tamaño efectivo (d_{10}) (mm) / coeficiente de uniformidad (d_{60}/d_{10})	0,15 – 0,30 / < 1,5		No aplica
Lecho filtrante (manta sintética)	Espesor del lecho filtrante (m)	No aplica	0,020 ¹	0,60 ²
Lecho de soporte	Tamaño efectivo (d_{10}) (mm) / coeficiente de uniformidad (d_{60}/d_{10})	0,45 – 0,55 / 1,5 – 2,5		
		1,2 – 2,5 / 1,5 – 2,5		
		4,8 – 5,0 / 1,5 – 2,5		
		10,0 – 15,0 / < 3,0		
	Espesor del lecho de soporte (m)	Espesor de cada lecho = 0,08		

¹Éste se ubica en la superficie del lecho de arena y está constituida por una manta de 20 mm de espesor.

²Todo el lecho filtrante de este sistema está conformado por manta sintética, no posee arena como lecho filtrante, únicamente como lecho de soporte.

2.2. Caracterización de la manta sintética no tejida

2.2.1. Generalidades de la manta

La figura 2.3 muestra el proceso de conformación de la manta sintética no tejida. En la parte A, la fibra cortada de poliéster es depositada en una tolva que la dirige por medio de bandas transportadoras a un sistema de rodillos. A medida que la fibra pasa por los rodillos es ordenada en forma de láminas y conforma lo que se conoce como napa o guata. En la sección B, se observa como la napa se hace más delgada y fina a medida que atraviesa los rodillos. Finalmente, las napas son depositadas sobre una superficie plana que se dirige progresivamente al sistema de punzonado (C). El conjunto de napas entra lentamente a las planchas de

punzonado que están provistas de miles de agujas que al moverse van enredando las fibras cortadas de poliéster.

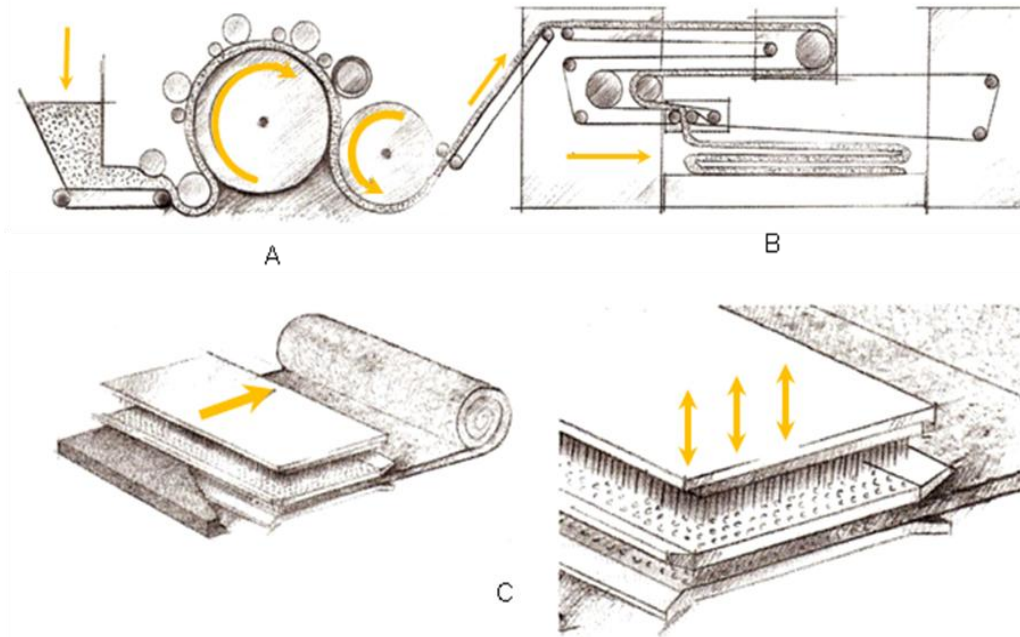


Figura 2.3. Proceso de conformación de la manta sintética de forma mecánica.

Fuente: Modificado a partir del catálogo de Groz-Beckert, 2008. (Catálogo suministrado por la empresa Guatas y Acolchados).

En la tabla 2.3 se presenta una síntesis de las características de la manta sintética no tejida evaluada y utilizada en la presente investigación. Cabe mencionarse que la manta fue suministrada por la empresa Guatas y Acolchados, quien la conformó a partir de fibras cortadas de poliéster que distribuye Enka de Colombia.

Tabla 2.3. Principales características de la manta sintética evaluada.

Propiedades	Descripción
Material ¹	Polyester 100 %
Biodegradabilidad ¹	No es biodegradable
Solubilidad en el agua ¹	No es soluble
Diámetro medio de la fibra (μm) ¹	39,6
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$) ¹	238
Peso específico (g/cm^3) ¹	1,4
Ancho de la manta (mm)	20
Numero de napas ²	9
Peso de la manta (g/m^2)	818

Propiedades	Descripción
Área superficial (m ² /g)	3,9
Porosidad (%)	93
Costos (m ²)	14,500

¹Información suministrada por el productor de la fibra sintética – Enka de Colombia.

²Se le llama napa a la fibra cortada de poliéster que ha sido transformada en una capa voluminosa.

En la figura 2.4A y B se realizó un acercamiento al material utilizado. Las fibras entrelazadas por la acción del punzonado le dan la característica de una manta no tejida. La fotografía A, es tomada con un estéreo microscopio Olympus SZX9, lente ACH 3x y riel 16 y la fotografía B, es tomada con un estéreo microscopio Olympus SZX9, lente ACH 1x y riel 20. Las fibras cortadas de poliéster tienen un diámetro de aproximadamente 39,6µm; en la figura 2.4C se observa un corte transversal de las fibras.

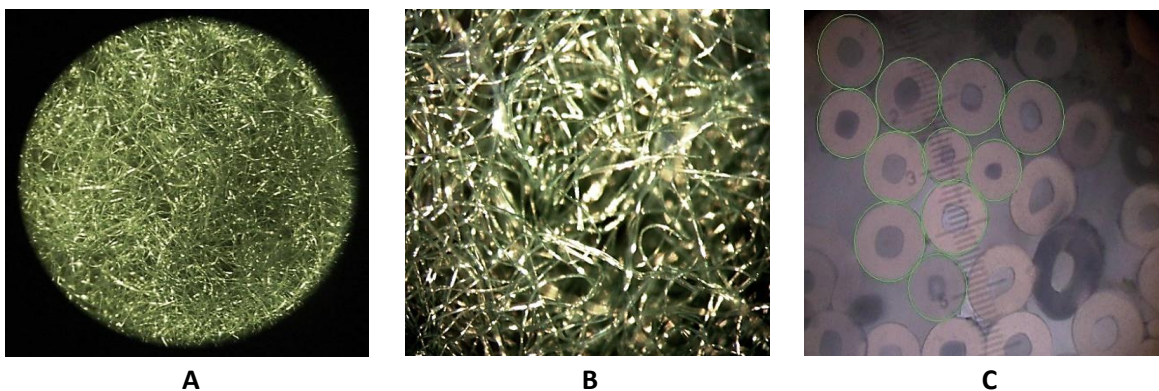


Figura 2.4. Observación de las fibras de la manta sintética no tejida.

Fuente: la fotografía C fue suministrada por el productor de la fibra -Enka de Colombia.

2.2.2. Determinación de la porosidad de la manta no tejida

La porosidad es la fracción de volumen de material ocupado por aire. La prueba de porosidad se desarrolló con el método directo que consiste en la medición del volumen de una muestra porosa, sustituyendo los poros por agua y midiendo el volumen usado para esto. A continuación se describe la metodología empleada: A una probeta de 100mL (probeta 1), se le agregó material filtrante hasta 50mL (V1). Desde una probeta 2 llena con 100mL de agua, se comenzó a vaciar agua por las paredes de la probeta 1 hasta que el material se colmató. Durante el vaciado del agua se agito suavemente la probeta para extraer el aire y permitir que todos los poros vacíos de la manta fueran remplazados por agua. Luego se procedió a medir por triplicado el volumen final de agua gastada (V2) y se calculó la porosidad del material mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porosidad (Po)} = \frac{\text{volumen espacios vacios (V2)}}{\text{volumen total de material (V1)}}$$

2.2.3. Determinación del área superficial de la manta no tejida

El método de adsorción de BET (Brunnauer, Emmett y Teller) es el método comúnmente utilizado para la determinación del área superficial de materiales porosos y consiste en la adsorción de un gas inerte, en este caso de nitrógeno gaseoso $\text{-N}_2 \text{(g)}$ -a baja temperatura por medio de un equipo capaz de medir volumétrica o gravimétricamente la cantidad de moléculas de este gas que son adsorbidas como una monocapa por el sólido en análisis. Para someter la muestra al análisis, previamente se lavó con agua destilada y se secó en estufa durante 24 horas a $100^\circ\text{C} \pm 5$, luego la manta se sometió al método BET en un equipo volumétrico Quanta Chrome Autosorb. Posteriormente, por medio del programa Autosorb que permite establecer las correlaciones respectivas, se obtuvo el resultado del área superficial y el volumen de los microporos que componen la fibra.

2.3. Preparación del agua sintética

Para la evaluación de los sistemas de filtración se preparó agua sintética con unas características próximas a las fuentes superficiales naturales colombianas. Para esto se tomaron diferentes estudios (tabla 2.4) que sirvieron como referencia para definir el intervalo de alcalinidad, materia orgánica, fosfatos y nitratos; los demás parámetros (turbiedad, color aparente y *Escherichia coli*) se definieron con base en estudios previos de otros autores (Arboleda, 2000; Di Bernardo y Dantas, 2005; Sánchez *et al.*, 2007).

Tabla 2.4. Estudios de referencia para la preparación del agua sintética.

Estudio	Fuente de agua de referencia
Corpouraba, 2009a	Quebrada Antadó (Dabeiba)
Corpouraba, 2009b	Quebrada La Cerrazón (Dabeiba)
Corantioquia, 2003	Quebrada La Clara (Ebéjico)
Galvis, 1999	Río Cauca (Puerto Mayarino)
Naranjo, 2009	Quebrada La Acuarela (Medellín)
Villa y Zea, 2006	Quebrada Patio Bonito (Medellín)
Restrepo y Rincón, 2009	Quebrada Fucha (Bogotá)
Arango <i>et al.</i> , 2008	Quebrada La Cristalina (San Luis)
Chará <i>et al.</i> , 2007	Río La Vieja (Quimbaya)

Estudio	Fuente de agua de referencia
Procesos Innovadores para la Potabilización de Agua en Comunidades Rurales Antioqueñas. 2009.	Quebrada Fundanga (Vereda Curití, Liborina)
	Quebrada Grande (Vereda El Rincón, San Jerónimo)
	Quebrada Chuzcal (Vereda El Pescado, Santa Fé de Antioquia)
	Quebrada Murrupal (Vereda Potreros, Abriaquí)
	Quebrada Pizarro (Vereda La Balsa, Cañasgordas)
	Quebrada Usabá (Vereda Tabacal, Buriticá)

Con base en los estudios presentados en la tabla 2.4, se sacaron intervalos de los parámetros de interés antes mencionados y estos fueron los valores que se tuvieron en cuenta para la preparación del agua sintética. En la tabla 2.5 se detallan los intervalos en los cuales se encuentran los parámetros de evaluación y de control del agua sintética.

Tabla 2.5. Características del agua sintética.

Parámetro (Unidad)	Valor
Turbiedad (UNT)	10,0 – 12,0
Color aparente (UPC)	120,0 – 130,0
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	50,0 – 60,0
pH (Unidades de pH)	7,60 – 8,00
Fosfatos (mg PO ₄ ³⁻ /L)	0,14 – 0,15
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /L)	1,0 – 1,1
Materia orgánica (mg C/L)	3,5 – 4,5
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)	1200 – 1400

El color y la turbiedad del agua sintética fueron generados a partir de la adición de bentonita, una arcilla coloidal natural que tiene una textura muy fina y que se asemeja a los sedimentos y coloides que una fuente natural puede transportar. La turbiedad se trabajó con los valores máximos que los sistemas de filtración lenta pueden operar sin restricciones, 10 a 12UNT y el color aparente o color del agua en el momento de su recolección se mantuvo entre 120 a 130UPC.

La alcalinidad es la capacidad del agua de neutralizar ácidos (Barrenechea, 2004; Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). Según Barrenechea (2004), ésta se encuentra influida por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos no hace recomendaciones respecto a la alcalinidad en fuentes de agua, ya que ésta se relaciona a factores como el pH y la dureza, pero concluye que una fuente no debe mostrar cambios bruscos o repentinos en el contenido de la alcalinidad, pues esto podría indicar un cambio en la calidad del agua. La normativa colombiana (Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) menciona que la alcalinidad total no debe superar en la fuente de agua de consumo los 200mg/L ya que puede generar consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana. Para mantener este parámetro dentro del intervalo obtenido en el análisis de las fuentes de agua de referencia, se adicionó bicarbonato de sodio como contribuyente a la alcalinidad del agua, manteniendo este parámetro entre 50 a 60mgCaCO₃/L.

Los fosfatos y nitratos se consideran nutrientes limitantes en cualquier ecosistema y son fundamentales para la salud del mismo. Para la presencia de estos dos nutrientes en el agua sintética se adicionó nitrato de amonio (NH₄NO₃) y fosfato mono potásico (KH₂PO₄) ambas sales en pequeñas cantidades para lograr el valor expuesto en la tabla 2.5.

Con relación a *Escherichia coli* –*E.coli*– considerado un buen indicador de contaminación de origen fecal (Bastos *et al.* 2000; Herrera y Suárez, 2005; Vergaray *et al.* 2007) se trabajó con valores de coliformes comprendidos entre 1200 y 1400UFC/100mL. Para ello se tomó la cepa de referencia ATCC 25922, disponible en el laboratorio de microbiología del centro de laboratorios de la Universidad de Medellín. Para lograr estandarizar la cantidad de *E.coli* en el agua sintética se usó la escala de Mc Farland. Esta escala cuenta con 10 patrones preparados con sulfato bórico que relaciona la turbiedad con el número de bacterias presentes en una muestra. Así, del cultivo de *E.coli* se tomó una muestra en fase estacionaria temprana para asegurar heterogeneidad de la muestra, esta se llevó a un tubo de ensayo estéril con agua destilada, preparando una muestra hasta alcanzar una turbiedad aproximada de 4 en la escala de Mc Farland que es equivalente a una concentración de bacterias del orden de 12x10⁸UFC/mL. Posteriormente se realizó una dilución hasta obtener la concentración deseada de *E. coli* del agua a tratar.

Las aguas naturales, además de sustancias minerales y disueltas, pueden llevar en suspensión sustancias orgánicas provenientes del lavado de los suelos o del metabolismo de los organismos que viven en ellos (Barrenechea, 2004; Ministerio de Desarrollo Económico, 2000). Por lo general, las aguas naturales no contaminadas presentan cantidades mínimas de materia

orgánica, salvo aquellas que provienen de bosques o aguas estancadas donde los procesos de descomposición naturales llevan al aumento de las sustancias orgánicas. Por esta razón la cantidad de materia orgánica del agua sintética es mínima; para lograr la cantidad indicada (3,5 a 4,5mgC/L) se adicionó glucosa.

2.4. Métodos analíticos y parámetros de calidad del agua evaluados

Los métodos analíticos usados para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos son los presentados por el *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water* (APHA, 2005). En la tabla 2.6 se cita el parámetro evaluado, el método de referencia asociado según el *Standard Methods* y el equipo usado para llevar a cabo la medición. Luego se hace una descripción de cómo se realizó la medición de cada uno de los parámetros de calidad evaluados.

Tabla 2.6. Parámetros de calidad evaluados, métodos de referencia y equipos usados en la medición de los parámetros de calidad.

Parámetros	Método de referencia	Equipos
Turbiedad (UNT)	Nefelométrico 2130-B	Turbidímetro portátil Hanna modelo HI93703
Color aparente (UPC)	Espectrofotométrico 2120- C	Colorímetro portátil Hanna modelo HI93727
Carbono Orgánico Total (mg/L)	Oxidación húmeda 5310-D	Analizador de carbono Shimadzu modelo TOC – V CPH.
<i>Escherichia coli</i> y cuantificación de mesófilos(UFC/100mL)	Filtración por membrana 9222-B	Equipo de filtración por membrana Incubadora Dies modelo Kryoven 53. Estéreo microscopio Olympus modelo SZ – ST.
Potencial de hidrogeno (pH)	Electrométrico 4500-H ⁺ B	Multi-parámetro Hach HQ 40d con sonda para medir potencial de hidrogeniones.
Temperatura (°C)	Potenciométrico 2550	Multi-parámetros Hach HQ 40d con sonda para medir potencial de hidrogeniones.
Oxigenodisuelto¹(mg/L)	Determinación directa por electrodo de membrana 4500-C	Multi parámetro Hach HQ 40d con sonda para medir oxígeno disuelto.

¹ Este parámetro se midió únicamente en el lecho de cada uno de los sistemas de filtración para evaluar su relación con las poblaciones de bacterias mesófilas de la biocapa.

2.4.1. Turbiedad

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etcétera), aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado (Barrenechea, 2004). La turbiedad junto con el color constituye, según la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, parámetros básicos de la calidad de las aguas. La turbiedad del agua tiene un efecto directo sobre la aceptación del consumidor final, relacionado directamente con la estética del agua puesto que no se han encontrado efectos adversos sobre la salud. No obstante, como lo menciona Castro de Esparza (1988), los organismos patógenos se adhieren a los sólidos suspendidos, las partículas causantes de la turbiedad, y si estos sólidos no son retenidos previamente, se reduce la eficiencia del proceso de desinfección ya que estos protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, el parámetro de turbiedad debe mantenerse mínimo para garantizar la eficiencia del proceso de desinfección. La Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de Protección Social y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) establece que el parámetro debe mantenerse por debajo de 2UNT.

2.4.2. Color Aparente

Este se define según el Ministerio de Protección Social y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en la Resolución 2115 de 2007, como el color que presenta el agua en el momento de su recolección, sin haber pasado por un filtro de 0,45 micras. Según Barrenechea (2004) y Castro de Esparza (1988), esta característica del agua puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Según Pacheco (2005), el color en el agua cruda puede deberse a la presencia de sustancias orgánicas coloreadas, usualmente ácidos húmicos; metales como el hierro y el manganeso y a aguas de desechos provenientes de las industrias, como las fábricas de papel o textiles. El valor guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la normativa colombiana coinciden, este parámetro debe mantenerse por debajo de 15UPC para aguas de consumo humano.

2.4.3. Carbono Orgánico Total –COT–

La prueba de carbono orgánico es precisa y de manera puntual muestra el contenido orgánico de una muestra de agua. La materia orgánica puede ser, en muchos casos, la responsable del color, el olor y el sabor del agua, los cuales deben ser eliminados durante el tratamiento a fin de hacerla apta para el consumo humano.

El COT para aguas de consumo humano, según el Ministerio de Protección Social y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007), debe mantenerse por debajo de 5mg/L. Esto se debe principalmente a que a mayor presencia de compuestos orgánicos en las aguas de abastecimiento, mayor formación de trihalometanos en la etapa final de cloración.

Para el análisis, la muestra se tomó en un frasco ámbar, se conservó con ácido sulfúrico (H_2SO_4) hasta un pH menor de 2, se tapó y almacenó hasta ser analizadas en la oscuridad y en frío. Las pruebas para la determinación de COT se realizan con un analizador de carbono Shimadzu modelo TOC – V CPH, se basan en la oxidación del carbono existente en la materia orgánica, la cual da como resultado dióxido de carbono (CO_2). La muestra de agua se inyecta en una cámara de reacción que tiene en su interior un catalizador oxidante, la temperatura se mantiene a 680°C. El agua se vaporiza y el carbono (orgánico e inorgánico) se oxida a dióxido de Carbono (CO_2), que se transporta en corriente de aire y se mide en un analizador de infrarrojos no dispersivo. Dado que con el procedimiento anteriormente descrito se determina el carbono total (TC), se debe medir también el carbono inorgánico (IC), para obtener el COT por diferencia.

2.4.4. *Escherichia coli*

La *E.coli* fue cuantificada usando la técnica de filtración por membrana. Esta técnica se fundamenta en la determinación del número de coliformes presentes en una muestra, mediante filtración de volúmenes conocidos del agua analizada a través de filtros de membrana con poros de 0.45µm, con el fin de retener las bacterias en el filtro y luego transferirlas a cajas de Petri con medio de cultivo selectivo y diferencial para identificar las colonias presentes en la muestra. Los recipientes de toma de muestra, los medios de cultivo y todo el material que se usa para la cuantificación de las colonias debe tener una preparación previa para que estén estériles (se esteriliza por calor húmedo y calor seco) y así evitar la posible interferencia de otros microorganismos. A continuación se realiza una descripción detallada de la metodología usada para la determinación de *E.coli* en las muestras analizadas.

Cuantificación de *Escherichia coli*

Preparación del medio de cultivo: Para la preparación del medio de cultivo se usó agar Chromocult (marca Merck). Se disolvieron 27,0g (previamente pesados en balanza analítica Marca OHAUS, modelo Adventurer) en 1L de agua destilada estéril, se agitó y se calentó en baño maría hasta ebullición, se dejó enfriar hasta 45 a 50°C para añadir el suplemento para agar Chromocult (liofilizado) que se preparó como se describe a continuación. Al frasco del liofilizado se agregaron 2mL de agua destilada, se agitó y se le adicionó al agar Chromocult. Luego, en la

cámara de flujo horizontal (Marca C4 modelo FLC 120) se vertió el medio en cajas petri, se dejó enfriar hasta solidificación y luego se refrigeró a 4°C hasta su uso, máximo durante un mes.

Preparación de las muestras: Se realizaron diluciones de 1:100 para la muestra de entrada, mientras que las demás muestras se sembraron de manera directa, esto para tener lecturas claras de los cultivos de *E.coli*. Para la siembra directa se tomaron 100mL de cada sistema de filtración y fueron llevados a filtración. Se realizó por duplicado. El reporte es igual al valor del recuento UFC/100mL. Para la dilución 1:100 (10^{-2}): Con una pipeta estéril se tomó 1mL de muestra homogeneizada y se llevó a un volumen de 100mL de agua destilada estéril. Se realizó por duplicado. En este caso el reporte será igual al valor del recuento*100 UFC/100mL.

Proceso de filtración y detección de colonias de Escherichia coli: para la detección de las colonias se introdujo todo el material a usar durante el proceso de cultivo como: pinzas, guantes, mechero, equipo manifold para filtración, embudos, filtros, medios de cultivo y marcador en la cámara de flujo laminar estéril. Se encendió la luz UV de la cámara de flujo horizontal por 15 a 30 minutos. Pasado el tiempo se apagó la luz UV y se encendió la cámara para activar el flujo laminar horizontal. Se ensambló el equipo de filtración y se procedió a realizar el procedimiento de filtración de las muestras como se describe a continuación. Con la ayuda de pinzas estériles (flameadas cada vez que se usan) se puso el filtro de 0.45 μ m sobre el portafiltros del embudo receptor con la cuadrícula hacia arriba; luego, se tomó la muestra (100mL), se homogeneizó manualmente mínimo por 7s y se vertió sobre el embudo colector. Se aplicó vacío y se filtró. Cuando se realizaron diluciones, se comenzó el proceso con la muestra más diluida. Luego del proceso de filtración se tomó la membrana con pinzas estériles y se puso sobre la superficie del medio de cultivo con la cuadrícula hacia arriba. Finalmente, la muestra se llevó a incubación a una incubadora Dies-Kryoven53 a 35°C por 18h.

Lectura e interpretación de resultados: Mediante el uso de un estereomicroscopio Olympus, modelo SZ, se realizó la identificación y conteo de las colonias típicas de *E.coli*. Para cada una de las muestras analizadas se realizó la siembra por duplicado, efectuando el conteo de todas las colonias de *E.coli* que estuviesen en la placa; se halló la media aritmética de los dos valores (muestra y duplicado) y se multiplicó por el factor de dilución, dado el caso. Los resultados se dieron en UFC/100mL.

La figura 2.5 muestra las colonias de *E.coli* con un color purpura azulado; se observan las muestras analizadas para un ensayo por duplicado a una tasa de 6 m³/m².día. La caja A muestra el cultivo de *E.coli* a la entrada de los sistemas de filtración con una dilución de 1:100; la caja B muestra la salida del SF1; la caja C muestra la salida del SF2 y la caja D muestra la salida del SF3.

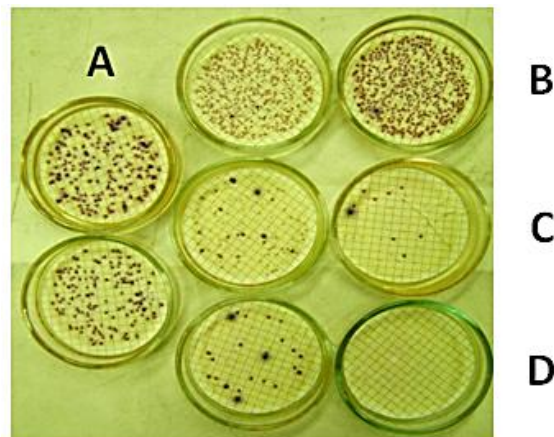


Figura 2.5. Determinación de *E.coli* por medio del método de filtración por membrana.

2.4.5. Potencial de hidrogeniones –pH–

Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua. Según Pacheco (2005), el agua tratada puede estar entre 6,5 y 8,5 UpH de acuerdo con las normas internacionales y según la norma colombiana, la Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de Protección Social y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), el pH para aguas de consumo humano deberá estar comprendido entre 6,5 – 9,0. Barrenechea (2004) y Castro de Esparza (1988) mencionan que el pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Este parámetro tiene mucha influencia en una serie de reacciones que ocurren en el agua, tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.

2.4.6. Temperatura

La temperatura influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Barrenechea, 2004; Pacheco, 2005). En la Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de Protección Social y Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) no se establecen lineamientos para la temperatura de las aguas de consumo humano. La medición se realizó con el multiparámetro Hach HQ 40d usando la sonda de pH que muestra la temperatura.

2.5. Seguimiento a los sistemas de filtración

El seguimiento a los sistemas de filtración –SF– se hizo durante 14 meses, desde marzo de 2010 hasta abril de 2011; se realizó el monitoreo diario de pH, temperatura, turbiedad, color aparente, materia orgánica (COT) y *Escherichia coli*; además, se realizó un seguimiento a la capa biológica asociada a cada filtro cada cuatro días. Luego de preparar el agua sintética, ésta se homogenizó y se llevó a los sistemas de filtración, se tomó una muestra a la entrada y luego, dependiendo del tiempo de retención hidráulico para cada SF una muestra a la salida (6). El tiempo de retención hidráulico se refiere al tiempo teórico que permanece el afluente en el proceso de tratamiento, este tiempo varió para cada uno de los SF de acuerdo al medio de soporte y material filtrante usado, relacionándolo básicamente con la porosidad del mismo y con la tasa de filtración evaluada en cada caso. De acuerdo a lo anterior, la toma de muestra a la salida de los SF difiere un poco en cada sistema, es decir, la toma de muestra no se da al mismo tiempo y depende directamente del tiempo de retención hidráulico para cada SF; en la tabla 2.7 se muestran los tiempos de retención para cada SF.

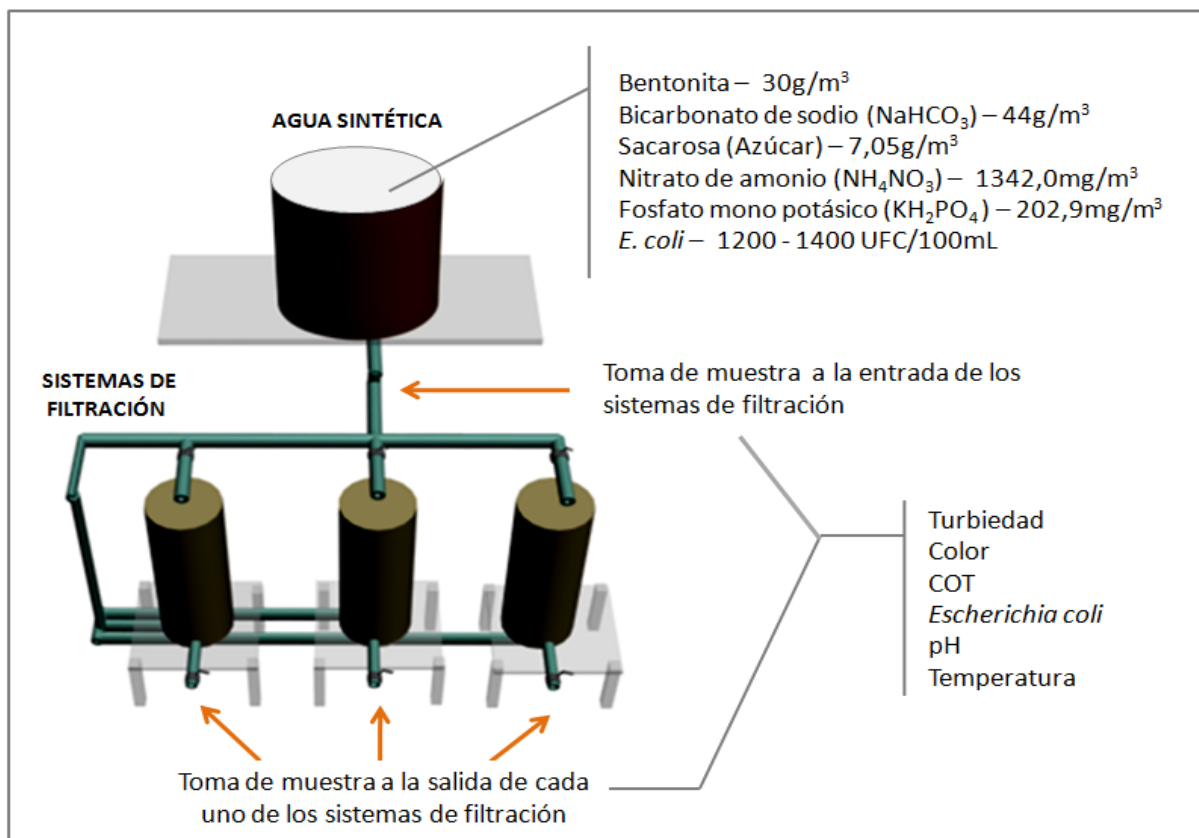


Figura 2.6. Resumen del procedimiento realizado para la evaluación de los sistemas de filtración estudiados.

Tabla 2.7. Tiempo de retención para cada sistema de filtración a las tasas evaluadas.

	Tasa de 6 m ³ /m ² .día			Tasa de 9 m ³ /m ² .día			Tasa de 12 m ³ /m ² .día		
	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3
Tiempo de Retención (horas)	2,09	2,16	2,74	1,39	1,44	1,83	1,04	1,08	1,37

De acuerdo a lo anterior, por ejemplo para el SF1 a una tasa de 6m³/m².día la muestra de salida se toma luego de haber transcurrido como mínimo a las 2,09 horas para asegurar que la gota de agua que entro en el minuto 0 ya realizó el recorrido por el lecho filtrante y ha pasado por un proceso de filtración.

Se realizó un análisis adicional, evaluando la variable luz en los sistemas de filtración para la tasa que arrojó los mejores resultados. En la figura 2.7 se observa el montaje realizado a fin de evaluar si la luz constituye un parámetro importante para el tratamiento de filtración lenta.



Figura 2.7. Evaluación de los sistemas de filtración a una tasa de 6m³/m².día en presencia y ausencia de luz solar. Al lado izquierdo los sistemas de filtración trabajando en presencia de luz solar y a la derecha en ausencia de la misma.

2.6. Seguimiento de la capa biológica en los sistemas

A fin de realizar un seguimiento a la capa biológica de cada uno de los sistemas de filtración estudiados, e identificar si existe una relación entre la maduración de la capa biológica y la

remoción de contaminantes de las aguas del presente estudio, se realizó una cuantificación de la comunidad de mesófilos en cada sistema y una observación directa al microscopio para conocer los microorganismos presentes en el lecho filtrante de cada uno de los sistemas.

2.6.1. Seguimiento y cuantificación de la comunidad de mesófilos

Para el seguimiento y la cuantificación de la comunidad de mesófilos presente en cada uno de los SF, se realizaron en cada uno de los ensayos muestreos de la superficie del lecho filtrante. A continuación se realiza la descripción del proceso de seguimiento y cuantificación de la comunidad de microorganismos mesófilos:

Los muestreos fueron realizados cada cuatro días en cada uno de los sistemas de filtración hasta que se llegara a la colmatación. Los muestreos se realizaron en las horas de la tarde para su inmediata cuantificación por el método de filtración por membrana que será descrito más adelante. Paralelamente a la colecta de muestras se realizó la toma de la temperatura y de oxígeno disuelto a nivel del lecho.

Para coleccionar el material del SF1 se usó una metodología similar a la que usan Sánchez, Latorre y Galvis (1999b). La superficie se dividió en cuatro partes y con un muestreo estéril con capacidad para 1cm^3 se extrajo de cada porción una muestra. Las cuatro muestras se homogenizaron en un frasco de boca ancha estéril, para luego sacar una única muestra de 1cm^3 que se llevó a un frasco con 100mL de agua estéril para su posterior filtración y cuantificación de mesófilos presentes. El procedimiento se realizó por duplicado.

Por otra parte, para el SF2 y SF3 se propuso la siguiente metodología. Se cortaron cubos de 1cm^3 en manta sintética (figura 2.8), se anclaron a la superficie del lecho al inicio de cada ensayo, suponiendo que la colonización de los microorganismos que componen la capa biológica a nivel de la superficie del lecho sería la misma en los cubos. Para la colecta del material se extrajo un único cubo en cada muestreo que se llevó a un frasco estéril con 100mL de agua destilada estéril, la muestra se evaluó posteriormente.



Figura 2.8. Cubos muestrales en la superficie del lecho filtrante del SF2.

Cuantificación de la comunidad de mesófilos.

Preparación del medio de cultivo: Se disolvieron 22,5g de agar Plate Count en 1L de agua, se calentó a baño maría hasta ebullición y luego se esterilizó en el autoclave horizontal Eastern por 15 minutos a 121°C. Luego, en la cámara de flujo horizontal se vertió el medio en cajas petri 60x15mm esterilizadas previamente, se dejó enfriar hasta solidificación y luego se refrigeró a 4°C hasta su uso, máximo durante un mes.

Preparación de las muestras: La homogenización de las muestras para su cuantificación es fundamental, de esta manera se logra que los microorganismos se desprendan de los granos de arena y de las fibras de la manta sintética; para esto se debió agitar la muestra manualmente de manera continua por espacio de tres minutos aproximadamente. La comunidad de mesófilos de la capa biológica presente en los filtros es numerosa por lo que la dilución se requiere para la lectura final. Se realizaron varias diluciones para lograr la fácil lectura de los resultados.

El proceso de filtración y detección de colonias de mesófilos se hizo igual que para las colonias de *E. coli*.

Lectura e interpretación de resultados: En la figura 2.9 se muestra la placa en la que se observa el crecimiento de la comunidad de mesófilos luego de una incubación por espacio de 18 horas. Los puntos cremas corresponden a una unidad formadora de colonia (UFC) por cada mililitro de muestra, la muestra corresponde al SF1 y tiene una dilución de 1:10⁶.

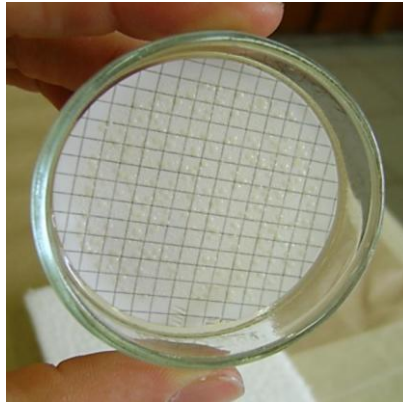


Figura 2.9. Conteo de mesófilos.

2.6.2. Observación directa de la capa biológica al microscopio

El objetivo de la observación de la capa biológica es apreciar si a medida que pasa el tiempo los microorganismos que se establecen en los sistemas de filtración varían. Se realizó un estudio de los sistemas por tres semanas por medio de observación directa en microscopio; el procedimiento fue el siguiente:

Para coleccionar el material de los sistemas de filtración se siguió el mismo procedimiento descrito en el numeral 2.6.1. La muestra en seco fue llevada a un frasco de boca ancha estéril al que se adicionaron 20mL de agua destilada y luego se homogenizó manualmente por espacio de 3 minutos. Con un gotero se tomó una muestra de cada uno de los frascos, se montó en fresco en un portaobjetos y se cubrió con una laminilla de 1x1cm, procurando evitar la formación de burbujas.

Para la observación directa se usó un microscopio electrónico Olympus BX 50, usando los objetivos de 10X, 40X y 100X recorriendo el portaobjetos en forma de zigzag. En algunos casos se usó azul de metilo para la coloración de los microorganismos y su fácil identificación. En las muestras evaluadas se hizo un recuento rápido de microorganismos por gota, para observar cómo fue la variación en el tiempo. Para la identificación taxonómica se usó la Guía para el Estudio de los Seres Vivos de las Aguas Dulces (Needham y Needham, 1982).

2.6.3. Medición de Oxígeno Disuelto –OD– en la superficie del lecho

El OD es un parámetro de gran importancia, ya que de éste depende el establecimiento de muchos de los microorganismos de la capa biológica en el filtro. Según información presentada por Barrenechea (2004) niveles bajos o ausencia de OD en el agua pueden indicar

contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa. La presencia de OD en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. Las aguas superficiales no contaminadas, si son corrientes, suelen estar saturadas de oxígeno y a veces incluso sobresaturadas; su contenido depende de la aireación, de las plantas verdes presentes en el agua, de la temperatura y de la hora del día (mañana o tarde).

La medición de este parámetro se realizó *in situ*, por medio multiparámetro Hach HQ 40. Para la medición se introdujo la sonda de OD en cada uno de los sistemas de filtración y se ubicó en la superficie del lecho filtrante, esperando la estabilización del equipo; a cada muestra se le realizó medición por duplicado y se tomó el dato de temperatura.

2.7. Mantenimiento de los sistemas de filtración

El mantenimiento de los SF consistió básicamente en la limpieza de los mismos luego de que estos se colmataron. El criterio para identificar que los sistemas se encontraban colmatados fue básicamente que el sobrenadante alcanzara el nivel máximo establecido en cada sistema de filtración, el cual fue estimado previamente durante la etapa de diseño. Luego de que el sistema se colmató, se paró el efluente y se procedió a realizar el lavado de los SF, la frecuencia de lavado dependió del tiempo de colmatación de cada uno, que a su vez varió según la carrera de filtración evaluada y del tipo de sistema evaluado.

Según lo anterior para tasas mayores el tiempo entre lavado y lavado disminuida por la rápida colmatación de los SF. Cabe mencionarse que la frecuencia de lavado para iniciar el siguiente ensayo dependió de haber finalizado la carrera de filtración en todos los sistemas; si el ensayo finalizaba primero en el SF1 se esperaba finalizar el ensayo en el SF3 y luego se realizaba el lavado de los SF en paralelo para finalmente iniciar un nuevo corrido. Por ejemplo, a una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ el SF1 alcanzó la colmatación en unos 17 días y los SF2 y SF3 en 35 días, el lavado de los SF se realizó al día 36, los sistemas se lavaron en paralelo y se prepararon para dar inicio a un nuevo ensayo.

A continuación se presenta un resumen de la metodología usada para la limpieza de cada uno de los sistemas de filtración evaluados.

Sistema de filtración 1. Cuando el SF alcanzó la altura del sobrenadante que fue de 75cm y un borde libre de 5cm, se identificó que el sistema estaba colmatado. Para el lavado, inicialmente se drenó el filtro, luego se realizó un raspado de los primeros 2 ó 3cm de la superficie del lecho filtrante. La arena se lavó bien para extraer el material coloidal y la capa biológica adherida a los

granos de arena y finalmente el material se devolvió al filtro; cabe mencionarse que esto se hace para volver a las condiciones iniciales y así poder realizar los ensayos en iguales condiciones para todos los sistemas de filtración. En los sistemas reales no es pertinente tomar la arena y retornarla de nuevo, ya que según Cánepa (1992), esto trae como resultado que las capas inmediatas a la superficie se vayan colmatando progresivamente y, por consiguiente, el paso del agua se irá dificultando, acortándose cada vez más las carreras de filtración. En la figura 2.10 se puede observar el raspado superficial, basta con remover los primeros centímetros de lecho filtrante (1 a 3cm) para que el lecho quede de nuevo habilitado para el siguiente ensayo. La limpieza de las impurezas retenidas en las capas intermedia e inferior se realizó por medio de descargas de fondo y finalmente se efectuó una limpieza adicional por medio de un corrido de un día con agua potable para arrastrar el material que quedara entre los intersticios del lecho filtrante; esta acción ayudaba a que saliera material acumulado del lecho filtrante y que el sistema fuera preparado para el siguiente ensayo.

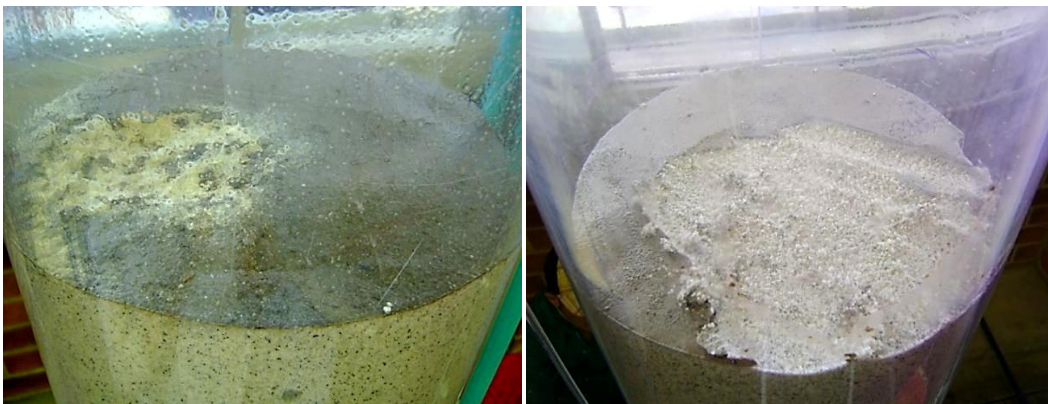


Figura 2.10. Limpieza del SF1 usando raspado superficial.

Sistema de filtración 2. Cuando el SF alcanzó la altura del sobrenadante que fue de 73cm y un borde libre de 5cm, se identificó que el sistema estaba colmatado. A nivel superficial del filtro se ubicó la manta sintética no tejida; ésta retiene una cantidad importante del material coloidal del afluente (figura 2.11) y debe retirarse para su lavado fuera del filtro. Al finalizar la carrera de filtración se drenó el filtro, la manta se extrajo y se lavó con abundante agua, ya que por su alta porosidad (93%) la manta retiene una importante cantidad de material coloidal que debe ser retirado para el inicio de un nuevo ensayo. Se consideró hacer un raspado superficial también, raspado de 1 a 2cm de la superficie del lecho de arena; esta se removió, se lavó y luego se devolvió al filtro; finalmente se ubicó la manta en la superficie del lecho. Realizar un raspado superficial en el SF2 fue un paso que decidió realizarse para poder preparar el SF para el nuevo corrido, tratando de igualar las condiciones iniciales y que los datos de la réplica en cada ensayo

fueran reproducibles. Cabe mencionarse que el lecho de arena se protege por la manta y la cantidad de materia coloidal que le llega es limitado pero, de todas maneras, el proceso de filtración arrastra materiales finos que poco a poco van depositándose en la superficie del lecho, por tanto, realizar este raspado era necesario para el corrido de las réplicas en cada ensayo.

La limpieza de las impurezas retenidas en las capas intermedia e inferior se realizó por medio de descargas de fondo y finalmente se realizó un corrido de un día con agua potable para arrastrar el material que quedara entre los intersticios del lecho filtrante, ayudando a que material coloidal depositado en los poros del mismo fuese removido.



Figura 2.11. Visualización del SF2 antes de la limpieza

Sistema de filtración 3. Cuando el SF alcanzó la altura del sobrenadante que fue de 103cm y un borde libre de 5cm, se identificó que el sistema estaba colmatado. Para la limpieza del lecho filtrante constituido en un 100% de manta sintética, primero se drenó el filtro y se procedió a sacar parte de la manta del nivel superior. La manta más próxima a la superficie es la que retiene la mayoría del material coloidal del afluente, así que se retiraron unos 10cm de manta y se lavaron con abundante agua para retirar la capa orgánica adherida y los sedimentos; la limpieza de las impurezas retenidas en las capas intermedia e inferior se realiza por medio de descargas de fondo. Se ubicó el material filtrante en el filtro y finalmente se realizó un corrido de un día con agua potable para arrastrar el material que quedara entre los intersticios del lecho filtrante.

2.8. Diseño de experimentos y análisis de datos

Se planteó el diseño de experimentos en *Statgraphics plus 5.1* para poder identificar el número de ensayos a realizar. Las variables de entrada fueron: tipo de lecho filtrante y tasa de filtración

y las variables respuesta fueron turbiedad, color aparente, COT, *Escherichia coli* y la comunidad de mesófilos establecida en cada filtro.

El diseño experimental consiste en todas las combinaciones de los niveles de las variables de entrada, arrojando un total de 9 combinaciones que se realizaron por duplicado, por tanto se plantearon 18 ensayos en total; el resumen del diseño se observa a continuación:

Resumen del Diseño de experimentos

Clases de Diseño: Categórico Multi-factor

Base de Diseño

Número de factores experimentales: 2

Número de residuos 5

Número de ejecuciones: 18 Error Grados de libertad: 9

Factores	Niveles
Lecho	3
Tasa	3

Respuestas	Unidades
Turbiedad	UNT
Color aparente	UPC
COT	mg/L
<i>E.coli</i>	UFC/100mL
Mesófilos	UFC/100mL

En la tabla 2.8 se resume el resultado arrojado por el diseño de experimentos, en la que se muestran las posibles combinaciones entre las variables de entrada.

Tabla 2.8. Diseño de experimentos de la investigación.

Ensayo	Variable “Lecho filtrante”	Variable “Tasa de filtración” (m ³ /m ² .día)	Ensayo	Variable “Lecho filtrante”	Variable “Tasa de filtración” (m ³ /m ² .día)
1	Lecho arena	6	10	Lecho arena	9
2	Lecho arena y manta	6	11	Lecho arena y manta	9
3	Lecho manta	6	12	Lecho manta	9
4	Lecho arena	6	13	Lecho arena	12
5	Lecho arena y manta	6	14	Lecho arena y manta	12
6	Lecho manta	6	15	Lecho manta	12
7	Lecho arena	9	16	Lecho arena	12
8	Lecho arena y manta	9	17	Lecho arena y manta	12
9	Lecho manta	9	18	Lecho manta	12

2.8.1. Criterios para el análisis de los datos

La toma de los datos se realizó al mismo tiempo en cada uno de los sistemas y siempre se tomaron dos datos de cada uno de los parámetros evaluados para asegurar la reproducibilidad de los resultados.

Inicialmente se realizó un trabajo preparatorio de los datos medidos en cada ensayo, luego se procedió a explorarlos aplicando métodos de estadística básica para las variables individuales. Para evaluar los posibles sesgos para las variables de salida analizadas se estableció la desviación estándar y el coeficiente de variación; al realizar las mediciones debieron obtenerse valores de desviación estándar por debajo del 12% para que fueran aceptados y garantizar la precisión de los métodos empleados.

Luego se buscó separar los datos por tipo de parámetro y se buscó reducir el número de datos para un fácil análisis, posteriormente se realizó una detección de “outliers” o valores atípicos, por medio del análisis de distribución de datos usando graficas de cajas de bigotes en el programa *Statgraphics plus 5.1*.

Se realizaron observaciones de cada uno de los ensayos y variables de salida en el tiempo, con el objetivo de observar la variación de los parámetros evaluados a medida que la carrera de filtración transcurrió.

Finalmente para el estudio estadístico entre dos o más variables se usó el programa *Statgraphics plus 5.1*, realizando análisis multivariados y análisis de varianza simples (ANOVA) para identificar que tanta varianza existió entre muestras, bajo distintas tasa de filtración y para los distintos medios de filtración. El análisis de la varianza descompone la variabilidad de los resultados y arroja dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de cada grupo, lo que ayuda a estimar la variabilidad entre grupos y determinar si existe o no correlación. Para el análisis se ha aceptado que existe varianza entre dos variables analizadas cuando el valor de la probabilidad p-valor menor de 0,05, si ocurre se establecerá que entre las dos variables en análisis existe una diferencia estadísticamente significativa. También, por medio de este paquete estadístico, se realizaron pruebas de regresión simple en los casos que fue necesario identificar la dependencia entre variables.

2.9. Metodología para la selección del mejor sistema de filtración

En busca del mejor sistema de filtración a las diferentes tasas evaluadas se usó una metodología muy sencilla, la cual se fundamentó en comparar para cada uno de los SF evaluados la remoción de los parámetros de calidad estudiados y adicionalmente, se realizó una estimación económica y así, identificar cuál de los sistemas era viable económicamente.

Para la comparación en cuanto a eficiencia de remoción de los SF evaluados, se recopilaron todos los datos recogidos durante las pruebas (anexo1) y a cada ensayo se le sacaron los valores medios para luego compararlos entre sí. Para tener los datos más claros se presentó una tabla tipo resumen (tabla 2.2) donde se agruparon todos los resultados para los parámetros de calidad evaluados a las diferentes tasas estudiadas en la fase experimental.

La selección del mejor sistema desde la parte técnica se fundamentó entonces en identificar a partir de los datos resumen cuál de los SF presentaba las mejores remociones para cada parámetros evaluado (turbiedad, color aparente, COT y *E.coli*). Cabe mencionarse que para la decisión también se tuvo en cuenta el tiempo de la carrera de filtración por ser este un factor importante a la hora de realizar mantenimiento a los SF, en este caso el sistema que más tiempo de funcionamiento desarrollara se consideró el mejor. Menos importante pero a tener en cuenta es la parte de mantenimiento y limpieza, el SF con mayor facilidad de limpieza es considerado como preferido.

La parte económica es fundamental ya que esta viabiliza la realización de un proyecto, en este sentido se realizó una estimación, realizando un supuesto de planta de potabilización de

filtración lenta; se realizó la evaluación de un sistema en iguales condiciones de área y caudal con diferentes lechos filtrantes, de acuerdo a la investigación. Esta evaluación fue muy sencilla, un simple ejercicio de costos de construcción que pretendió hacer una comparación que mostrará una idea de los valores comerciales de dicha planta. Claro está, el sistema de menor costo es el más viable económicamente, pero para poder escogerlo como mejor SF de la investigación debía también cumplir con las anteriores premisas evaluadas.

CAPÍTULO 3

Resultados y Análisis

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Realizado el seguimiento de cada uno de los sistemas de filtración evaluados bajo los lineamientos presentados en el capítulo 2, se obtienen los resultados presentados en el anexo 1. A continuación se presentan los análisis de los resultados obtenidos en la presente investigación.

3.1. Evaluación de los tiempos de colmatación de los sistemas de filtración

En la tabla 3.1 se hace un resumen de los diferentes tiempos de carrera de filtración obtenidos en el presente estudio a las tasas de filtración evaluadas.

Tabla 3.1. Tiempos de carrera de filtración para cada uno de los ensayos.

Sistema de filtración	Carrera de filtración (días)		
	Tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$	Tasa de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$	Tasa de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$
SF1	17	16	6
SF2	35	20	8
SF3	35	22	10

La colmatación del sistema control (SF1) para una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ se dio en 17 días, para los SF2 y SF3, que usan manta sintética en 35 días, siendo casi el doble de la obtenida en el sistema de control, mostrando resultados similares a los encontrados por autores como Stipp (1991), Fenga y Stipp (2002), Graham y Mbwette (1990) y Mbwette y Graham (1988), quienes encontraron que el uso de mantas sintéticas no tejidas aumentó la carrera de filtración. Adicionalmente, los resultados obtenidos para las carreras de filtración de los SF2 y SF3 son mayores que los obtenidos por Huisman y Wood (1974), quienes en su estudio donde no usaron mantas sintéticas identificaron que la carrera de filtración fue de 45 días para velocidades de 0.1 m/h ($2.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$), de 26 días para 0.25 m/h ($6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$) y sólo de 12 días para 0.45 m/h ($10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$), encontrando que para una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ se aumentó en un 35% frente a los resultados de Huisman y Wood (1974). El aumento en las carreras de filtración se asocia con el uso de las mantas sintéticas; nótese como para la tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ para el SF1 la carrera se mantiene muy por debajo de la presentada por Huisman y Wood (1974), quienes no usaron mantas en su estudio.

Fenga y Stipp (2002) evaluaron el uso de mantas sintéticas de manera superficial a tasas de 3, 6 y $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$, encontrando que para una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ la carrera de filtración tuvo una

duración de 11 días frente a una duración de 34 días para el SF2 del presente trabajo, lo que indica que efectivamente el uso de la manta evaluada es una buena opción para el sistema de filtración.

Para la tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$ para el SF1 se alcanza la colmatación del sistema en 16 días, seguido del SF2 con 20 días y por último está el SF3 con 22 días de carrera de filtración. Para la tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$ los tiempos se acortan de manera significativa, la máxima carrera de filtración se presenta para el SF3 con 10 días. Para las tasas de 9 y $12\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$ el tiempo de carrera de filtración disminuye a medida que la tasa de filtración aumenta, esta condición no es favorable para los sistemas de tratamiento ya que se acorta el tiempo de funcionamiento del filtro y en condiciones reales esto se traduce en la una mayor inversión de dinero y tiempo en mantenimiento, además de que el sistema de tratamiento debe ser sacado de funcionamiento para su limpieza.

Finalmente, los SF que presentan los mejores resultados en cuanto a los tiempos de colmatación son el SF2 y el SF3 a la menor tasa. Los mayores tiempos de carrera obtenidos se deben a que la manta actúa como una primera “barrera” donde se queda retenido gran parte del material coloidal y permite que los intersticios del lecho filtrante permanezcan libres por más tiempo para la filtración del agua cruda; en el SF3 la porosidad de la manta es mayor (93%) que la de la arena (45%) del SF2, lo que ofrece mayor espacio para el almacenamiento de los sólidos suspendidos sin saturar el medio tan rápidamente. En el SF2 el proceso de tratamiento y remoción se centra en la manta y no en la superficie de la arena, lo que permite que la carrera de filtración se extienda, removiendo más turbiedad, color aparente y *E. coli* (más adelante se describe cada uno de estos parámetros). Adicionalmente, la manta facilita el mantenimiento de los sistemas de filtración; en los sistemas piloto es fácilmente removible lo que ayuda a su limpieza, evitando además la disminución del lecho filtrante que se genera cuando se hace la limpieza habitual en la que se va sacando la arena que está en la superficie por raspado.

3.2. Resultados y análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados

En la tabla 3.2 se presentan a manera de resumen los estadísticos descriptivos para las características fisicoquímicas y microbiológicas en el agua tratada, a cada una de las tasas evaluadas. La desviación estándar presentada corresponde a la desviación que hay entre el ensayo y replica.

Tabla 3.2. Eficiencias de remoción promedio para los diferentes parámetros evaluados.

	Tasa de 6 m ³ /m ² .día			Tasa de 9 m ³ /m ² .día			Tasa de 12 m ³ /m ² .día		
	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3
% Remoción de la Turbiedad	81,2	88,5	87,5	75,8	82,5	76,0	64,1	64,1	63,9
% Remoción máx.	94,5	98,7	94,7	89,7	97,4	83,4	71,7	71,9	67,9
% Remoción mín.	60,6	75,8	75,0	52,0	67,1	60,6	59,6	59,3	60,7
Desvest	5,3	5,2	5,7	2,6	3,0	2,7	2,2	2,3	2,6
% Remoción del Color aparente	84,4	91,1	91,1	83,0	90,0	82,4	72,0	76,3	75,8
% Remoción máx.	100,0	100,0	100,0	91,7	100,0	95,0	75,0	78,7	81,7
% Remoción mín.	67,7	78,0	80,0	66,7	75,0	66,7	65,9	72,9	72,9
Desvest	13,1	9,7	9,5	5,6	5,3	6,3	2,8	2,6	4,3
% Remoción COT	54,4	51,7	49,6	-	-	-	37,5	45,0	32,3
% Remoción máx.	71,4	68,6	71,2	-	-	-	53,7	65,2	48,8
% Remoción mín.	23,2	17,1	33,8	-	-	-	31,8	22,8	15,6
Desvest	3,6	4,3	4,1	-	-	-	5,3	5,5	4,1
% Remoción de E. coli	97,2	98,3	98,1	97,8	98,2	98,0	37,4	42,8	43,5
Remoción de E. coli (Log)	1,7	2,1	2,0	1,7	1,8	1,8	0,2	0,2	0,2
% Remoción máx.	99,1	99,9	99,9	99,0	99,5	99,3	40,4	51,9	56,8
% Remoción mín.	97,0	98,0	93,6	96,5	96,8	95,8	32,7	29,7	25,0
Remoción máx. (Log)	3,0	3,1	3,1	2,0	2,3	2,1	0,2	0,4	0,4
Remoción mín. (Log)	1,3	1,6	1,2	1,3	1,5	1,4	0,1	0,1	0,1
Desvest	1,0	1,1	1,3	1,3	2,6	2,1	2,3	6,6	5,9

Como se observa en la tabla 3.2 no se realizó la evaluación de COT para la tasa de 9m³/m².día. La tasa en mención no se tenía planteada en el anteproyecto, se decidió realizar un ensayo en el último momento buscando evaluar los resultados y verificar si la tendencia al aumentar la tasa era a la disminución de la eficiencia de la remoción de varios de los parámetros evaluados. Dicha tasa fue evaluada sobre el tiempo y no fue posible realizar los ensayos para COT debido básicamente a la disponibilidad del equipo en el laboratorio.

Los análisis de resultados que se muestran a continuación están enfocados en la descripción independiente de cada uno de los parámetros de calidad evaluados y se abordará desde el análisis de la eficiencia de remoción de cada uno de ellos para las diferentes tasas evaluadas. Luego, se realizará un análisis sobre cómo la variable “presencia de luz solar” puede influir en el proceso de tratamiento, para esto se tomó la tasa que arrojó los mejores resultados. Finalmente, se entrará a realizar un análisis de cómo fue el desarrollo de la capa biológica en los

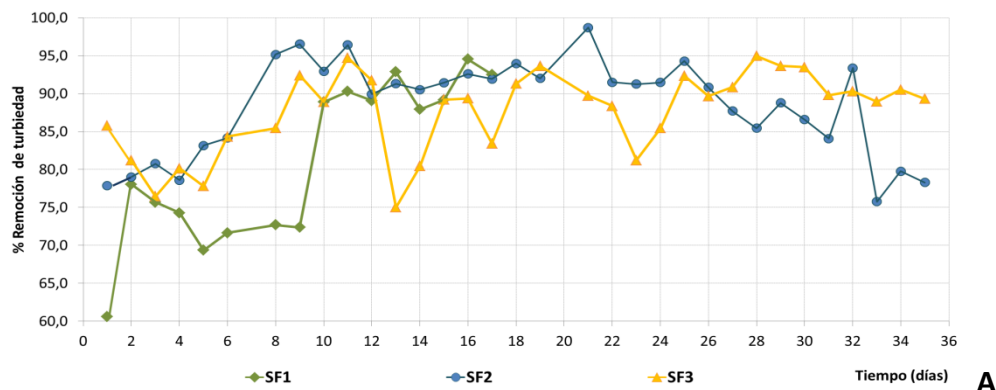
tres sistemas de filtración evaluados y finalmente se analizará cual fue el mejor sistema de filtración según los resultados obtenidos.

3.2.1. Evaluación de la eficiencia de remoción de turbiedad

Comparando los tres sistemas, el SF2 fue el que presentó una mayor remoción para cada una de las tasas evaluadas (figura 3.1). El mayor porcentaje de remoción de turbiedad (88,5%) entre los tres sistemas a las diferentes tasas fue para el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; además, cuando se aumenta la tasa en cada sistema, el porcentaje de remoción disminuye como se observa en la tabla 3.2. El análisis de varianza mostró que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el SF3 y el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ ($p=0,013$), tendencia que se presenta observar en la figura 3.1A, en la que se observa como el SF2 se mantiene por encima de los demás SF.

Para la tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, el SF2 tuvo una remoción de turbiedad promedio de 82,5% con valores máximos de 97,4%. Por otra parte, el SF1 presentó remociones de turbiedad en promedio del 75,8% alcanzando como máximo el 89,7%, y el SF3, una remoción promedio del 76,0% y valores máximos de 83,4%. En la figura 3.1B se observa la tendencia que sigue la remoción del parámetro de turbiedad a la tasa mencionada.

A una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ los porcentajes de remoción de turbiedad no son tan favorables. La tasa evaluada en este ensayo está muy cerca del límite superior ($14\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$) para la FLA según Arboleda (2000), lo que se traduce en rápida colmatación del lecho filtrante. La remoción de turbiedad llega máximo hasta un 71,9% para el SF2. Analizando los resultados para los tres sistemas de filtración a una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, se puede decir que la variación entre ellos es muy poca. Esta tasa no es adecuada ya que acorta las carreras de filtración como se observa en la figura 3.1C lo que se traduce en un mayor mantenimiento del sistema de filtración y los resultados para la remoción de la turbiedad no son altos si se comparan con los que arroja la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.



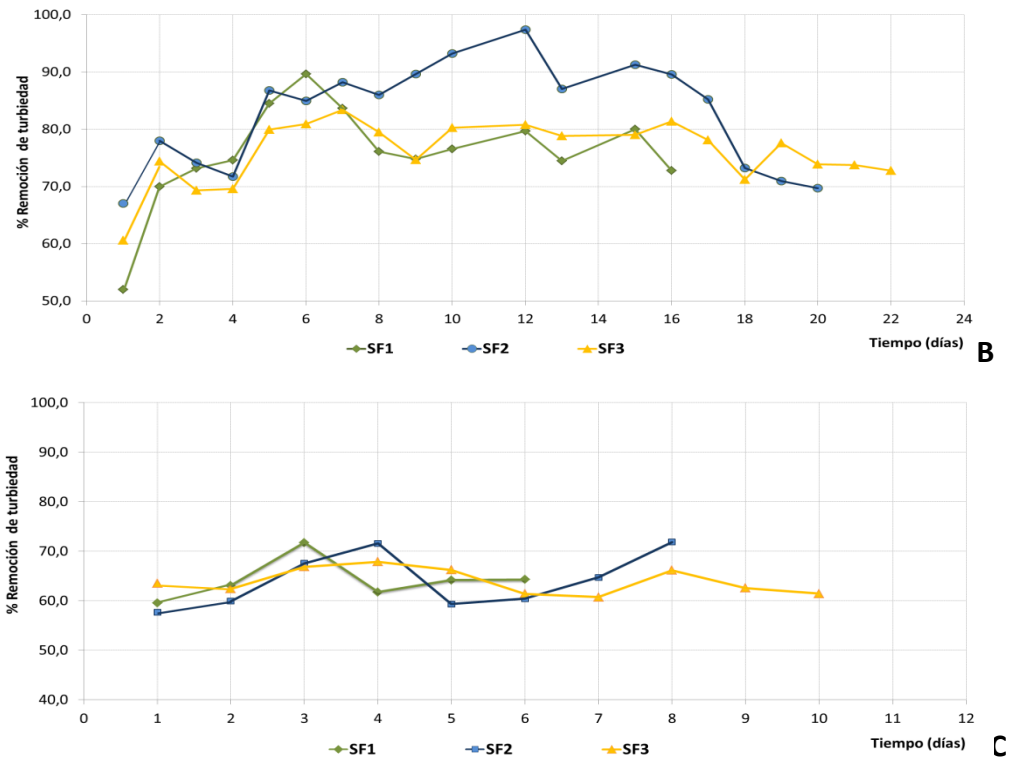


Figura 3.1. Remoción de turbiedad para cada uno de los sistemas evaluados a una tasa de (A) $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; (B) $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ y (C) $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$

En la figura 3.2 se observa cómo es la variación entre las tasas evaluadas para el SF2. La tendencia de la mediana es hacia la derecha lo que indica que la mayoría de los resultados están por encima de la media ($88,5\%$), adicionalmente los límites superior e inferior indican que la dispersión de los datos para la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ es menor con respecto a las tasas de 9 y $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

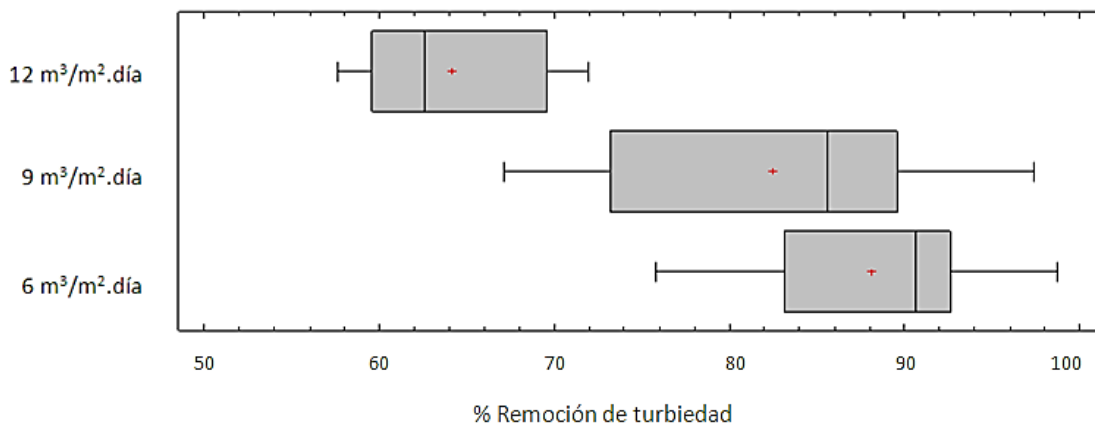


Figura 3.2. Dispersión de los datos de remoción de turbiedad para cada una de las tasas evaluadas para el SF2.

En la figura 3.3 se puede observar como es la variabilidad de la remoción de turbiedad para el SF2 a las diferentes tasas evaluadas. Un factor decisivo para definir cuál es el mejor sistema es la carrera de filtración, nótese como a una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ la carrera de filtración se acorta considerablemente, lo que hace que el sistema salga de funcionamiento rápidamente (8 días) y no se logren remociones de turbiedad importantes (promedio del 64,1%); mientras que a la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ el sistema funcionó por 34 días y se alcanzó una remoción de turbiedad promedio del 88,5%. La tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ es intermedia, encontrándose que los sistemas funcionaron 20 días y se alcanzaron remociones cercanas a las alcanzadas por el SF2 (promedio del 82,5%). De esta manera se puede decir que a carreras de filtración más bajas se obtienen mayores tiempos de funcionamiento del sistema y mayores porcentajes de remoción de turbiedad.

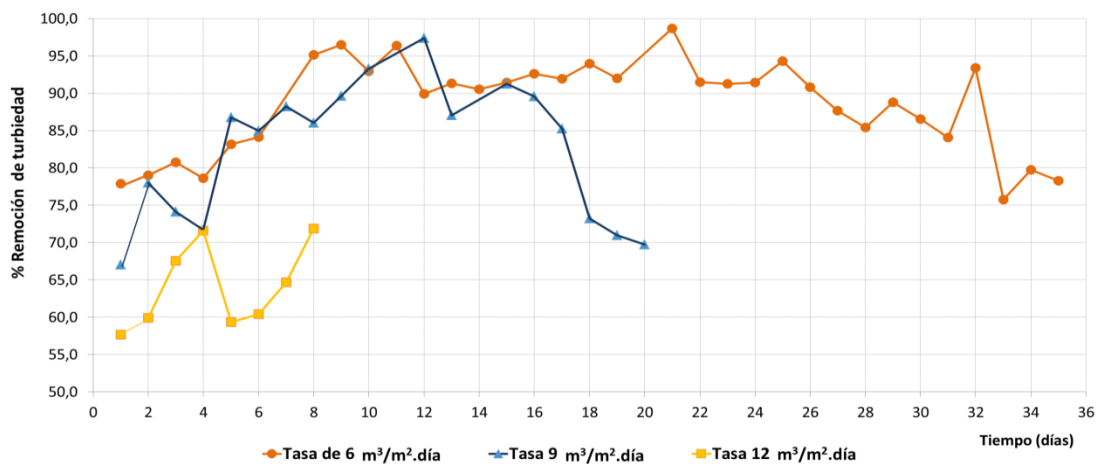


Figura 3.3. Comparación del porcentaje de remoción de turbiedad para cada una de las tasas evaluadas en el SF2.

Adicionalmente se realizó un análisis de componentes de varianza para evaluar cuáles son los componentes que generan la mayor varianza en la remoción de la turbiedad. Según el análisis, la tasa de filtración contribuye en un 94% a la varianza en la remoción de la turbiedad y el tiempo de carrera de filtración sólo contribuye en un 6,0% de la varianza. De esta manera; y según los resultados que se describen en los párrafos siguientes, se puede decir que a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ los resultados de remoción son mejores y que a medida que las tasas de filtración aumentan, la eficiencia de remoción disminuye de manera proporcional.

En la figura 3.4 se analiza el comportamiento de la turbiedad del efluente de los SF evaluados en la investigación a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Tomando como referencia el valor de turbiedad por debajo de 2UNT (línea roja de la figura 3.4), para aguas de consumo humano (Resolución 2115

de 2007), se encontró que el sistema de filtración que mejor cumple dicho valor es el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Los valores medios de la turbiedad del agua cruda de 10,4UNT y del agua tratada de 1,2UNT, muestran una buena remoción de este parámetro. El SF3 presenta, al igual que el SF2, resultados de remoción importantes, con un valor medio del agua tratada de 1,3UNT, y valores menores a 2,0UNT en el 81% de las muestras.

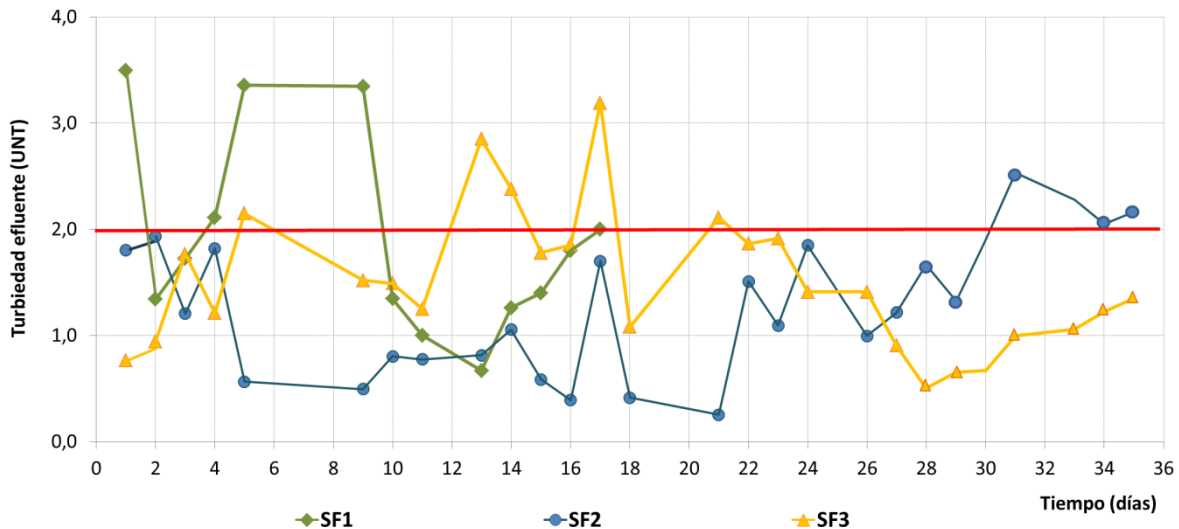


Figura 3.4. Comportamiento de la turbiedad del efluente de los SF evaluados a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

Lozano y Ramírez (2004) sustituyeron los medios filtrantes convencionales por lechos fibrosos de polipropileno y encontraron un aumento en la eficiencia en remoción de turbiedad de un 30% sobre el sistema convencional de FLA; en el presente trabajo, a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, se alcanzaron remociones de más del 7% para el SF2 y el SF3 sobre el sistema convencional SF1.

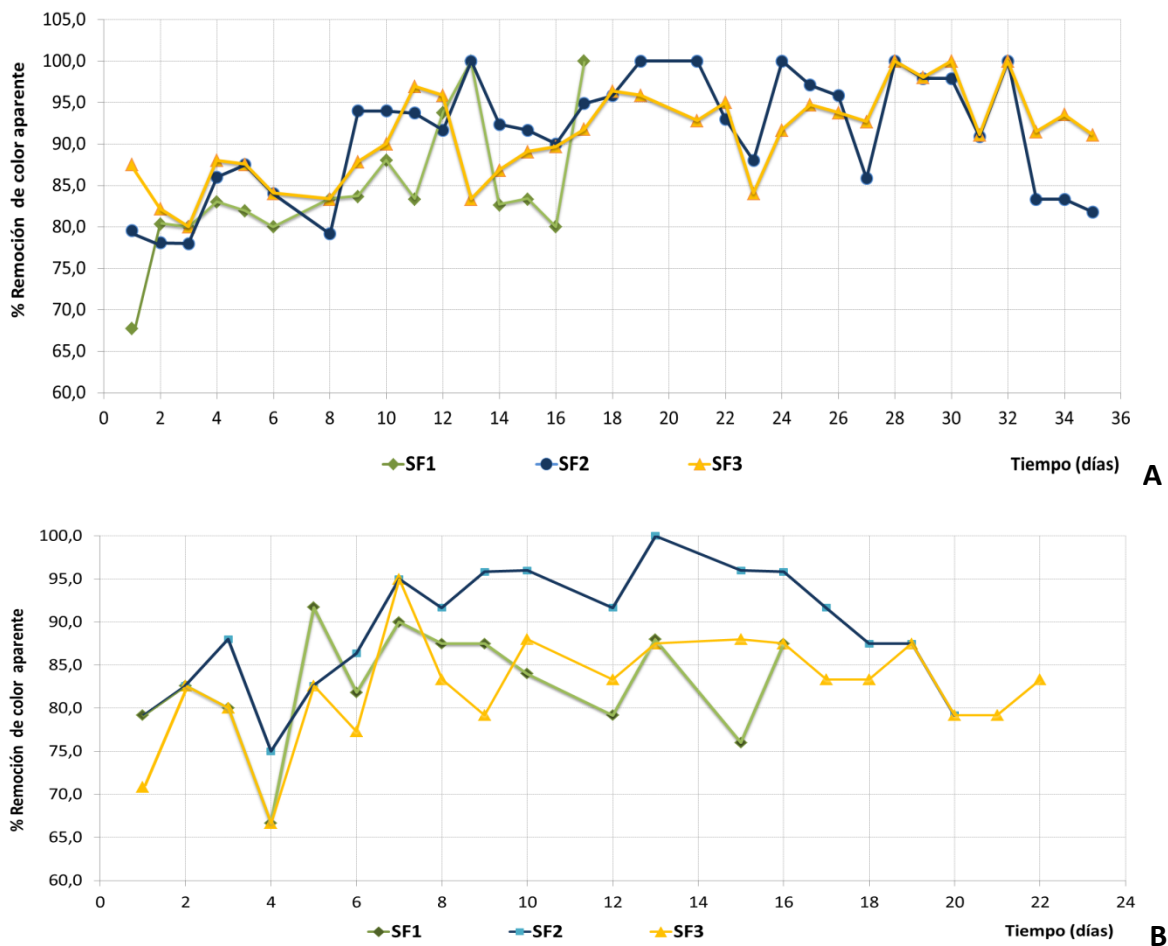
3.2.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de color aparente

La figura 3.5A ilustra la tendencia para la remoción de color aparente para los diferentes sistemas estudiados a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Se puede ver que el SF2 y el SF3 comparten una tendencia muy próxima; evaluando el promedio removido se encontró que ambos SF remueven el 91,1% de color aparente, llegando a remociones de hasta el 100,0%. Por el contrario, como se observa en la tabla 3.2 el SF1 alcanzó una remoción promedio del 84,4%, con un tiempo de colmatación mucho más corto que los otros SF.

Para una tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, las tendencias en la remoción de color aparente se pueden observar en la figura 3.5B. El sistema que mejor comportamiento presenta es el SF2,

presentándose un promedio de remoción del 90,0% sobre un 83,0% y un 82,4% de los SF1 y SF3 respectivamente, como se puede observar en la tabla 3.2.

En la figura 3.5C se puede observar la tendencia de remoción de color para los SF a una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Según los resultados obtenidos esta tasa no se considera una buena opción para la remoción de color aparente en ninguno de los sistemas evaluados, ya que la remoción de color promedio fue de 76,3% y de 75,8% para los SF2 y SF3 respectivamente y del 72,0% para el SF1. De esta manera, la remoción no es suficiente para dar cumplimiento a la Resolución 2115 de 2007 que establece que el color debe ser inferior a 15UPC; para que haya cumplimiento de la Resolución la remoción de color debe estar por encima del 87,0%.



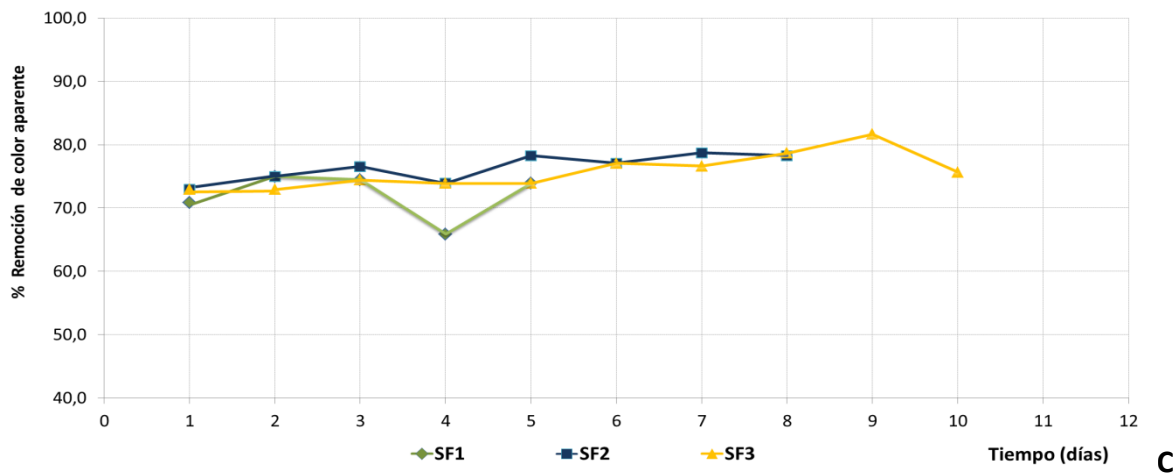


Figura 3.5. Remoción de color aparente para cada uno de los sistemas evaluados a una tasa de (A) $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; (B) $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ y (C) $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$

En la figura 3.6 se puede evidenciar que la remoción de color aparente a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ se mantiene muy cercana entre ambos SF. El SF2 presenta una tendencia de la media hacia un mayor porcentaje de remoción. Al realizar un análisis de varianza de ambos sistemas se encontró que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p=0,99$) entre el SF2 y el SF3 para la remoción de esta variable.

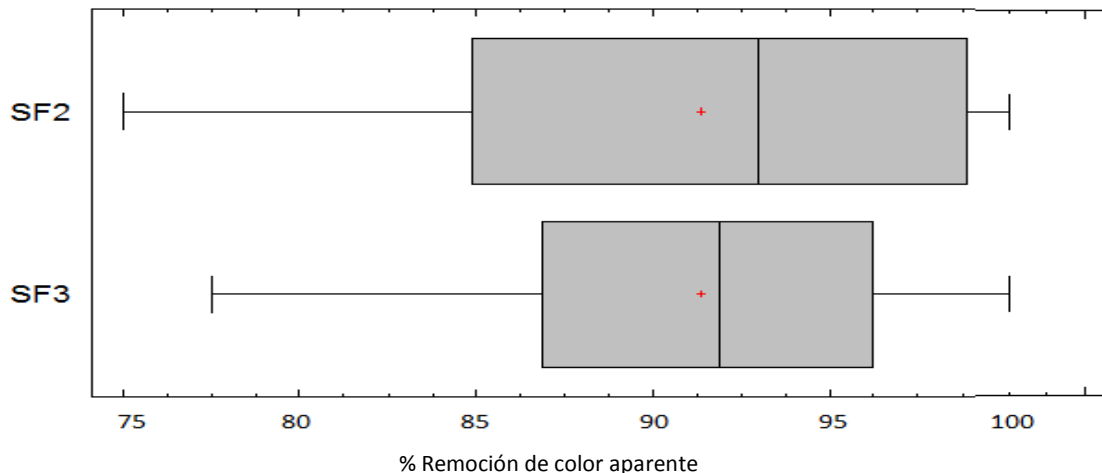


Figura 3.6. Dispersión de los datos de color aparente para SF2 y SF3 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

Evaluando estadísticamente los resultados obtenidos para la tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ para la remoción de color aparente, se realizó un contraste múltiple de rangos para los SF1, SF2 y SF3. En la figura 3.7 se muestra los valores medios de porcentaje de remoción y la desviación observada, se encuentra que entre los SF1 y SF3 se comportaron como grupos homogéneos y

que el SF2 presenta una diferencia estadísticamente significativa ($p=0,0035$) frente al SF1 y al SF3, con una mayor remoción de color aparente tal como se observa también en la figura 3.5B.

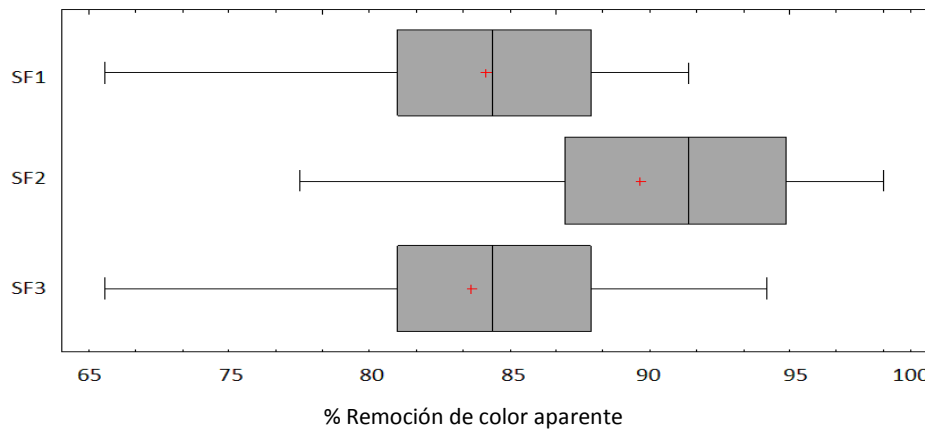


Figura 3.7. Dispersión de los datos de remoción de color aparente para cada uno de los sistemas evaluados a una tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

Si se toma como referencia un valor de color aparente por debajo de 15UPC para aguas de consumo humano (Resolución 2115 de 2007) se encontró que el sistema de filtración que mejor cumple dicho valor es el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Los valores medios de color aparente del agua cruda de 122UPC y del agua tratada de 6,5UPC, muestran una buena remoción de este parámetro; los resultados muestran que ocasionalmente no se cumple con las exigencias de la normatividad (menor a 15UPC) sin embargo, cumple para el 85,0% de los casos. El SF3 también cumple presentando un promedio de color aparente del agua tratada de 8,7UPC cumpliendo con la norma el 81,0% de los casos. El SF1 presenta un promedio de color aparente de 8,5UPC cumpliendo con la Resolución 2115 de 2007 pero su corta carrera de filtración (tabla 3.1) hace que no entre a competir con los SF2 y SF3. Lo anterior puede observarse en la figura 3.8 donde se presenta el comportamiento para el color aparente del efluente tratado en los SF evaluados a la tasa antes mencionada; la línea roja muestra el límite de 15UPC citado en la norma colombiana.

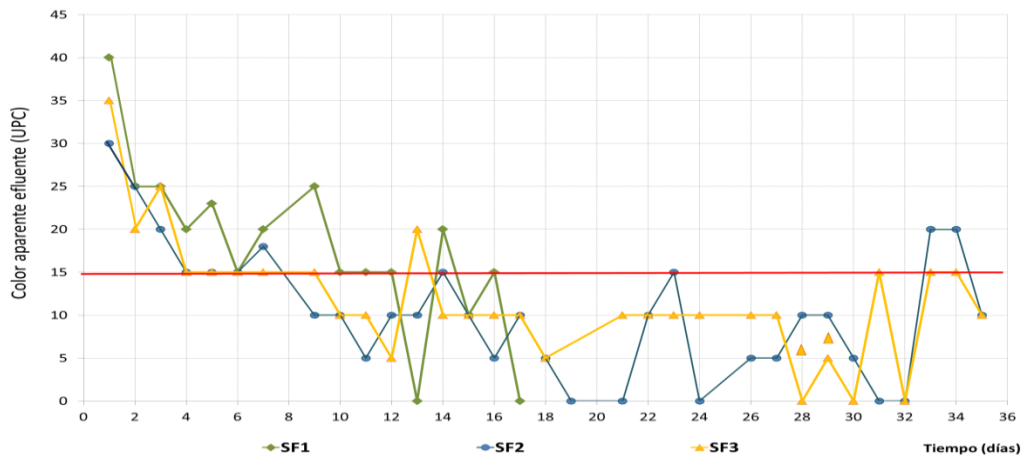


Figura 3.8. Comportamiento del color aparente efluente para los SF evaluado a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

A fin de identificar como fue el comportamiento en la remoción del color aparente para el SF2 a cada una de las tasas evaluadas, en la figura 3.9 se puede observar como varió el porcentaje de remoción de color aparente para las tasas de filtración de 6, 9 y $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, obteniéndose mayores remociones con la menor de las tasas de filtración.

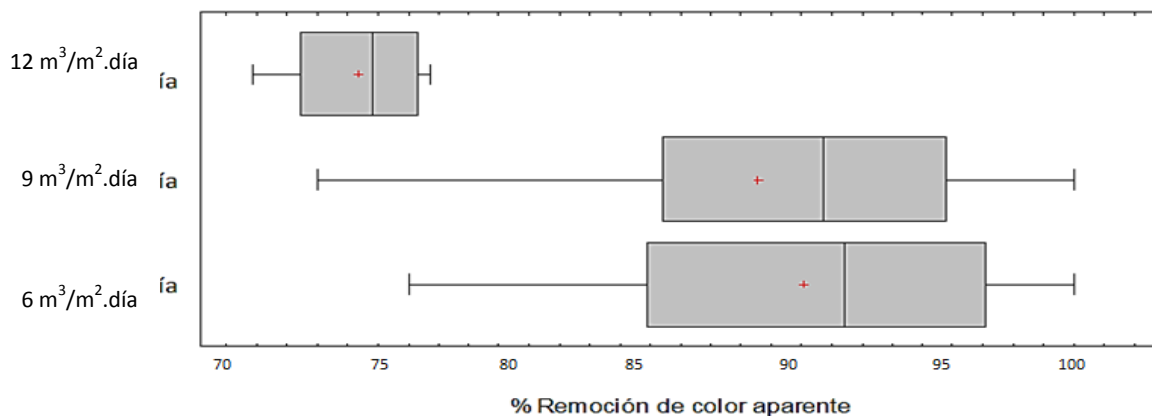


Figura 3.9. Dispersión de los datos de remoción de color aparente para cada una de las tasas evaluadas en el SF2.

En la figura 3.9 se observa como a medida que la tasa de filtración aumenta la remoción de color disminuye, estos mismos resultados fueron identificados por Fenga y Stipp (2002). Adicionalmente, Fenga y Stipp (2002) encontraron al usar mantas sintéticas a nivel superficial para una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, la remoción de color aparente llegó hasta el 63%, mientras que en la presente investigación se lograron remociones en promedio del 91,1% para el SF2 y el SF3.

3.2.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de Materia Orgánica–MO–

Para una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ el valor medio de MO del agua cruda fue de $3,6\text{mgCOT/L}$ y del agua tratada los valores de $1,6$, $1,7$ y $1,8\text{mgCOT/L}$ para los SF1, SF2 y SF3 respectivamente. Lo anterior muestra que la remoción de este parámetro en los SF evaluados es regular, alcanzando remociones medias de $54,4$, $52,7$ y $50,0\%$ de remoción para el SF1, SF2 y SF3. Según la Resolución 2115 de 2007, el COT debe ser menor a 5mg/L ; en los diferentes ensayos, el COT del agua cruda se mantuvo por debajo de 5mg/L debido a que en aguas la concentración de este parámetro está por debajo del valor mencionado, esto estuvo referenciado por los diferentes estudios que se consultaron para establecer la composición del agua sintética. De todas formas, aunque se trabajó con valores que estuvieron por debajo de la resolución se aprecia la disminución de este parámetro de seguimiento. Por otro lado, al realizar un análisis de varianza para los SF, se encontró que los porcentajes de remoción de MO a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ para los tres sistemas no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,92$). En la figura 3.10 puede observarse una comparación de los valores medios y la desviación del porcentaje de remoción de COT, evidenciándose que el SF1 presenta las mayores remociones de éste parámetro con un promedio de remoción de $54,1\%$ seguido de los sistemas SF2 y SF3 con $51,7\%$ y $49,6\%$ respectivamente.

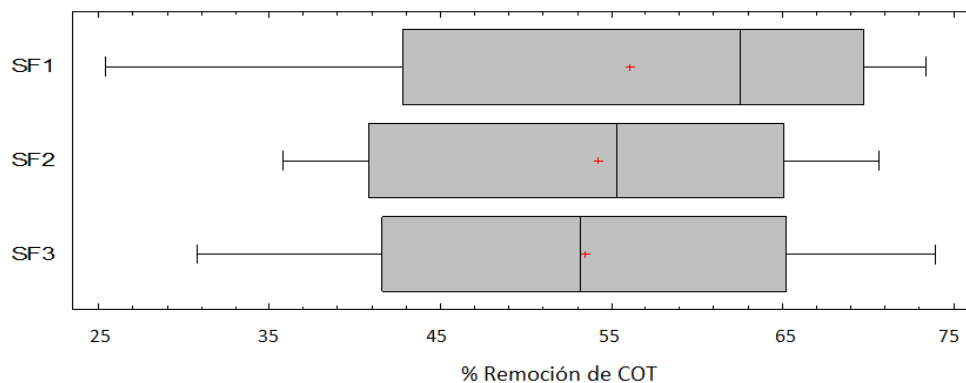


Figura 3.10. Dispersión de los datos de remoción de COT para cada uno de los sistemas evaluados a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

En general, los resultados para la remoción de MO en los diferentes sistemas de filtración evaluados a una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, arrojaron resultados más bajos de remoción de COT que para la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. El valor medio de MO para el agua cruda fue de $4,6\text{mgCOT/mL}$ y para el agua tratada fue de $3,0\text{mgCOT/mL}$ para el SF1 y SF2 y de $3,3\text{mgCOT/mL}$ para SF3. La remoción de COT promedio para el SF1 fue de $37,5\%$ y de $45,0\%$ y $32,3\%$ para los SF2 y SF3 respectivamente. En la figura 3.11 se observa la variación de la remoción de COT en el tiempo para una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, nótese como a medida que pasa el tiempo la remoción de este

parámetro va disminuyendo en todos los SF. Este comportamiento puede presentarse porque a medida que pasa el tiempo se da un crecimiento de la capa biológica y de las algas al interior del filtro lo que puede generar que al descomponerse estos le incorporen MO al agua del efluente, lo que refleja menor remoción de la misma en los SF.

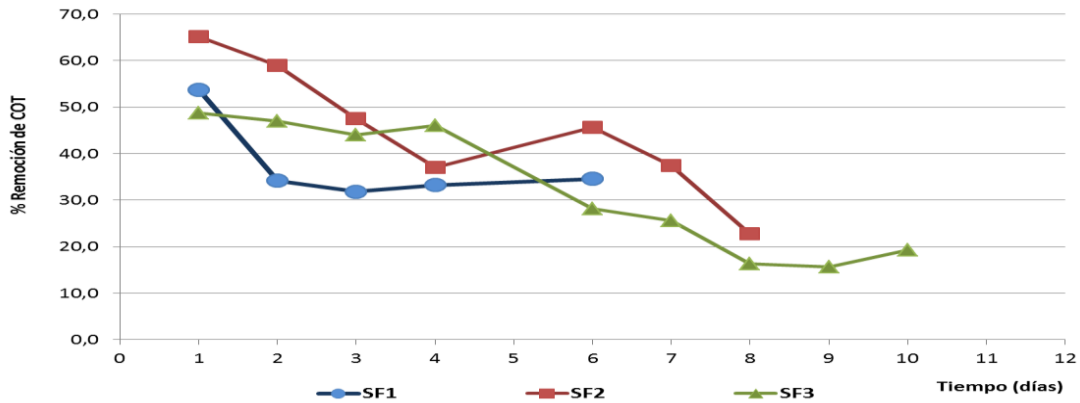


Figura 3.11. Remoción de COT para cada uno de los sistemas de filtración a una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

En la figura 3.12 se presenta la dinámica del porcentaje de remoción de COT para el SF2 a las tasas evaluadas de 6 y $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. En ella se observa una alta variabilidad en el tiempo de esta variable.

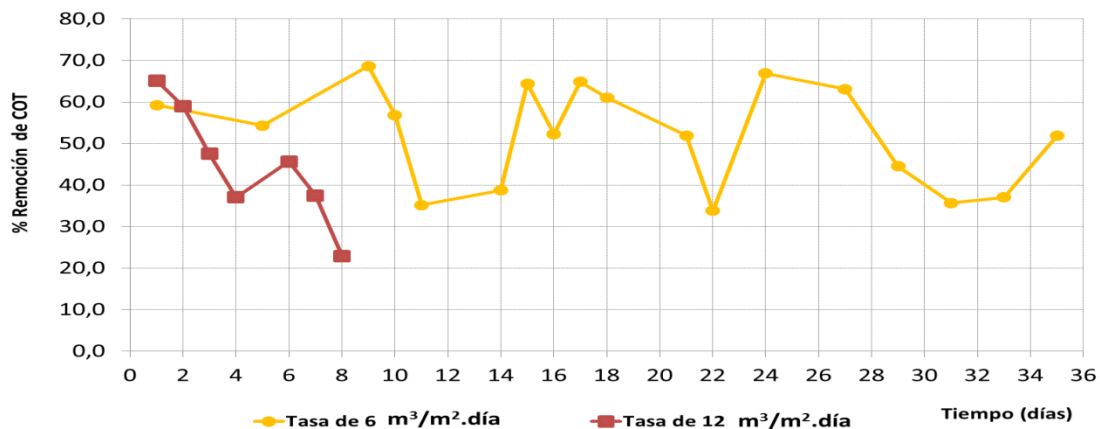


Figura 3.12. Comparación del porcentaje de remoción de COT para el SF2 a las tasas de 6 y $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

Realizando un análisis de varianza para identificar si existen diferencias estadísticamente significativas entre la remoción de COT que se presenta a las tasas de 6 y $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ se encontró que para el SF1 no existen diferencias estadísticamente significativas ($p=0,076$) entre

los resultados de ambos ensayos; mientras que para el SF2 y para el SF3 se presenta que sí existen diferencias estadísticamente significativas $p=0,0041$ y $p=0,00083$ respectivamente, presentándose una mejor respuesta de remoción de COT para la tasa de filtración más baja. Según los valores medios del porcentaje de remoción de MO a las diferentes tasas evaluadas (tabla 3.2), el mejor resultado se da a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ es para el SF1 alcanzando una remoción de MO del 54,4%, mientras que para los SF2 y SF3 se alcanzó una remoción de este parámetro del 51,7% y 49,6% respectivamente, ambos con resultados muy similares y sin diferencias estadísticamente significativas ($p= 0,77$).

La evaluación de la remoción de la materia orgánica en los sistemas de FLA y sistemas que usen mantas sintéticas no ha sido estudiada a profundidad, por tanto las comparaciones son incipientes. La investigación de Naranjo (2009) fundamentada en FiME encontró eficiencias de remoción de MO de hasta el 50%, medida como DQO. Fernández *et al.* (2006) encontraron también por FiME una remoción de 76,8% como DQO. Campos (2002) encontró una remoción de materia orgánica como COT del 25% para filtros de arena cubiertos, pero su estudio se realizó a una temperatura de 4°C , por lo que no es comparable con la investigación actual.

3.2.4. Variación de pH y temperatura

La variación de pH para el agua tratada osciló entre 6,0 y 8,3UpH y la temperatura entre 20,1 y $24,8^{\circ}\text{C}$ para los ensayos realizados a las diferentes tasas; en general, estos dos parámetros se mantienen muy estables y presentan homogeneidad en los ensayos realizados. En la tabla 3.3 se muestran los valores promedio para estos dos parámetros a las diferentes tasas evaluadas, identificando los estadísticos descriptivos para cada caso; se hace también una diferenciación entre el agua cruda y al agua filtrada, identificando el cambio en las variables de entrada y de salida.

Las variaciones de pH a las diferentes tasas evaluadas es mínima; tomando como referencia la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ para observar el comportamiento de éste parámetro, se compararon los resultados de pH para los tres SF (figura 3.13) a la tasa mencionada, con los valores máximos y mínimos admisibles para fuentes de agua de consumo según la normatividad nacional (Resolución 2115 de 2007), observando además que el pH tiende a mantenerse estable la mayoría del tiempo.

Tabla 3.3. Valores de pH y temperatura.

		Tasa de 6 m ³ /m ² .día			Tasa de 9 m ³ /m ² .día			Tasa de 12 m ³ /m ² .día		
		SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3
pH(UpH)	Agua cruda	7,9			7,9			7,9		
	Promedio a la salida del sistema	7,4	7,0	7,4	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	Max.	8,2	7,7	8,0	7,7	7,8	7,8	7,7	7,7	7,8
	Min.	7,1	6,2	6,0	7,1	7,4	7,4	7,5	7,4	7,3
	Desvest	0,2	0,6	0,1	0,3	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0
Temperatura (°C)	Agua cruda	23,1			23,2			23,0		
	Promedio a la salida del sistema	22,6	22,7	22,3	22,5	22,4	22,4	23,4	23,0	22,8
	Max.	24,8	24,0	24,8	24,3	24,2	24,0	24,2	24,3	24,3
	Min.	20,1	19,8	19,8	21,5	21,1	21,1	22,3	22,2	22,2
	Desvest	2,0	1,5	2,0	1,0	1,4	0,8	0,0	0,1	0,1

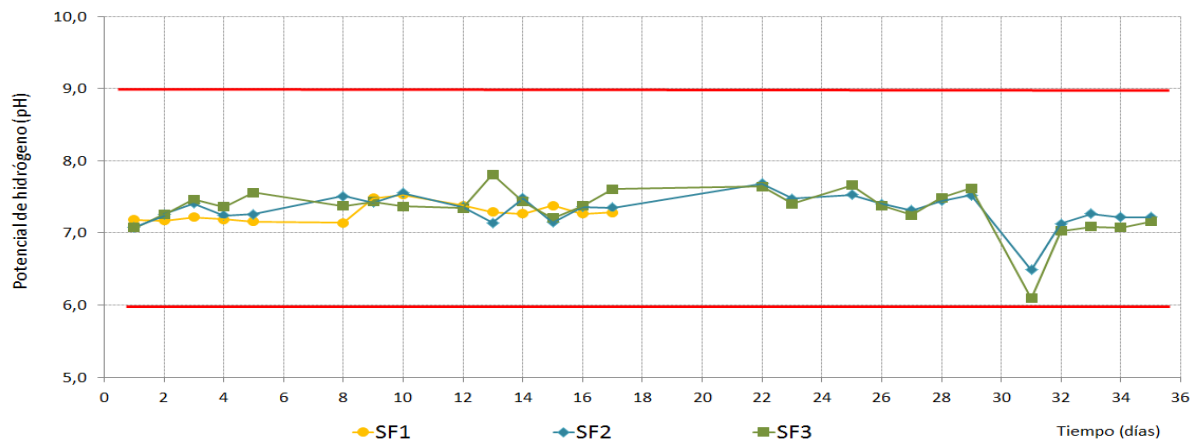


Figura 3.13. Variación del pH en cada uno de los SF evaluados a una tasa de 6m³/m².día.

Por lo general, la temperatura del agua cruda es ligeramente mayor a la del agua tratada, esto puede deberse a que el agua cruda se encontraba almacenada en un tanque negro ubicado en el exterior del laboratorio, haciendo que el sol aumente la temperatura del agua. La temperatura es considerada un limitante para el establecimiento de los microorganismos de la capa biológica, en este caso la temperatura del agua fue adecuada para permitir el crecimiento normal de la biocapa; como ya se ha mencionado, temperaturas bajas inhiben el crecimiento de los microorganismos.

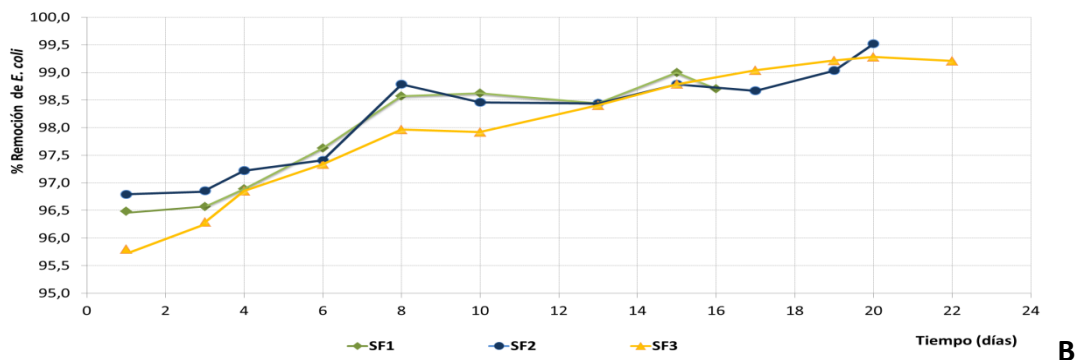
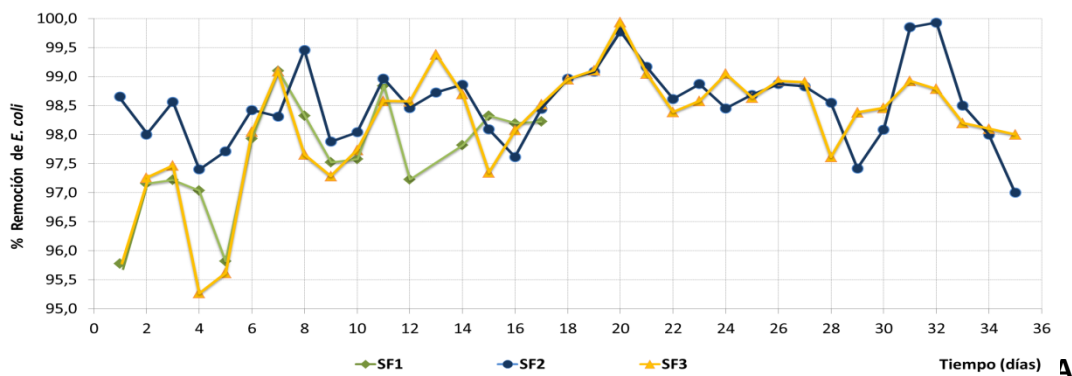
3.2.5. Evaluación de la eficiencia de remoción de *Escherichia coli*

La remoción de *E.coli* a una tasa de 6m³/m².día presentó valores de remoción de hasta el 99,9% (3,1Log) en los SF2 y SF3, mientras que SF1 tuvo un valor máximo de remoción de 99,1%

(3,0Log). En la figura 3.14A, se presenta la variación en el tiempo de este parámetro, encontrando que el SF2 y SF3 tienen una tendencia muy parecida.

En la figura 3.14B, se puede observar la variación en el tiempo para la remoción de *E.coli* a una tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Según los resultados obtenidos la remoción de *E.coli* aumenta de manera proporcional en el tiempo hasta que el sistema llega a su colmatación. Se encontró que los resultados para la remoción de *E.coli* son muy similares en los SF y se realizó un análisis de varianza para determinar qué tan diferentes eran las remociones en cada caso, encontrando que no existe diferencia estadísticamente en ninguno de los grupos, es decir entre SF1 y SF2, ($p=0,37$); SF1 y SF3 ($p=0,66$) y SF1 y SF3 ($p=0,70$).

Con relación a los ensayos realizados para la tasa de filtración de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, se han obtenido resultados poco favorables. En promedio, el porcentaje de remoción de *E.coli* fue de 37,4% (0,2Log) para el SF1, 42,8% (0,4Log) para el SF2 y de 43,5% (0,4Log) para el SF3. En la figura 3.14C, se observa la variación en el tiempo del porcentaje de remoción de *E.coli* en cada uno de los SF estudiados a la tasa en mención. Se observa, por lo corto de la carrera de filtración (máximo hasta 10 días para el SF3), que el sistema no alcanza a madurar y los porcentajes de remoción se mantienen en valores bajos comparados con las tasas de 6 y $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.



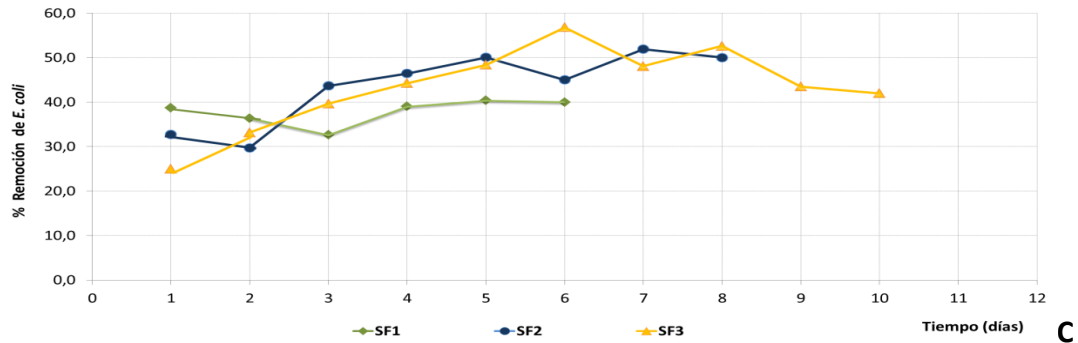


Figura 3.14. Remoción de *E. coli* para cada uno de los sistemas evaluados a una tasa de (A) $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; (B) $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ y (C) $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$

Para evaluar si la remoción de *E. coli* presenta valores similares para los SF, se realizó un test de rangos múltiples, análisis que determina si las medias son significativamente diferentes unas de otras. Según éste análisis, existen dos grupos homogéneos en los que no hay diferencias estadísticamente significativas en los valores medios. No existe diferencia estadística entre el SF1 y el SF3 ($p=0,17$) y entre el SF3 y el SF2 ($p=0,055$); mientras que entre el SF1 y el SF2 sí se presenta una diferencia estadísticamente significativa ($p=0,00011$). Nótese en la figura 3.15 como se comporta la distribución de los datos para cada ensayo; la mejor remoción se presenta para el SF2, donde la media concuerda con la mediana, notándose una tendencia hacia la derecha lo que indica que la mayoría de los resultados están por encima de la media (98,6%); adicionalmente, los límites superior e inferior indican que la dispersión de los datos es menor respecto al SF3.

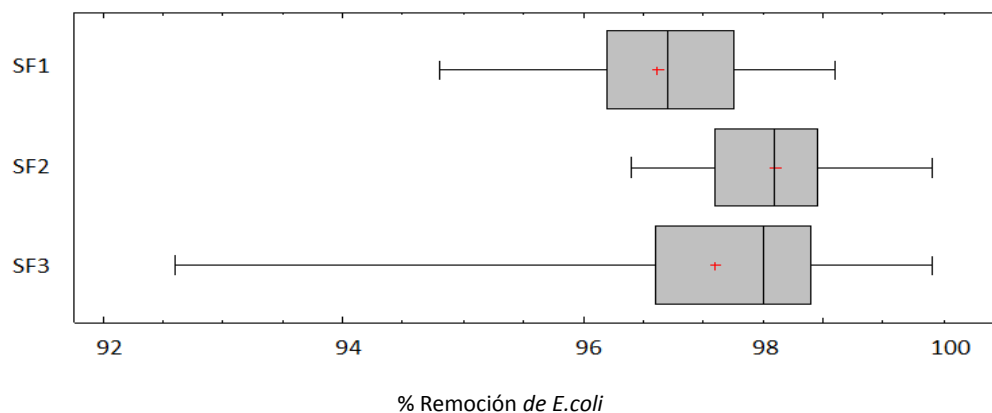


Figura 3.15. Dispersión de los datos para la remoción de *E. coli* en los diferentes SF evaluados a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$

Nótese en la figura 3.16 como existen diferencias más marcadas para la tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, presentándose menor remoción de *E.coli*; además se observa la dispersión de los datos a las diferentes tasas evaluadas y en la derecha un acercamiento a los SF2 y SF3 que son los que presentan resultados más parecidos.

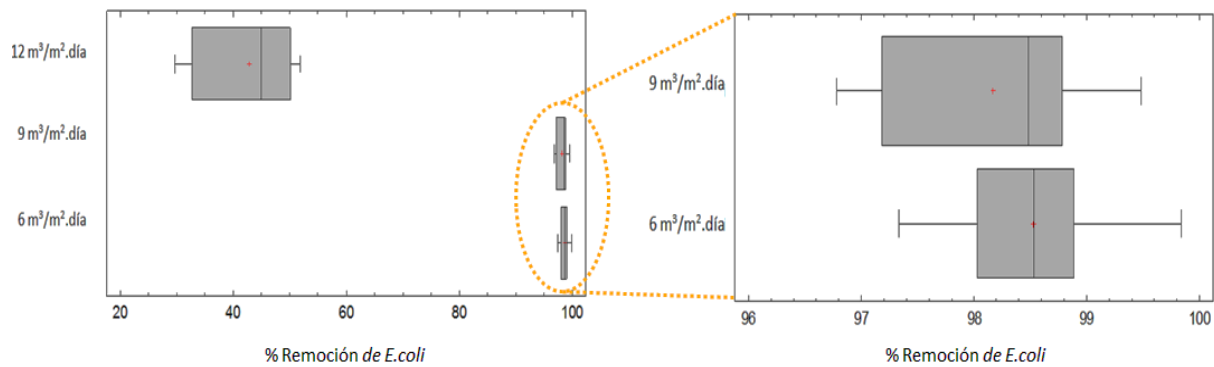


Figura 3.16. Dispersión de los datos de *E.coli* para cada una de las tasas evaluadas en le SF2.

Al igual que lo encontrado en otros estudios (Bauer *et al*, 2011; Fenga y Stipp, 2002), el aumento de la tasa de filtración lleva a la disminución en la remoción de *E.coli*, como se observa en la figura 3.17 para la tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ en la que la remoción de *E.coli* no fue representativa.



Figura 3.17. Remoción de *E.coli* para cada una de las tasas de filtración evaluadas en el SF2.

Adicionalmente, a medida que aumenta el tiempo de funcionamiento se mejora la remoción de *E.coli*; esta remoción es menor al inicio de la carrera de filtración y luego va aumentando hasta alcanzar valores del 99,9% (3,1Log) para el SF2 y el SF3. La remoción de *E.coli* es comparable con estudios de Bauer *et al*. (2011); Fenga y Stipp (2002), alcanzando remociones hasta de 99,9% (3,0Log). Lozano y Ramírez (2004) mencionan haber alcanzado remociones de este patógeno del 100% con el uso de mantas sintéticas como lecho filtrante a una tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

Los valores medios para *E.coli* del agua cruda de 1377UFC/100mL y del agua tratada de 23UFC/100mL, muestran una buena remoción de este parámetro (98,3% - 2,1Log) para el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$. Para el SF1, a esta misma tasa, se obtiene para el agua tratada un valor promedio de 38UFC/100mL de *E.coli* (remoción del 97,2% - 1,7Log) y para el SF3 se obtiene para el agua tratada un promedio de 26UFC/100mL de *E.coli* (remoción del 98,1% - 2,0Log).

Para que el agua sea apta para el consumo humano, se debe presentar 0UFC/100mL de *E.coli* (Resolución 2115 de 2007). Esto quiere decir que se debe remover el 100% de *E.coli* del agua de abastecimiento. Ninguno de los sistemas evaluados, ni las tasas analizadas alcanzaron dichos porcentajes de remoción. Es indispensable que cualquier sistema de tratamiento sea complementado con otras técnicas de desinfección o la inclusión de un tratamiento adicional al final del proceso. De ahí que la remoción de *E.coli* en la FLA no debe necesariamente llegar al 100% pues la desinfección final la complementa.

3.2.6. Evaluación final de los resultados obtenidos

Las mantas sintéticas no tejidas se han venido usando en los sistemas de filtración lenta desde hace algún tiempo. La mayoría de las investigaciones realizadas a la fecha concluyen en que su uso genera una optimización del proceso de filtración. En la tabla 3.4 se realiza una comparación entre diferentes mantas sintéticas que han sido estudiadas por diversos autores y que se asemejan a la manta usada en el presente estudio.

Tabla 3.4. Comparación de las propiedades de la fibra usada en el presente estudio y en otras investigaciones.

Características	Estudios identificados				
	Actual	Di Bernardo (1991) ¹	Graham y Mbvette (1990) ²	Fernández et al, (2000) ³	Fenga y Stipp (2002) ⁴
Espesor de la manta (mm)	20	30	20	20	20
Porosidad (%)	93,0	85,0	40,0	90,0	94,0
Peso específico (g/cm ³)	1,4	1,1	1,0		0,1
Peso de la manta (g/m ²)	818				300
Área Superficial (m ² /g)	3,9				
Diámetro medio de la fibra (µm)	39,6			31	67,9
Volumen de los microporos de la fibra (cm ³ /g)	0.002				

¹ Tomado de: Di Bernardo. "Filtración Lenta en Arena" (1991).

² Tomado de Graham y Mbvette "Protected Slow Sand Filtration: Specification of Non-woven Synthetic Fabric Layers" (1990).

³ Tomado de Fernández *et al.* "Uso de Mantas Sintéticas y Naturales en Filtración Lenta en Arena, Una Experiencia en Ambientes Tropicales" (2000).

⁴ Tomado de Fenga y Stipp "Redução da Espessura da Camada Suporte Através da Substituição por Mantas Não-tecidas na Filtração Lenta de Águas de Abastecimento. (2002).

Fernández *et al.* (2000) encontraron que la aplicación de mantas sintéticas no tejidas de 20mm de espesor en la superficie del lecho filtrante incrementaron las carreras de filtración en un factor de 1,33 a 1,72, con velocidad de filtración de $3,6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. De manera similar en la presente investigación se encontró que el uso de las mantas, tanto a nivel superficial como sustituto del lecho filtrante, aumenta las carreras de filtración en un factor de 1,37 a 2,06, concluyendo que con el uso de las mantas sintéticas las carreras de filtración se alargan (Stipp, 1991; Di Bernardo y Bojorge, 1997; Fenga y Stipp, 2002; Fernández *et al.* 2000; Graham y Mbwette, 1990; Kumar, Seth y Biswas 2007; Mbwette y Graham, 1988). Según información presentada por Cánepa (1992), debido a su alta porosidad las mantas proporcionan una baja pérdida de carga, aumentando las carreras de filtración y viabilizando la posibilidad de aumentar la tasa de filtración.

Di Bernardo (1991) realizó una investigación con cinco tipos de mantas diferentes, encontrando que los mejores resultados de remoción de parámetros como turbiedad y coliformes se obtienen para mantas de 5 y 3mm de espesor y que las tasas de 9 y $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ permiten la penetración de impurezas a la superficie de la arena lo que hace que aumente el tiempo de mantenimiento. Con relación a lo anterior, se puede evidenciar que los resultados encontrados en la presente investigación en relación a la remoción de turbiedad, color aparente y *E.coli* se comportan de manera similar a los que reporta Di Bernardo (1991), conforme al aumento de las tasas de filtración y la remoción, y el papel de la manta como protector del lecho filtrante.

Compartiendo lo que mencionan Di Bernardo y Bojorge (1997), en esta investigación se determinó que cuando se usan mantas sintéticas hay una mejor remoción de parámetros como turbiedad, color y materia orgánica. Di Bernardo (1991) y Fenga y Stipp (2002) hacen un reconocimiento de los beneficios del uso de la manta a nivel superficial al decir que esta ayuda a proteger el lecho de la pérdida de arena y facilita su limpieza. Kumar, Seth y Biswas (2007), demuestran que la operación de los filtros con el uso de mantas sintéticas es una opción viable para simplificar la operación y mantenimiento de los mismos.

Graham y Mbwette (1990) mencionan que existe mayor capacidad de retención en la manta que en la arena, lo que se ve reflejado en la remoción de los parámetros evaluados y en los tiempos de la carrera de filtración más largos. Esto está relacionado directamente con la porosidad del lecho filtrante (manta: 90% y arena: 40-50%), ya que a mayor porosidad, mayor

espacio entre los intersticios del lecho filtrante para que el material coloidal quede retenido. En la presente investigación se evidenció que en el lecho filtrante con manta, las carreras de filtración fueron mayores y los tiempos de retención hidráulica también, ya que la manta tiene una porosidad del 93% frente a la de la arena que es del 45%.

Ahora, al centrarse en la evaluación de los parámetros de calidad evaluados en la presente investigación se tienen resultados claros sobre cuáles de los SF evaluados presentan los mejores resultados. En la tabla 3.5 se presentan los SF que mejores resultados arrojaron para cada uno de los parámetros allí mencionados, los SF identificados como mejores en cada parámetro no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Tabla 3.5. Resumen de los mejores resultados.

Parámetro	Sistema de filtración con mejor remoción	Mejor tasa de filtración
Turbiedad	SF2	6 m ³ /m ² .día
Color aparente	SF2 – SF3	6 m ³ /m ² .día
COT	SF1 – SF2 – SF3	6 m ³ /m ² .día
<i>E.coli</i>	SF2 – SF3	6 m ³ /m ² .día

En el numeral 3.5.3. se hará un análisis detallado para concluir según el análisis técnico y económico cual es el mejor sistema de filtración.

3.3. Desarrollo de la capa biológica

La capa biológica se forma a medida que transcurre el tiempo, estableciéndose una diversidad de microorganismos. En la figura 3.18, se puede ver el crecimiento de la capa biológica en el lecho filtrante. La figura 3.18A corresponde al SF1 y fue tomada en la segunda semana del muestreo de la capa biológica. La figura 3.18B corresponde al SF2 y muestra como la capa biológica va colonizando toda la superficie del lecho filtrante. La figura 3.18C, corresponde al SF2 y se tomó al sacar de funcionamiento el sistema por colmatación. En la figura 3.18D, se observa el crecimiento de algas verdes y pardas en el SF1, este crecimiento se presentó en todos los sistemas de filtración.

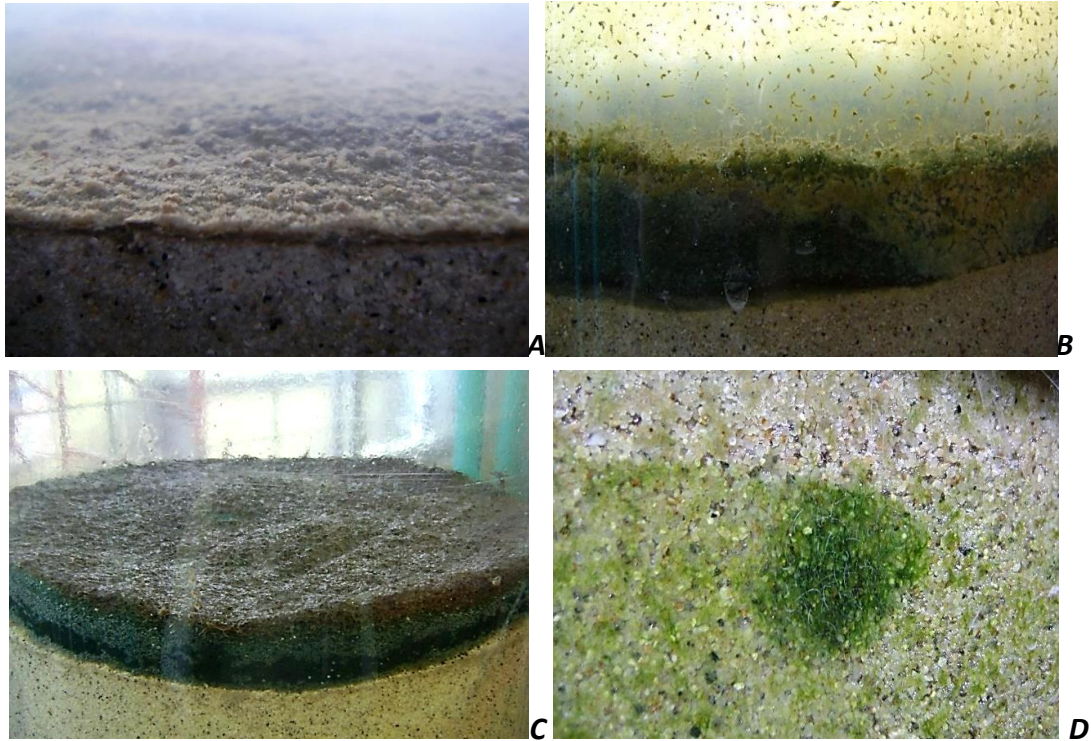


Figura 3.18. Desarrollo de la capa biológica en los SF.

3.3.1. Observación directa de la capa biológica

Según los resultados obtenidos, se puede evidenciar que, a medida que el tiempo transcurre, la capa biológica va madurando y el número de microorganismos va en aumento. En observación directa de la capa biológica se pudo identificar la diversidad de microorganismos presentes en cada uno de los sistemas de filtración y su variación en el tiempo. En la primera semana de muestreos se observaron e identificaron pocos microorganismos (amebas, paramecios y vorticelas), luego, en las siguientes semanas, hubo un crecimiento de las poblaciones y su número de individuos apreciándose nuevos microorganismos (cianobacterias, *Pinnularia sp.*, *Synedra sp.*, flagelados etc.) En la figura 3.19 se muestra la información recopilada para los diferentes muestreos; esta información es clara y evidencia que a medida que el tiempo transcurre se va dando un cambio en diversidad de la capa biológica presente en cada uno de los sistemas de filtración, apareciendo nuevos microorganismos al transcurrir el tiempo. Es importante mencionar que solo se están reportando las poblaciones observadas directamente en cada muestreo, las que no se nombraron es porque no aparecieron en el muestreo de la fecha indicada en la figura 3.19.

Estos microorganismos pueden ser partícipes de los procesos de descomposición y degradación de MO o nutrientes presentes en las aguas, o por el contrario, pueden ejercer una acción perjudicial en el tratamiento de agua potable. Según varios estudios (Aguilar, 2005; González, Revilla y Prieto, 2009; Peinador, 1999 y Villalobos y Albéndiz, 1996), los microorganismos son buenos indicadores del medio, debido a que ellos responden a ciertas condiciones lo que los lleva a establecerse o desaparecer de él.

Las algas y protozoos de vida libre son organismos que pueden ser indicadores de la calidad del agua; la presencia de determinadas especies de algas en un cuerpo de agua, puede indicar el grado de contaminación en el cual se encuentra. Según Villalobos y Albéndiz (1999), en medios poco contaminados, con altas concentraciones de OD y escasez de MO, se detecta una disminución tanto en el número de especies como en la producción de los organismos fotosintéticos como las algas diatomeas, clorofíceas y ciliados entre otros.

Según información presentada por Vilaseca (2001), las amebas aparecen cuando la carga orgánica es baja. Nótese en la figura 3.19, como al inicio de la carrera de filtración la presencia de amebas es notable y a medida que transcurre el tiempo aumenta la presencia de protozoos ciliados, flagelados y cianobacterias, todos ellos indicadores de aguas con alto contenido de nutrientes y materia orgánica (Villalobos y Albéndiz, 1996). Lo antes mencionado tiene relación con las dinámicas biológicas que ocurren en el lecho filtrante, ya que a medida que la carrera de filtración transcurre, las comunidades de microorganismos van creciendo y madurando. Este crecimiento hace que más MO, adicional a la que posee el agua cruda, se establezca allí, derivada de los procesos de descomposición de la misma capa biológica. Según Villalobos y Albéndiz (1996), en estas condiciones los microorganismos autótrofos se desarrollan apareciendo masas de cianofíceas, diatomeas y algas verdes, que luego al descomponerse generan MO disponible.

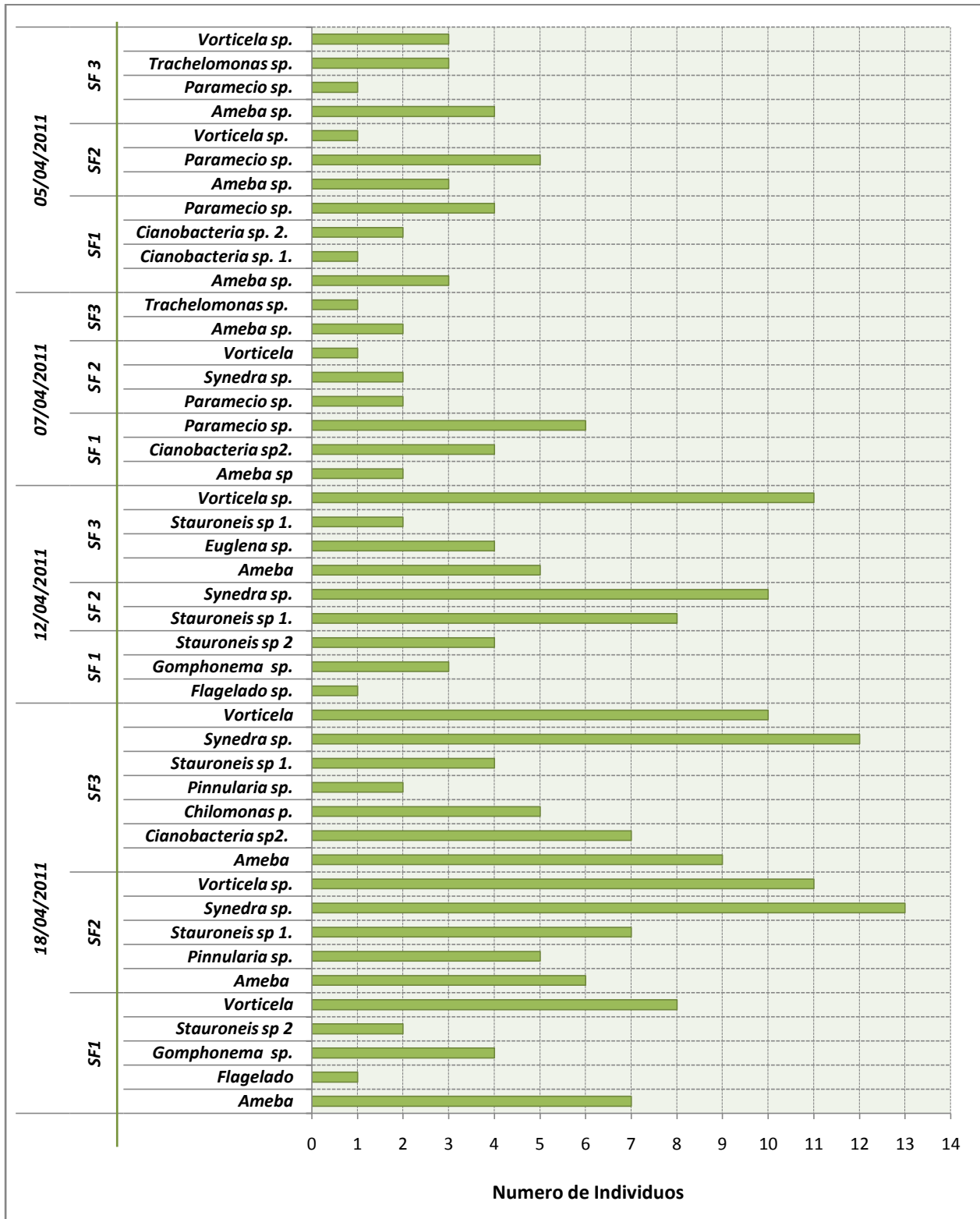


Figura 3.19. Microorganismos identificados en la capa biológica de los SF.

También se evidenció la presencia de rotíferos, que son comunes en aguas con contenidos de materia orgánica. Vilaseca (2001) menciona que los rotíferos se encuentran en sistemas con una estabilización buena y con OD sobrante. Metabolizan partículas sólidas y se alimentan de protozoos y bacterias (depredación), adicionalmente contribuyen a la clarificación del efluente.

La figura 3.20 muestra la composición de microorganismos más comunes en la capa biológica de los filtros evaluados, allí se pueden observar el aporte porcentual de cada una de las poblaciones encontradas. Dentro de las poblaciones más comunes están las algas diatomáceas con un 37%, presentes a lo largo del proceso y en mayor cantidad al final del mismo; dentro de estas se ubican: *Synedra sp.*, *Pinnularia sp.*, *Stauroneis sp.* Y *Gomphonema sp.* Con el 30% de representatividad están los protozoos ciliados, representados en la muestra por *Paremecio sp.* y *Vorticelas sp.*; la *Amebas sp.*, constituye el 19% de la comunidad de microorganismos; las cianobacterias constituyen el 7% del total de la comunidad, las dos especies encontradas no fueron identificadas. Los protozoos flagelados y euglenidos están en menores cantidades, 3 y 4% respectivamente.

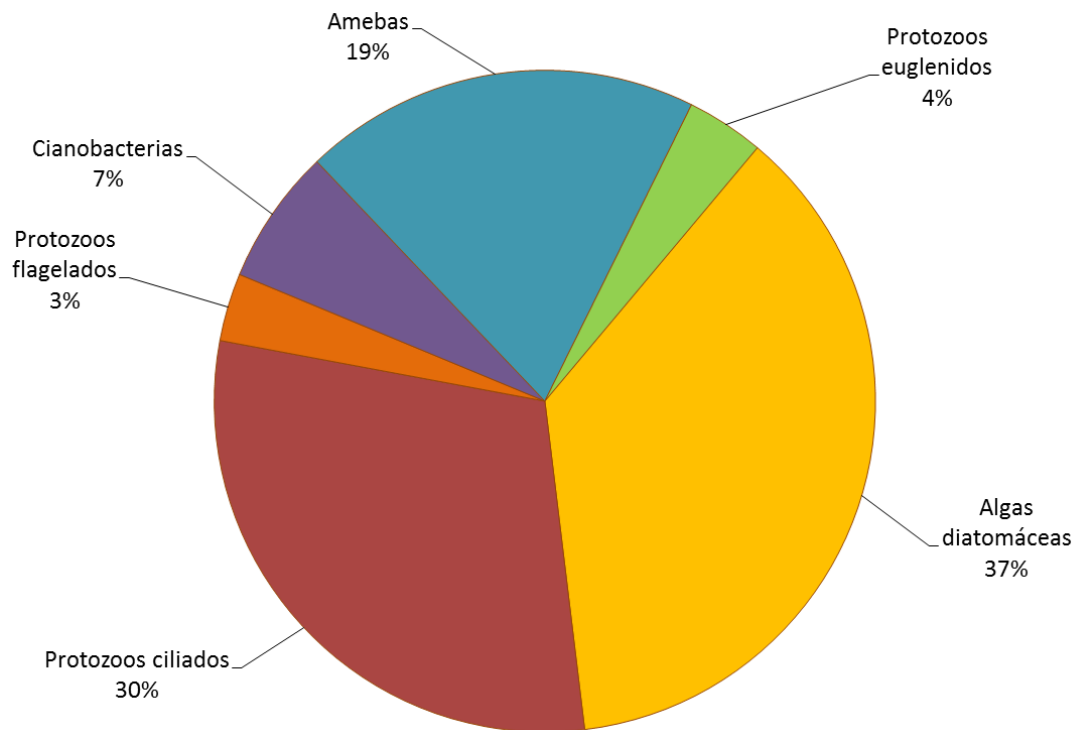


Figura 3.20. Comunidades de microorganismos presentes en la capa biológica de los SF.

Las algas presentes en el lecho filtrante son fundamentales para los procesos de descomposición de la MO que trae el agua cruda. La MO es considerada un precursor de los trihalometanos, si ésta no es removida del agua cruda y luego se aplica cloración como barrera de seguridad al final del tratamiento, se generan reacciones generadoras de estos compuestos cancerígenos. La población de algas más común durante los muestreos fueron las algas diatomáceas.

Según información presentada por Villa y Zea (2006), las algas especialmente las diatomeas, son obturadoras de filtros en las estaciones de tratamiento de agua potable. Esto podría estar relacionado con la colmatación de los SF, ya que al final de cada proceso se puede evidenciar que las poblaciones de algas son las mayores frente a las demás poblaciones presentes. Según Villa y Zea (2006) las diatomáceas causan la obturación de los filtros y por ello se tiene un aumento en la frecuencia del mantenimiento de estos, pasando de 2 o 3 meses de jornadas de filtración a realizar cada 15 días el raspado de la capa superficial usando un caudal de 15L/s; disminuyendo con ello la eficiencia en la producción de agua potable en cuanto a cantidad se refiere. Según Cánepa (1992), cuando el número de algas es tal que supera la capacidad depuradora de la capa biológica, la relación simbiótica que tiene con los otros microorganismos se rompe.

3.3.2. Seguimiento a la comunidad de mesófilos

En la tabla 3.6 se presentan los resultados promedio del seguimiento de la comunidad de mesófilos en cada uno de los SF a cada una de las tasas evaluadas.

Tabla 3.6. Conteo promedio para la comunidad de mesófilos.

Día	Tasa de 6 m ³ /m ² .día			Tasa de 9 m ³ /m ² .día			Tasa de 12 m ³ /m ² .día		
	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3
1	2092500	1950000	1697500	2900000	2400000	2550000	2025000	2625000	3375000
4	3675000	3600000	3575000	3000000	5500000	3800000	4150000	4725000	3775000
8	7575000	3750000	5575000	5900000	6550000	7900000		5150000	5575000
12	9100000	5650000	10250000	15000000	8450000	15000000			
16	1786000	19000000	64500000	18200000	20000000	35000000			
20		65500000	67000000		51000000	51000000			
24		76500000	74500000						
27		65500000	70750000						
31		52000000	55500000						
35		49000000	44500000						

La figura 3.21 muestra la evolución temporal del crecimiento de la comunidad de mesófilos a las diferentes tasas evaluadas para los SF.

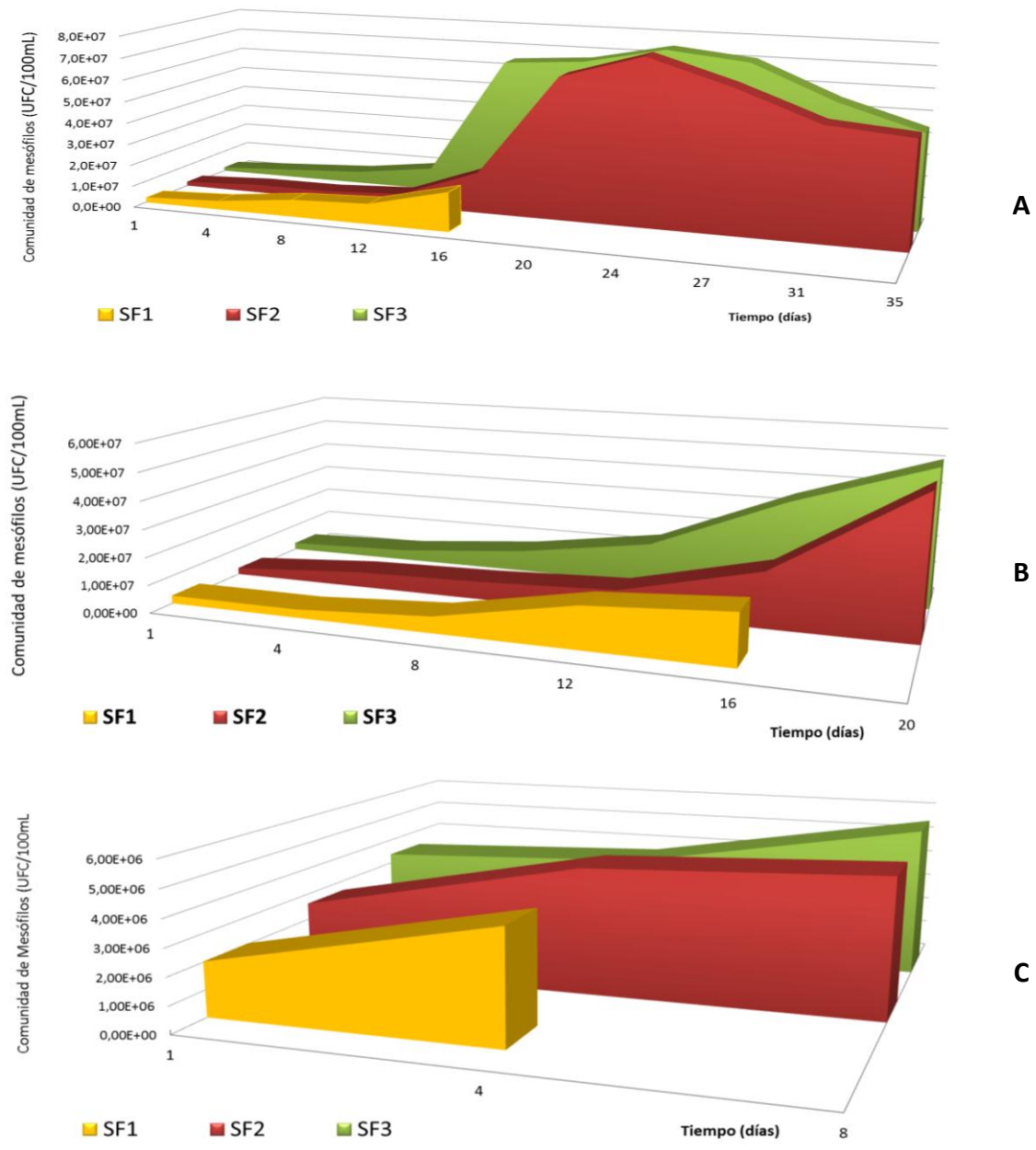


Figura 3.21. Evolución de la comunidad de bacterias mesófilas a la tasa de (A) $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$, (B) $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ y (C) $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$.

La figura 3.21A, a la tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$, muestra como con una mayor carrera de filtración se presenta el mayor número de organismos mesófilos en los SF y es evidente la estabilización de

las comunidades. El crecimiento de las comunidades de mesófilos en los SF a las tasas de 9 y $12\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$ (figuras 3.33B y C, respectivamente), muestra como luego de alcanzar la capacidad de carga la comunidad se mantiene con una tendencia de equilibrio hasta que el sistema de colmata y la carrera de filtración termina. Para las tasas de 9 y $12\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$, el final de la carrera de filtración en un corto periodo de tiempo y la rápida colmatación del filtro a mayores tasas, limita el desarrollo de la biocapa para llegar a la capacidad de carga del sistema y ver la tendencia de equilibrio que se observa en la figura 3.21A.

Según un análisis de contraste múltiple de rangos para la comunidad de mesófilos a las diferentes tasas estudiadas, se encontró que entre las tasas de 12 y $6\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$ existe una diferencia estadísticamente significativa ($p=0,036$), pero que entre las tasas de 6 y $9\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$ no hay diferencia estadísticamente significativa ($p=0,46$). Indica que las comunidades de mesófilos se pueden establecer con igual tasa de crecimiento a la tasa de filtración de 6 y $9\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$.

Analizando los componentes de la varianza, se encontró que los factores: tasa de filtración, lecho filtrante y carrera de filtración influyen en la varianza de las comunidades de mesófilos que se establecen en los SF. En este caso, el factor que contribuye con la máxima varianza corresponde al tiempo de la carrera de filtración, con una contribución del 78,13% del total de la variación, seguido por la tasa de filtración con una contribución del 15,72% y finalmente el lecho filtrante con una contribución a la variación del 6,15%.

De acuerdo con Alves de Brito *et al.* (2005) y Sánchez, Latorre y Galvis (1999b), entre más larga sea la carrera de filtración, mayor será el equilibrio alcanzado en las distintas poblaciones que colonizan el filtro, esto es lo que muestran los resultados de los análisis realizados en la presente investigación.

Es fundamental hablar sobre la maduración de los SF, ya que este parámetro se relaciona con la reducción de la calidad del efluente y el crecimiento de la capa biológica (estudiada con la cuantificación de la comunidad de mesófilos). Según lo reporta Sánchez, Latorre y Galvis (1999a), citando a Collins, Eighmy, Taylor y Malley (1991), la maduración del filtro se refiere a la edad del desarrollo microbiológico de la capa biológica y del medio filtrante, generalmente cuantificado por reducciones en la calidad efluente, medida en términos de turbiedad y contenido bacteriano. Cabe mencionarse que Sánchez, Latorre y Galvis (1999a) encontraron que los coliformes fecales parecen ser mejores indicadores del período de maduración que la turbiedad, pues la turbiedad presenta una mínima variación y los coliformes fecales evidencian mejor el riesgo microbiológico después de la limpieza. Para el presente trabajo se encontraron

los periodos de maduración que se muestran en la tabla 3.7; este periodo de maduración se obtuvo observando los datos obtenidos para cada SF a cada tasa evaluada para los parámetros de turbiedad y *E.coli* e identificando las reducciones en la calidad efluente, como lo mencionan Sánchez, Latorre y Galvis (1999a); el día reportado en la tabla 3.7 corresponde al día en el que se presenta una reducción en la remoción del efluente para los dos parámetros de calidad mencionados anteriormente.

Cabe mencionarse que a la tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, la carrera de filtración se acorta de manera importante lo que hace que el periodo de maduración no sea identificado. Por otro lado, los porcentajes de remoción para turbiedad se mantienen por debajo del 70% y para *E.coli* por debajo del 50%, lo que le atribuye al efluente riesgo sanitario. Según Di Bernardo (1991) y Cleasby (1991), con el fin de poder garantizar agua de bajo riesgo sanitario no se debe superar los 500UFC/100mL para *E.coli* y entre 5 a 10UNT para turbiedad; estos valores son viables para el SF2 y SF3 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

Tabla 3.7. Periodos de maduración encontrados para turbiedad y *E.coli*.

		Turbiedad								
		Tasa de $6\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$			Tasa de $9\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$			Tasa de $12\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$		
SF		SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3
Día		16	11	11	6	12	16	N.I	N.I	N.I
		<i>Escherichia coli</i>								
		Tasa de $6\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$			Tasa de $9\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$			Tasa de $12\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$		
SF		SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3
Día		7	8	7	8	8	8	N.I	N.I	N.I

N.I. No Identificado

Según Alves de Brito *et al.* (2005), la madurez de la capa biológica parece verse menos favorecida al aumentar la tasa de filtración; esto coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que si se observan los resultados obtenidos para la carrera de filtración a la tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, se nota como el crecimiento de los mesófilos es menor a esta tasa en comparación con las demás (tabla 3.6).

Durante el periodo de maduración pueden presentarse menores eficiencias de remoción, lo que a su vez puede generar problemas en el sistema de abastecimiento, por lo que debe tenerse especial cuidado durante esta etapa del proceso y por tanto, se considera indispensable que esta filtración sea complementada con otras técnicas de desinfección o la inclusión de un tratamiento adicional. En la figura 3.22 se evidencia como el lavado del filtro afecta la remoción de *E.coli*. En paralelo se muestran dos carreras de filtración a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ para el

SF2, estableciéndose que al inicio de una nueva carrera de filtración el impacto del lavado sobre la eficiencia de tratamiento es representativo.

Cuando la carrera de filtración está terminando, se presenta una tendencia a la disminución de la remoción de *E.coli*; luego de la limpieza, vuelve a iniciar la carrera con remociones bajas y a medida que el tiempo transcurre, la remoción tiende al aumento de manera proporcional a medida que hay una maduración del lecho filtrante. Con base en los datos experimentales puede decirse que el lavado de los sistemas de filtración hace que la eficiencia de remoción de los diferentes parámetros evaluados disminuya, resultado que es coherente a lo reportado por Bellamy, Hendricks y Logsdon (1985); Collins, Eighmy y Malley (1991); Huisman y Wood (1974); Letterman *et al.* (1985); y Sánchez Latorre y Galvis (1999a).

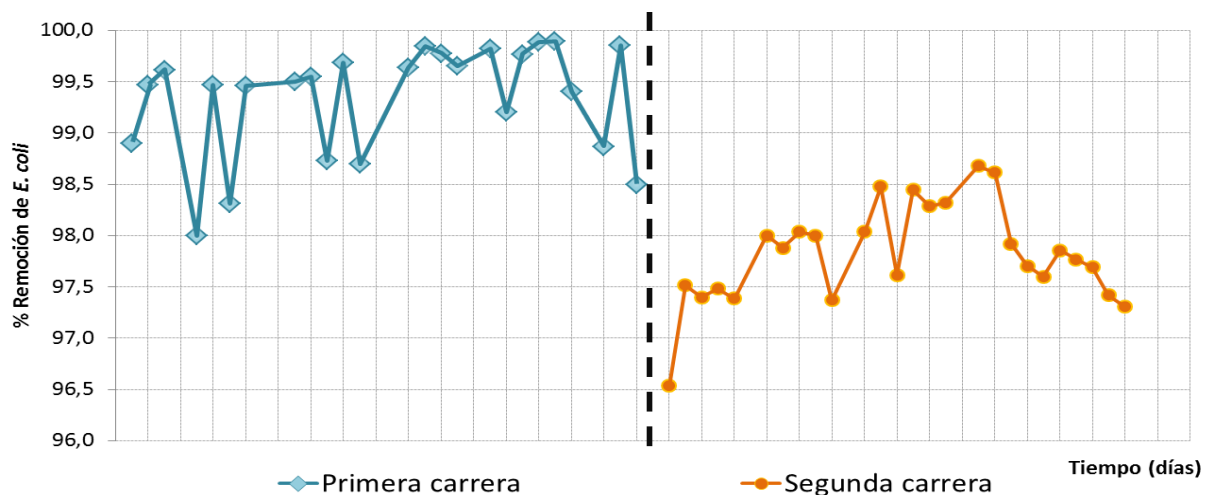


Figura 3.22. Comparación de la dinámica de remoción de *E.coli* para dos carreras de filtración a una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ para el SF2.

Sánchez Latorre y Galvis (1999a) encontraron que al lavar el sistema de filtración, la reducción en la remoción de coliformes fecales llegó hasta 3 unidades logarítmicas (99,9%), mientras que Bellamy, Hendricks y Logsdon (1985) encontraron una reducción de 2 unidades logarítmicas (99,0%). En la presente investigación se encontró que la máxima reducción de *E.coli* para los SF2 y SF3 fue de 3 unidades logarítmicas (99,9%), comparándose con las investigaciones antes descritas e indicando que el uso de mantas sintéticas en los sistemas de filtración lenta son una alternativa a tener en cuenta, ya que ayudan a que la remoción de patógenos como *E.coli* se vea favorecida.

3.4. Evaluación de la influencia de la luz solar en el proceso de tratamiento

Se realizó un ensayo para identificar si la luz solar es una variable que genera cambios en el proceso de filtración en los filtros evaluados. Se realizaron los mismos análisis que se han descrito previamente para la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, por tener esta tasa una buena respuesta para remoción de los diferentes parámetros de calidad evaluados. En la tabla 3.8 se presenta un resumen en el cual se pueden observar los estadísticos descriptivos arrojados en la evaluación de los parámetros de calidad medidos a la tasa mencionada.

Tabla 3.8. Eficiencias de remoción promedio para los diferentes parámetros evaluados en ausencia y presencia de luz solar a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

	Presencia de luz solar			Ausencia de luz solar		
	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3
Carrera de filtración (días)	17	35	35	19	37	39
% Remoción de la Turbiedad	81,2	88,4	87,6	71,4	72,6	71,6
% Remoción máx.	94,5	98,7	94,7	76,6	81,3	79,2
% Remoción mín.	60,6	75,8	75,0	66,2	64,3	63,5
Desvest	5,3	5,2	5,7	2,4	5,1	5,2
% Remoción del Color aparente	84,4	91,1	91,1	75,1	78,6	78,2
% Remoción máx.	100,0	100,0	100,0	84,1	91,7	90,5
% Remoción mín.	67,7	78,0	80,0	63,8	66,7	66,7
Desvest	13,1	9,7	9,5	5,0	7,1	7,6
% Remoción COT	54,1	51,7	49,6	37,7	32,0	38,3
% Remoción máx.	71,4	68,6	71,2	45,6	49,3	64,1
% Remoción mín.	23,2	17,1	33,8	27,2	12,0	19,6
Desvest	3,6	4,3	4,1	8,1	7,7	5,6
% Remoción de <i>E. coli</i>	97,2	98,3	98,1	98,4	97,6	97,4
Remoción de <i>E. coli</i> (Log)	1,7	2,1	2,0	1,6	1,7	1,6
% Remoción máx.	99,1	99,9	99,9	99,0	98,8	98,1
% Remoción mín.	97,0	98,0	93,6	96,9	95,1	95,9
Remoción máx. (Log)	3,0	3,1	3,1	2,4	2,0	1,9
Remoción mín. (Log)	1,3	1,6	1,2	1,2	1,2	1,3
Desvest	1,0	1,1	1,3	0,5	0,7	0,5

3.4.1. Evaluación del tiempo de colmatación en los sistemas de filtración

Se observa en la tabla 3.8 como los tiempos de colmatación (carrera de filtración) se alargan cuando los sistemas están en ausencia de luz solar. Los SF1, SF2 y SF3 que tenían una carrera de 17, 34 y 35 días, respectivamente, en presencia de luz solar, pasaron a 19, 37 y 39 días, respectivamente, en ausencia de luz solar. Esto pudo haber sucedido porque en presencia de luz solar el crecimiento de algas a nivel del lecho filtrante es mayor (según observación directa) lo que a su vez puede llegar a generar que los intersticios del lecho filtrante se colmaten con mayor rapidez y así la carrera de filtración se acorta.

3.4.2. Evaluación de la eficiencia de remoción de turbiedad y color aparente

Según los resultados obtenidos para la turbiedad en presencia y en ausencia de luz solar, se realizó una estimación buscando determinar si la luz es un parámetro que genere cambios en la remoción de la turbiedad de los SF evaluados. Para realizar este análisis se tomaron los resultados obtenidos para la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ y el SF2 únicamente. En la figura 3.23 se observa la variación temporal para el porcentaje de remoción de la turbiedad, tanto en presencia como en ausencia de luz solar, observándose mayor remoción en presencia de ésta. La diferencia entre ambas mediciones muestra como la variable luz afecta la remoción de turbiedad, presentándose mejores resultados cuando los SF están en presencia de luz solar.

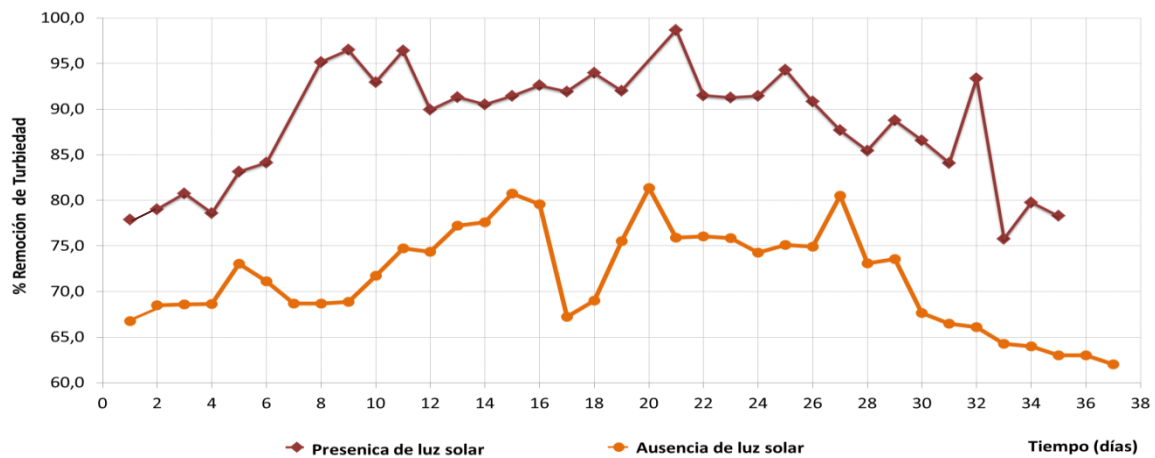


Figura 3.23. Remoción de turbiedad en presencia y ausencia de luz solar en el SF2.

Estadísticamente, luego de realizar una comparación entre los resultados obtenidos en presencia y ausencia de luz solar para el SF2 a la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, se obtuvo que la presencia de luz solar sí es un parámetro que puede afectar la remoción de turbiedad, ya que hay diferencia estadísticamente significativa entre las dos variables ($p=0,000035$); lo anterior se presenta en el figura 3.24 en la que se puede ver las medianas de las dos muestras y la varianza de los datos. Las cajas de bigotes muestran que el valor medio del porcentaje de remoción de turbiedad del 88,4% en presencia de luz solar es mayor que en ausencia de luz solar cuyo promedio fue del 72,6%. Para explicar esta diferencia, se cree que por la acción de la luz solar se presenta un mayor crecimiento de algas en el lecho filtrante y recíprocamente un mayor crecimiento de bacterias mesófilas (numeral 3.4.5); así, los poros del lecho presentan mayor tortuosidad para las partículas de materiales coloidales que viajan con el afluente, por tanto mayor cantidad de éstos coloides se van quedando atrapados en el lecho filtrante; allí los mecanismos de remoción como el cernido, intercepción y adhesión se ven favorecidos. Esta

hipótesis aplica tanto para la remoción de turbiedad como de color aparente, pues ambos parámetros se relacionan con el material coloidal presente en el agua cruda.

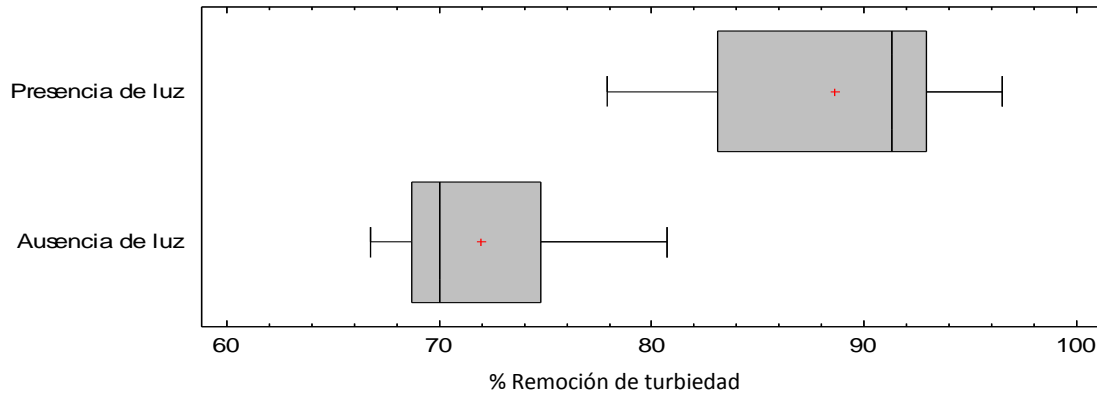


Figura 3.24. Dispersión de los datos de remoción de turbiedad en presencia y ausencia de luz solar en el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$.

Al igual que con la turbiedad, el color aparente es un parámetro que se ve influido por la presencia de luz solar en el SF, esto se puede observar en el figura 3.25 en la que se encontró que existe mejor remoción cuando el SF2 se encuentra sometido a luz solar que en ausencia de la misma. En presencia de luz solar se alcanza para el SF2 un porcentaje de remoción promedio del 91.1%, mientras que en ausencia de la misma el porcentaje de remoción de color aparente promedio es del 78,6%. Es de resaltar que en ausencia de luz solar no se alcanza la remoción de color aparente del 100,0% como se logró alcanzar en los ensayos realizados en presencia de luz solar.

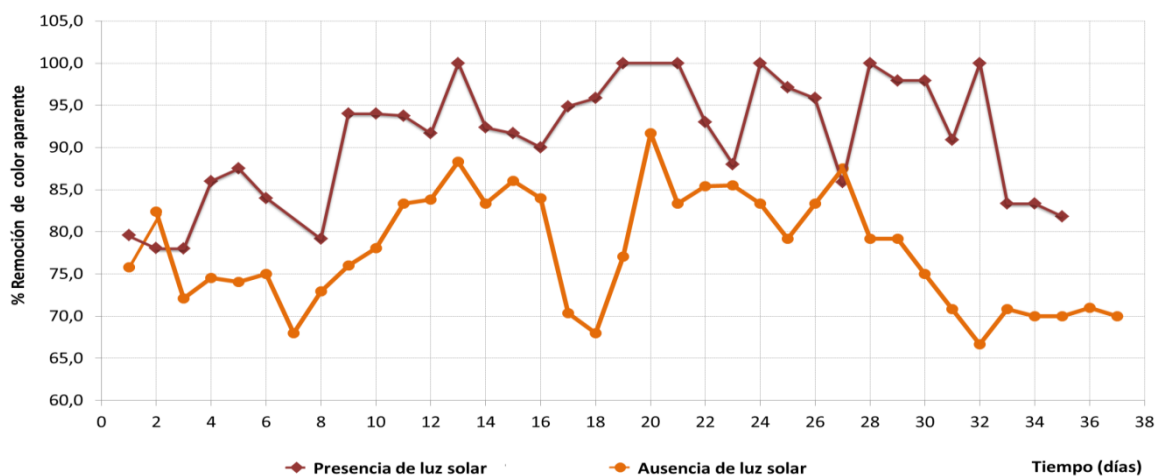


Figura 3.25. Remoción de color aparente en presencia y ausencia de luz solar para el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{día}$.

Estadísticamente, mediante un análisis de varianza se obtuvo que existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos para el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ en presencia y ausencia de luz solar ($p=0,00027$). En la figura 3.26, se puede identificar la dispersión de la remoción de color aparente tanto en presencia como en ausencia de luz solar; la tendencia de la mediana en presencia de luz solar es hacia la derecha lo que indica que la mayoría de los resultados están por encima de la media (92%). La remoción de color aparente en presencia de luz solar supera en un 12,5% la remoción de este parámetro en ausencia de luz solar para el SF2 a la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

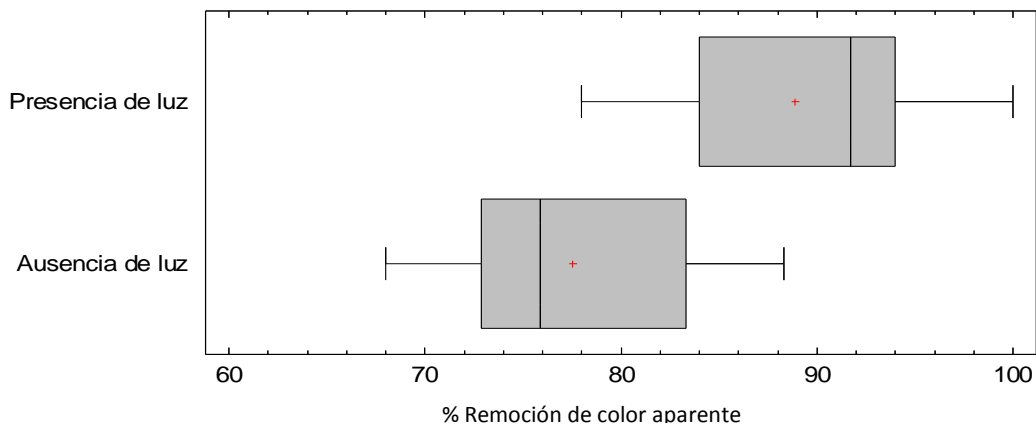


Figura 3.26. Dispersión de los datos de remoción de color aparente en presencia y ausencia de luz solar en el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

3.4.3. Evaluación de la eficiencia de remoción de Materia Orgánica (MO)

La luz solar es una variable que influye en la remoción de MO presente en el agua; esto se puede observar en la figura 3.27. Nótese como, cuando el SF2 está en ausencia de luz solar, el promedio del porcentaje de remoción de MO como COT es del 32%, mientras que si el SF2 está en presencia de luz solar éste porcentaje de remoción puede aumentar en promedio hasta un 50%. Según lo anterior, se considera que la luz solar es un factor determinante para el buen funcionamiento del filtro, ya que al evaluar si existe una diferencia estadísticamente significativa realizando un análisis de varianza para el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ en presencia y ausencia de luz solar, se encontró que sí existen diferencias significativas ($p=0,000015$).

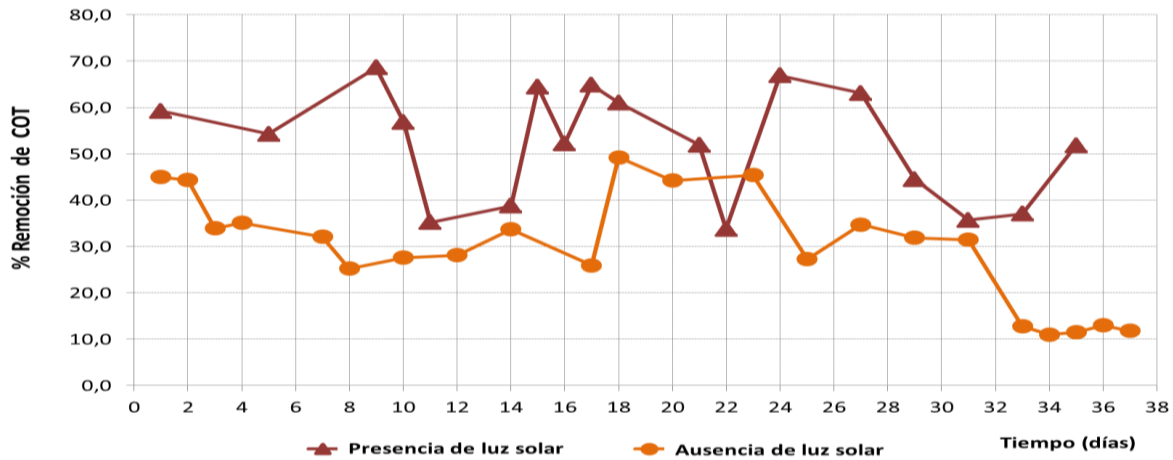


Figura 3.27. Remoción de COT en presencia y ausencia de luz solar a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ en el SF2

3.4.4. Evaluación de la eficiencia de remoción de *Escherichia coli*

Para determinar si la luz solar es una variable que influye en la eficiencia de remoción de *E.coli*, se realizó un análisis de varianza para los resultados arrojados para el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ en presencia y ausencia de luz solar. Se obtuvo que la presencia de luz solar sí es un parámetro que puede afectar la remoción de *E.coli*, ya que hay diferencia estadísticamente significativa entre las dos variables ($p=0,013$). Esto se evidencia en la figura 3.28, en la que se puede ver que las medianas de las dos muestras y la dispersión de los datos tienen tendencias muy diferentes. Las cajas de bigotes muestran que la tendencia de los resultados en presencia de luz solar presenta remociones mayores. En presencia de luz solar la remoción es del 98,3% (2,1Log), mientras que en ausencia de la misma es del 97,6% (1,7Log).

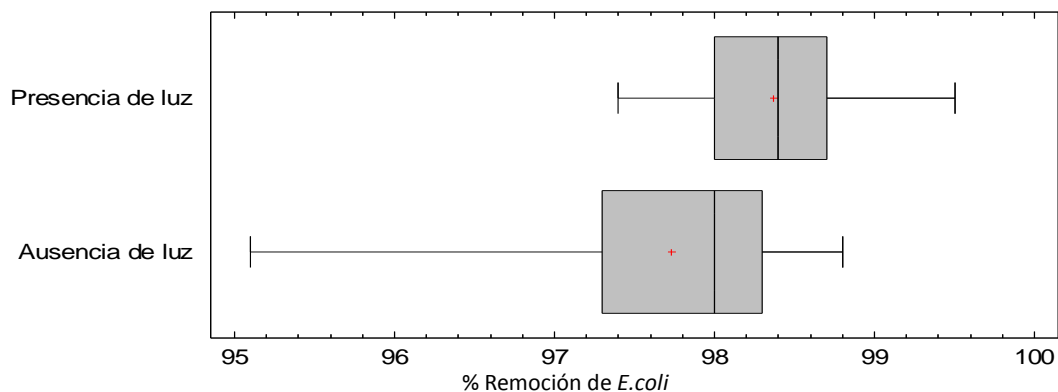


Figura 3.28. Dispersión de los datos de *E.coli* en presencia y ausencia de luz solar en el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

En el figura 3.29 se presenta la variación en el tiempo del porcentaje de remoción de *E. coli* en presencia y ausencia de luz solar para el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Se puede observar que la remoción en presencia de luz solar está por encima que cuando ésta se limita.

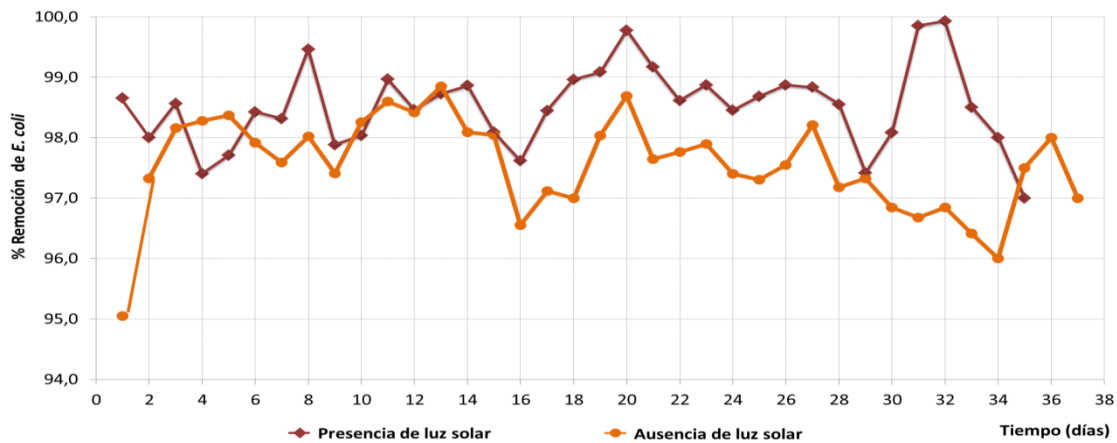
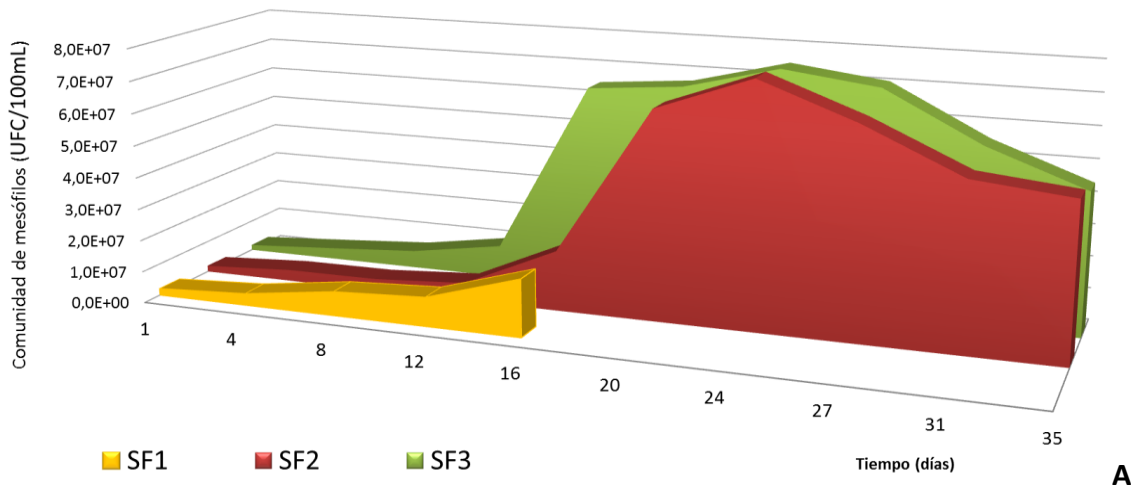


Figura 3.29. Remoción de *E.coli* en presencia y ausencia de luz solar en el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

3.4.5. Seguimiento a la comunidad de Mesófilos

El seguimiento a la comunidad de mesófilos se realizó al muestrear las colonias en la superficie del lecho filtrante de cada uno de los sistemas de filtración evaluados. La figura 3.30 muestra la variabilidad de los resultados obtenidos para la comunidad de mesófilos en presencia y ausencia de luz solar para cada uno de los sistemas de filtración evaluados a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.



A

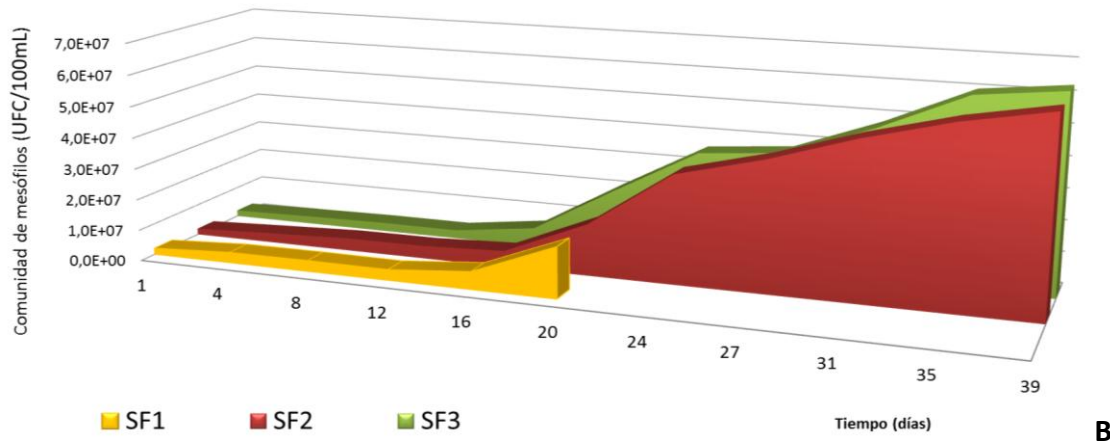


Figura 3.30. Evolución de la comunidad de bacterias mesófilas para los SF evaluados a la tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ en (A) presencia de luz solar y (B) ausencia de luz solar.

A manera de resumen se presenta en la tabla 3.9 los resultados para el muestreo de la comunidad de mesófilos.

Tabla 3.9. Conteo para la comunidad de mesófilos en presencia y ausencia de luz solar.

Día	Presencia de luz solar			Ausencia de luz solar		
	SF1	SF2	SF3	SF1	SF2	SF3
1	2092500	1950000	1697500	1992500	1990000	1992500
4	3675000	3600000	3575000	3330000	3050000	2450000
8	7575000	3750000	5575000	3450000	4025000	2775000
12	9100000	5650000	10250000	3350000	4125000	2750000
16	18000000	19000000	64500000	5605000	5225000	6100000
20		65500000	67000000	16200000	16500000	21250000
24		76500000	74500000		34750000	35750000
27		65500000	70750000		41500000	38000000
31		52000000	55500000		50000000	48000000
35		49000000	44500000		57000000	60000000
39					62000000	63000000

Luego de realizar una comparación estadística entre los resultados obtenidos en presencia y ausencia de luz solar para el SF2 a la tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ se obtuvo que la presencia de luz no es un parámetro que puede afectar la comunidad de mesófilos, ya que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las dos variables según análisis de varianza ($p=0,31$). Sin embargo, aunque no haya diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, es evidente en la figura 3.31 cómo es la distribución de los resultados para cada uno de los ensayos

realizados, y para los ensayos en presencia de luz solar se obtiene que la comunidad de mesófilos posee un mayor número de unidades formadoras de colonia por mililitro, en promedio de $3,78 \times 10^7$ UFC/mL, mientras que en ausencia de luz solar el promedio de crecimiento es de $2,18 \times 10^7$ UFC/mL.

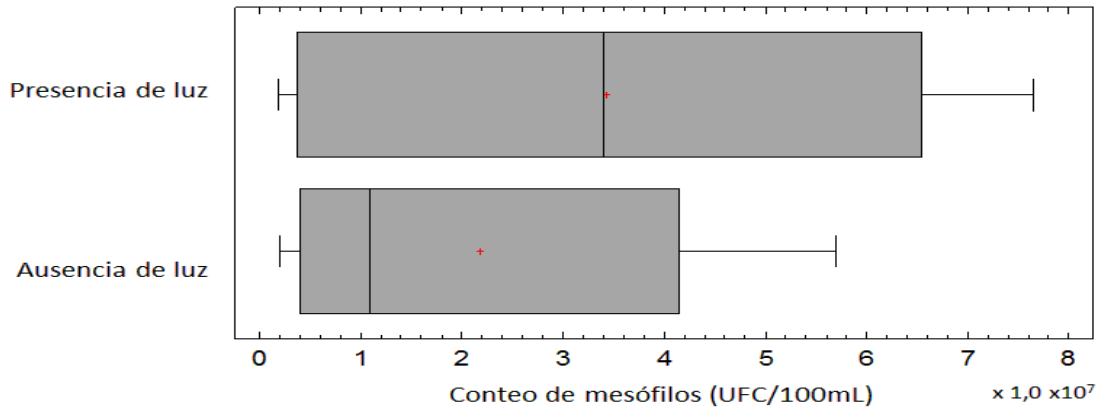


Figura 3.31. Dispersión de los datos de mesófilos en presencia y ausencia de luz solar en el SF2 a una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$.

3.4.6. Análisis de la concentración de Oxígeno Disuelto –OD– en la superficie del lecho

La medición de este parámetro se realizó *in situ*, el seguimiento del OD se realizó en la superficie del lecho filtrante de cada uno de los SF, encontrándose una variación para los resultados de OD en presencia de luz solar. Como se observa en la figura 3.32, en presencia de luz solar el OD presente en la superficie del lecho filtrante del SF2 a una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ es mayor que en ausencia de luz solar.

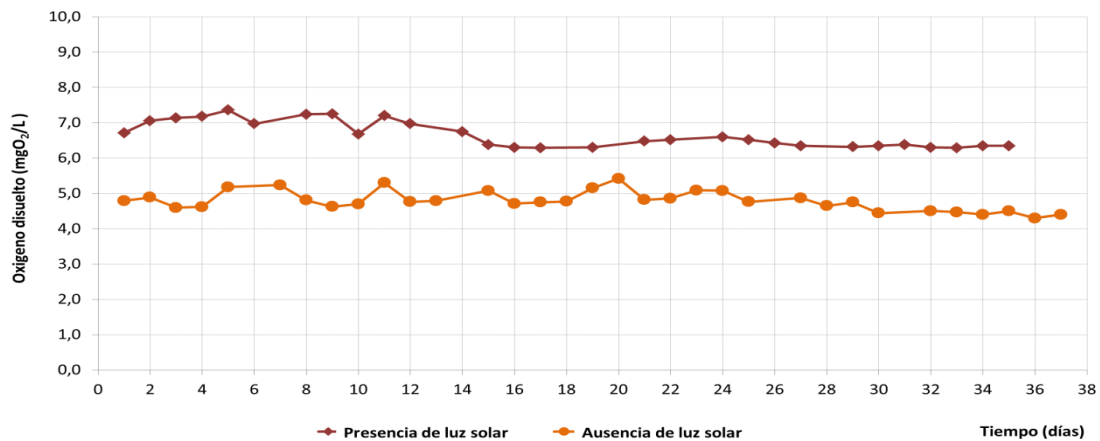


Figura 3.32. Variación del OD en presencia y ausencia de luz solar en el SF2 a una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$.

Ahora, realizando un análisis de varianza para la concentración de OD en presencia o ausencia de luz solar (figura 3.33), se obtuvo que la diferencia es estadísticamente significativa entre las dos variables ($p=0,000056$), lo que significa que la cantidad de OD presente en el lecho filtrante depende de la cantidad de luz solar que pueda llegar al SF. Esto puede estar relacionado con el crecimiento de algas al interior de los filtros ya que el crecimiento de algas depende de la luz solar, se supone que ha mayor luz solar mayor crecimiento de algas y por mayor producción de oxígeno por medio de procesos fotosintéticos. Lo anterior indica que las algas que crecen al interior de los filtros pueden oxigenar el agua.

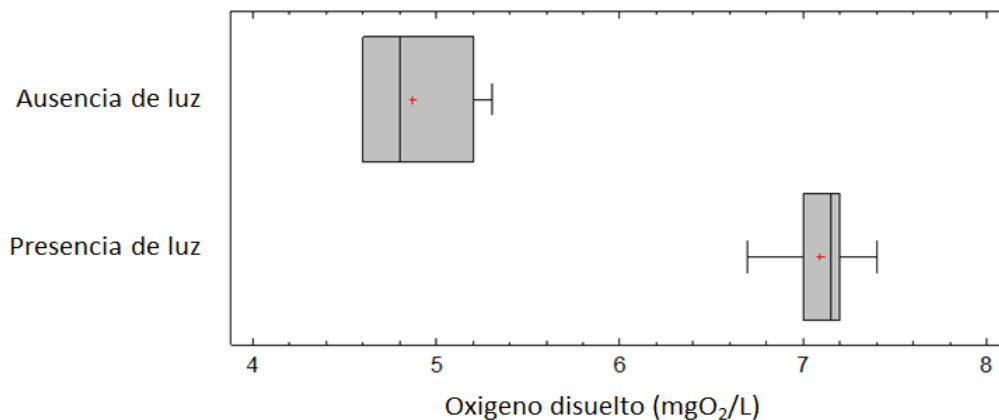


Figura 3.33. Dispersión de los datos de OD en presencia y ausencia de luz solar en el SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

3.5. Evacuación técnica y económica

3.5.1. Evaluación técnica

La evaluación técnica está fundamentada en los análisis de resultados presentados en los numerales 3.1 y 3.2 del presente documento.

3.5.2. Evaluación económica

Para la evaluación económica de los sistemas propuestos sólo se tendrán en cuenta los costos de inversión inicial o costos mínimos, no se tendrán en cuenta los costos de funcionamiento compuestos por costos de operación, costos de mantenimiento y costos de administración. Sin embargo, es importante hacer una descripción de todos los costos asociados a los sistemas de FLA; con base en información presentada por Naranjo (2009), en la tabla 3.10 se describen los componentes de los costos generales de inversión y funcionamiento en los sistemas de

potabilización para tener un panorama de lo que se debe tener en cuenta para un análisis de costos completo.

Tabla 3.10. Componentes de los costos generales de inversión y funcionamiento en sistemas de potabilización.

COSTOS	DESCRIPCIÓN	
COSTOS DE INVERSIÓN	Costos de inversión inicial	Costos de la construcción física de los sistemas de potabilización. Dentro de estos se incluyen los costos relacionados con: estudios preliminares; construcción, administración-imprevistos y utilidad –AIU–, interventoría, conservación y manejo de cuenca, y desarrollo o fortalecimiento institucional.
	Costos de inversión futura	Costos de las inversiones futuras, las que deben de ejecutarse con el objetivo de alcanzar el horizonte de proyección del proyecto, cubriendo el crecimiento de la demanda. Están incluidos costos similares a los considerados en la inversión inicial.
	Costos de reposición	Costos relacionados con el reemplazo de las instalaciones o algunos de sus componentes, una vez terminada su vida útil.
	Costos de depreciación	Costos asociados a la pérdida del valor que sufre la inversión en bienes percederos por causa de los años de servicio.
	Costos de financiación	Costos del financiamiento de la inversión que puede ser adoptada como uno de los métodos para proveer fondos para la construcción del proyecto.
	Costos ambientales	Costos ocasionados por la mitigación del impacto sobre el ambiente durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento del sistema de potabilización
COSTOS DE FUNCIONAMIENTO	Costos de operación	Costos de mano de obra, insumos químicos, energía eléctrica y actividades de control de la calidad del agua y del proceso de tratamiento, necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema.
	Costos de mantenimiento	Costos de mano de obra, mantenimiento de equipos y energía eléctrica, necesarios para el mantenimiento de las instalaciones y equipos que conforman el sistema de potabilización.
	Costos de administración	Costos del personal administrativo y gastos generales necesarios para la sostenibilidad del sistema de potabilización y, en general, del sistema de abastecimiento.

Fuente: Tomada de Naranjo, “Desarrollo de un Sistema Compacto de Potabilización” (2009), quien lo adaptó a partir de información presentada por Aristizábal y Galvis “Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua” (2000).

Compartiendo lo que menciona Naranjo (2009) y Revollo, Ramírez y Manjarrés (2008), el análisis de costo mínimo se transforma en una herramienta para seleccionar una alternativa desde una perspectiva netamente económica, ya que en estos proyectos los beneficios son difíciles de cuantificar pues son esencialmente sociales al estar relacionados con disminución de enfermedades, mejoramiento del nivel de vida, entre otros, y pueden considerarse equivalentes cuando se desea evaluar diferentes alternativas de tratamiento para un sistema de potabilización.

Para determinar los costos asociados a la construcción de cada uno de los SF se realizó un supuesto. Para esto se diseñó una planta de filtración lenta como la que se observa en las figuras 3.34 y 3.35. La planta de tratamiento supuesta ha sido diseñada para trabajar con un caudal de tratamiento de 12L/s, con el fin de abastecer diariamente a una población de 6,912 habitantes. El agua fluye a través de las válvulas de control de entrada hasta los vertederos de ingreso, de allí se dirige a las dos unidades de filtración en paralelo (figura 3.35) donde el agua, por medio de un proceso de filtración descendente, atraviesa el lecho filtrante cuyas características se describen en la tabla 3.11. A través del falso fondo, el agua filtrada es dirigida a la cámara de agua tratada donde finalmente se procede al proceso de cloración como barrera de protección contra los patógenos que puedan haber pasado el proceso de filtración. Finalmente, el agua tratada es distribuida a la comunidad.

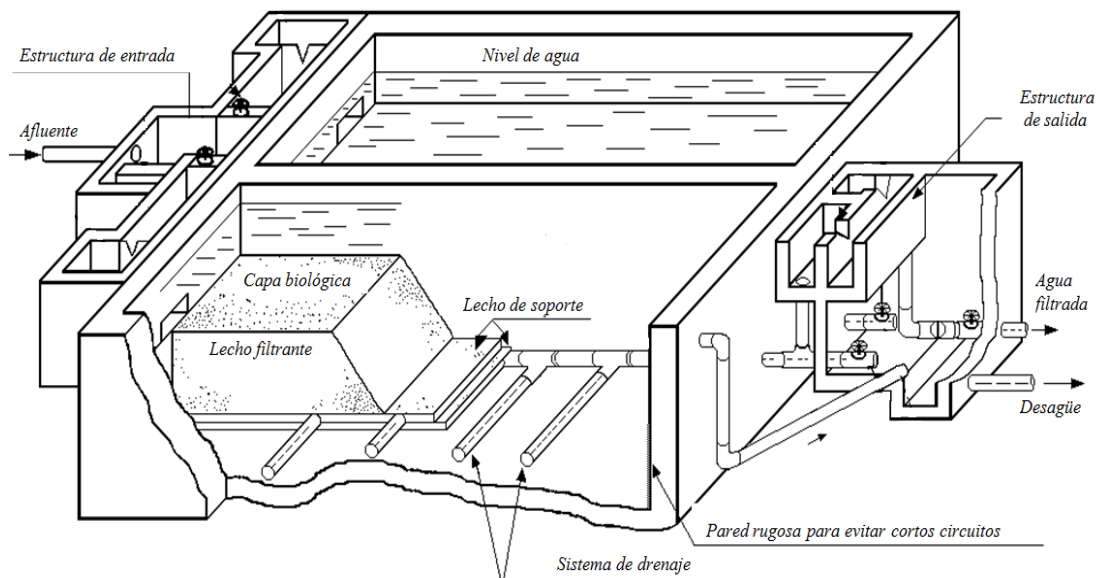


Figura 3.34. Planta de filtración lenta propuesta para la evaluación económica.

Fuente: Tomado de Sánchez, "La Tecnología de Filtración en Múltiples Etapas, para el Suministro de Agua Potable en el Sector Rural, Avances y Perspectivas" (2010).

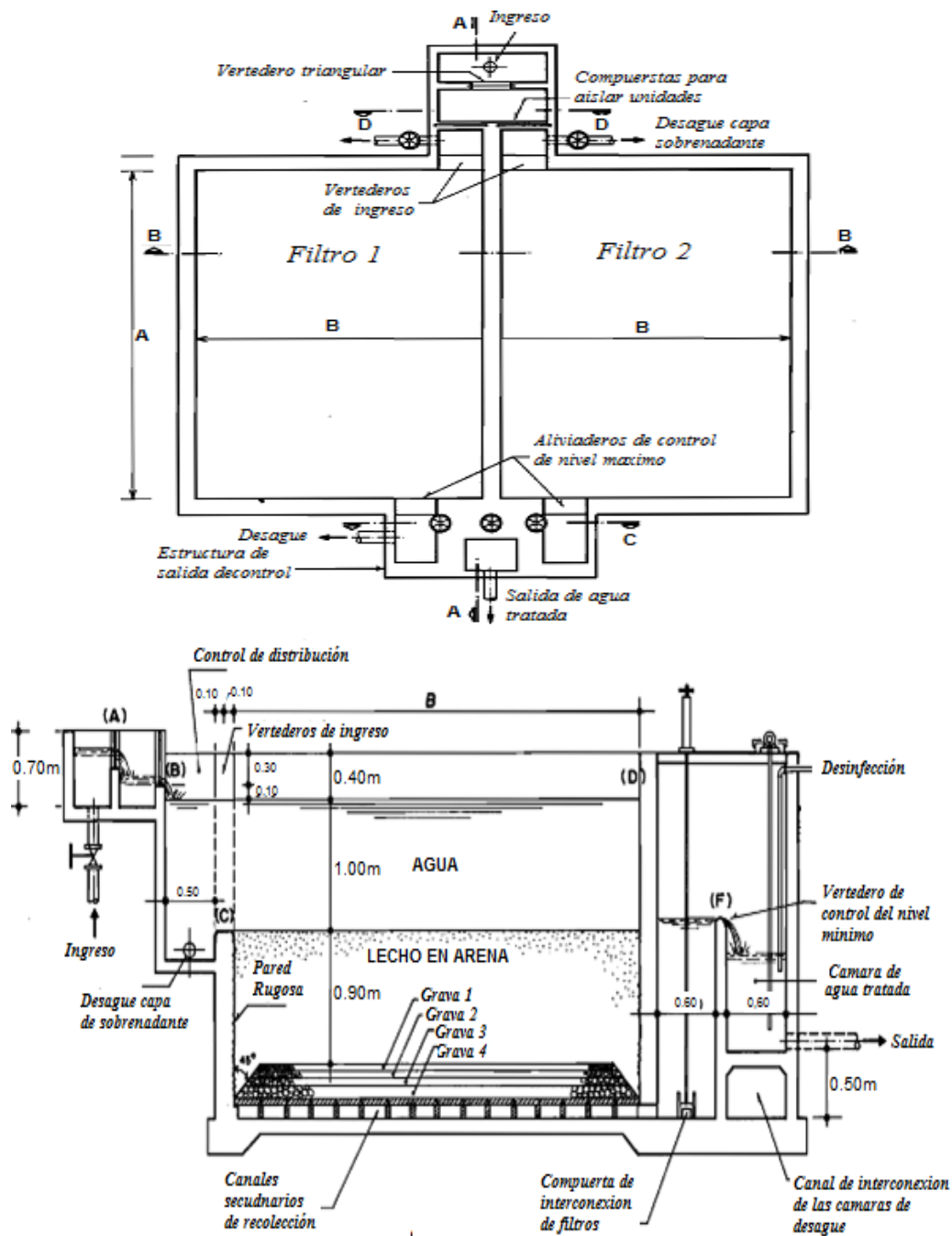


Figura 3.35. Vistas lateral y en planta del sistema de tratamiento propuesto para la evaluación económica.

Fuente: Modificada a partir de la información presentada por Cánepa "Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración Lenta, Manual II, Diseño" (1992).

En la tabla 3.11 se realizó un resumen de las principales características del sistema de filtración lenta propuesto.

Tabla 3.11. Características de las unidades de filtración propuestas para el análisis de costos.

Características	SF1	SF2	SF3
Tasa de filtración (m ³ /m ² .día)	6,0		
Velocidad de filtración (m/h)	0,25		
Caudal tratado (L/s)	12,0		
Área superficial del filtro (m ²)	86,4		
Periodo de operación (h/día)	24,0		
Dotación diaria (L/habitante.día)	150,0		
Población abastecida (habitantes)	6912		
Conexiones al sistema (viviendas)	1728		
Unidades de filtración	2,0		
Ancho del filtro (m)	3,2		
Largo del filtro (m)	27,0		
Altura total caja del filtro (m)	2,8		
Altura del lecho filtrante (m)	0,90		0,60
Tamaño efectivo lecho filtrante(mm)	0,35 – 0,45		NA
Altura del lecho de soporte (m)	0,40		0,10
Tamaño efectivo lecho soporte 1 (mm)	13,0 – 19,0		0,10
Tamaño efectivo lecho soporte 2 (mm)	6,4 – 12,7		NA
Tamaño efectivo lecho soporte 3 (mm)	3,2 – 6,4		NA
Tamaño efectivo lecho soporte 4 (mm)	1,4 – 3,2		NA
Borde libre (m)	0,40		

NA: No Aplica.

En función de las dimensiones de las unidades de filtración propuestas, se estimó la cantidad aproximada de materiales que se requieren para su construcción y se multiplicaron por los costos unitarios presentados en la tabla A.2 del anexo 2. Por último se realizó la sumatoria total de los costos para cada sistema de filtración (tabla 3.12).

Tabla 3.12. Costos asociados a cada uno de los sistemas de filtración propuestos a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$

Sistemas de filtración evaluados	Valor total de construcción (pesos)
SF1	230,944,558
SF2	231,298,478
SF3	247,702,517

El análisis aquí presentado se limita a realizar una comparación entre los costos totales de construcción de los tres SF propuestos y que fueron estudiados a escala piloto en condiciones de laboratorio. Los resultados están basados en estimaciones, pero se puede identificar que económicamente es el SF1 es el que presenta los costos de construcción más bajos, esto se puede observar en la figura 3.36; el SF3 presenta frente al SF1 un aumento del 6,8%. Con respecto al SF2 este aumenta tan solo en un 0,15% con relación al costo de construcción para el SF1, considerándose que su diferencia no es importante. Por consiguiente, económicamente es viable cualquiera de los SF propuestos, ya que entre ellos no existen diferencias marcadas en costos, el aumento que puede presentar por ejemplo el SF3 con relación al SF1 no se considera representativo (6,8%) debido a la magnitud de la inversión total.

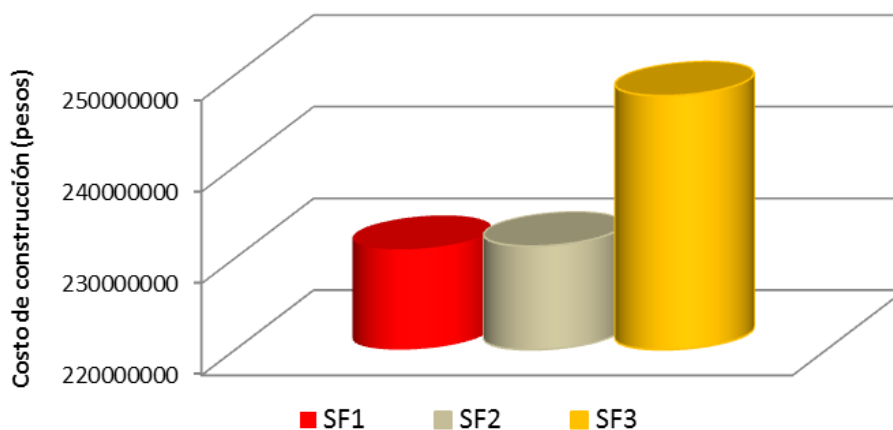


Figura 3.36. Comparación entre los costos de construcción para los diferentes SF evaluados.

De acuerdo a los resultados, el uso de las mantas sintéticas tiende a aumentar los costos de construcción. Resultados diferentes obtuvieron Fenga y Stipp (2002) al estudiar el uso de mantas sintéticas para la filtración lenta; al realizar el costo comparativo entre las unidades de filtración determinaron que, al usar mantas, los costos tienden a disminuir con relación a los sistemas convencionales. En su investigación mencionan que para un filtro lento convencional,

usando un lecho de soporte en grava y arena limpia y tamizada como lecho filtrante los costos llegan a 2480 U\$, mientras que para el sistema propuesto, compuesto por manta sintética como lecho de soporte, arena gruesa de construcción como lecho filtrante y una manta superpuesta, los costos llegan a solo 420 U\$. Estos resultados se obtuvieron para un sistema con capacidad de abastecimiento para 500 habitantes. La diferencia de costos con relación a la presente investigación puede estar determinada por el tipo de manta sintética usada, el material con que está elaborada, el tipo de producción de la misma y su espesor.

3.5.3. Selección del mejor sistema de filtración a partir del análisis técnico y económico

Con el fin de identificar el mejor sistema de filtración, se realizó un análisis de los resultados, teniendo en cuenta los aspectos técnicos (cumplimiento de la Resolución 2115 de 2007) y económicos de cada una de las unidades de filtración estudiadas en el presente trabajo. Dentro de los aspectos técnicos se tienen en cuenta tres puntos básicos: calidad de agua, tasa de filtración y tiempos de carrera de filtración. Por otra parte, para la evaluación económica únicamente se tuvo en cuenta el costo de construcción de las unidades de filtración, pero es importante considerar que el uso de mantas sintéticas en el lecho filtrante mejora la parte asociada a operación y mantenimiento, de esta manera se generarán cambios en los costos de funcionamiento ya que, según los resultados obtenidos, las carreras de filtración se alargan y por tanto, los costos por mantenimiento del sistema disminuyen.

El SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ presenta buenos resultados de remoción de turbiedad, color aparente, materia orgánica y de *E.coli*; las carreras de filtración que se logran con el SF2 son mayores a las que se pueden obtener con el SF1, que aunque presenta el menor costo de los tres se colmata rápidamente. Por otra parte, el SF3 es comparable con el SF2 en varios aspectos, remueve también turbiedad, color aparente, materia orgánica y *E.coli* de manera importante, tiene carreras de filtración similares a las del SF2, pero el uso de la manta sintética como único lecho filtrante aumenta los costos de inversión inicial.

Cabe mencionarse que para la remoción de turbiedad y color aparente es más beneficioso el SF2 a la tasa de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, ya que las remociones de estos parámetros son eficientes y comparables con el SF3 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Para el manejo de los microorganismos patógenos como *E.coli*, determinantes en la calidad del agua se puede clorar como se hace habitualmente como control, de ahí que el sistema no debe necesariamente que alcanzar el 100% de la remoción de este parámetro. Como beneficio al aumentar la tasa es posible disminuir el área de filtración y así la inversión económica; sin embargo, el tiempo de carrera de filtración si es diferente, este pasa de 35 días para la tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ a 20 días para la tasa

de $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$. Aunque no se realizó un análisis económico de la etapa de operación y mantenimiento de los SF, se puede decir que al tener que realizar mantenimiento en menos tiempo al sistema de filtración pueden aumentar los costos en esta etapa y adicionalmente, generar que estos salgan de funcionamiento mientras se limpian lo que puede poner en riesgo el abastecimiento de la comunidad.

De esta manera, después de realizar el análisis técnico (capítulo 3) y económico de los SF evaluados se llega a la conclusión de que el SF2 es el más viable para el tratamiento de agua, ya que muestra mejores resultados para la remoción de los diferentes parámetros evaluados (tabla 3.5). Cabe mencionarse que el SF3 compite con el SF2 en todos los parámetros, a excepción de la remoción de turbiedad donde es más eficiente el SF2. De resto compite con la remoción de color aparente, materia orgánica y remoción de *E.coli* y la diferencia económica entre ambos es de solo el 6,6%, aumento que no se considera importante con relación a la inversión de construcción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Buscando aumentar la eficiencia en el mantenimiento de los sistemas de filtración lenta y optimizar los sistemas de filtración, se propuso el uso de mantas sintéticas no tejidas en los sistemas de filtración lenta. El uso de mantas sintéticas a nivel superior del lecho filtrante de arena y como sustituto del lecho filtrante de arena es eficiente. Las modificaciones realizadas en el diseño convencional de sistemas de filtración lenta en arena llevan al aumento de la eficiencia del sistema, pudiendo desarrollar carreras de filtración más largas, e inclusive, es posible reducir el ancho del lecho filtrante.

Luego de realizar una caracterización a la manta no tejida de polyester usada en la investigación se encontró por medio del método directo que esta posee una porosidad del 93% y por medio del método de adsorción de BET que esta posee un área superficial del $3,9\text{g}/\text{m}^2$. Las demás características como punto de fusión (238°C), diámetro medio de la fibra ($39,6\mu\text{m}$), peso específico ($1,4\text{g}/\text{cm}^3$) y peso de la manta ($818\text{g}/\text{m}^2$) fueron reportadas por el proveedor de la manta Enka de Colombia.

Al realizar la evaluación, se encontró que los filtros que usan mantas sintéticas (SF2 y SF3) presentan carreras de filtración más largas y operan con mayores eficiencias de remoción para los parámetros evaluados a una tasa de filtración de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; alcanzando carreras de filtración de hasta de 35 días para ambos SF, remociones para turbiedad hasta de 98,7% y 94,7% para el SF2 y SF3 respectivamente, color aparente hasta del 100% para ambos, remoción de MO hasta del 68,6 y 71,2% respectivamente y de máximo un 99,9% ($3,1\text{Log}$) *E. coli* para ambos.

La tendencia es clara, si se aumenta la tasa de filtración, la eficiencia en la remoción de todos los parámetros evaluados disminuye y las carreras de filtración se acortan por la rápida colmatación del lecho filtrante. Por ejemplo, para el SF3 la carrera de filtración se acorta, pasa de 35 días a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ a 10 días a una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, acortándose la carrera en un 71,4%. A una tasa de $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ los parámetros de remoción de estudio fueron mucho menores que a las tasas de 6 y $9\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; por ejemplo, comparando los resultados para el SF3 a las tasas de 6 y $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, se encontraron remociones para turbiedad hasta de 94,7% y 67,89% respectivamente, color aparente hasta del 100% y 81,7%, remoción de MO hasta del 71,2% y 48,8% respectivamente y de *E. coli* del 99,9% y 56,8% para ambos. Lo antes

mencionado corrobora lo que el RAS (2000) recomienda técnicamente, ya que éste solo acepta tasas de filtración que estén entre intervalos de 2,4 a 7,2m³/m².día para los sistemas de FLA; posiblemente porque a tasas mayores a 7,2m³/m².día los sistemas se tornan ineficientes en la remoción de los parámetros fisicoquímicos y porque la carrera de filtración disminuye.

Según los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas, se considera que la luz solar es un parámetro que puede tener influencia en los resultados. Se obtuvieron mejores resultados para la remoción de turbiedad, color aparente, *E.coli* y MO en presencia de luz solar, ya que al realizar un análisis estadístico en cada uno de los casos se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Adicionalmente, los resultados obtenidos muestran que en presencia de luz solar la concentración de oxígeno disuelto en los SF es mayor y esto se puede explicar desde el crecimiento de las algas. Al haber presencia de luz solar hay mayor crecimiento de algas y a su vez mayor cantidad de oxígeno liberado por el proceso fotosintético de las algas al interior del SF. La cantidad de algas presentes en los SF no se cuantificó, pero al observar los SF diariamente se identificó que existe mayor crecimiento de algas en presencia de luz solar.

Al realizar el seguimiento a la capa biológica se encontró que su crecimiento es mayor cuando las carreras de filtración fueron largas como en los SF2 y SF3. Adicionalmente la mayor porosidad de la manta sintética (93%) en relación con la de la arena (44% -suministrada por el proveedor) permite que las comunidades de mesófilos se establezcan mejor allí. Se encontró que la capa biológica va creciendo y se va diversificando a medida que la carrera de filtración transcurre y aparecen diferentes microorganismos que son indicadores del proceso que ocurre al interior del lecho.

Desde la parte económica se puede concluir que la diferencia entre los sistemas es mínima, económicamente es viable cualquiera de los SF propuestos, ya que entre ellos no existen diferencias marcadas en costos, el aumento que puede presentar por ejemplo el SF3 con relación al SF1 no se considera representativo (6,8%) debido a la magnitud de la inversión total, entre SF1 y SF2 la diferencia es del 0,15% y entre SF2 y SF3 del 6,6%. Pero debe mencionarse que el uso de las mantas sintéticas tiende a aumentar los costos de construcción. Se puede decir entonces, que el aumento de costos es mínimo con relación al aumento de la eficiencia del sistema, ya que si se usa la manta (SF2) se aumenta la carrera de filtración y la remoción fisicoquímica y microbiológica del agua tratada frente al sistema convencional (SF1), teniendo únicamente un incremento económico del 0,15%.

Cabe mencionarse que el SF3 compite con el SF2 en todos los parámetros, a excepción de la remoción de turbiedad donde es más eficiente el SF2. De resto es comparable con la remoción

de color aparente, materia orgánica y remoción de *E.coli* y la diferencia económica entre ambos es de solo el 6,6%, aumento que no se considera importante con relación a la inversión de construcción.

Finalmente, el SF2 es el que ha arrojado tanto técnica como económicamente los mejores resultados se logra obtener el 95% del tiempo un efluente con color aparente menor de 15UPC y turbiedad menor a 2UNT; cumpliendo la norma nacional para calidad de agua (Resolución 2115 de 2007). Con relación a *E.coli* la norma establece que para aguas de consumo debe haber 0UFC/100mL, se concluye que ninguno de los sistemas a las diferentes tasas evaluadas arrojó estos resultados, por eso es importante la barrera de desinfección al final del proceso de tratamiento. De esta manera, los resultados muestran que a una tasa de filtración de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ para el SF2 se dan los mejores resultados en comparación a las otras tasas de 9 y $12\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$, alcanzando con una carrera de filtración de 35 días remociones para turbiedad de 98%, color aparente del 91%, materia orgánica del 72% y de *Escherichia coli* de 99% (3,1Log). Cabe mencionarse que hay congruencia con la recomendación del RAS (2000) donde se plantean tasas hasta de $7,2\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$; la tasa que presenta mejores resultados está por debajo de la recomendación para los sistemas de FLA.

Definitivamente, el uso de mantas sintéticas no tejidas en los sistemas de filtración lenta para la potabilización es eficiente, las carreras de filtración se alargan y la remoción para algunos de los parámetros evaluados aumenta. Comparando por ejemplo la remoción del SF1 frente al SF2 a una tasa de $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ se encontró que la carrera de filtración se alarga hasta en un 51,4% en el SF2, la remoción de turbiedad aumenta en un 8,2% en el SF2, la remoción de color aparente aumenta en un 7,4% para el SF2, la remoción de M.O por el contrario, es mayor para el SF1 en un 5,0% y la remoción de *E.coli* aumenta en un 1,1% para el SF2 que posee manta sintética no tejida. Ahora, la sustitución total del lecho granular convencional por uno de manta sintética no tejida presenta buenos resultados y debe ser evaluado en campo para evaluar su viabilidad. Aunque cabe resaltar que los resultados de la presente investigación muestran que el SF2 se ajusta más a lo buscado ya que los costos obtenidos son menores con relación al SF3.

A través de esta investigación se ha identificado que la manta no tejida de polyester usada ha dado buenos resultados y que mejora la eficiencia del proceso de filtración.

RECOMENDACIONES

En investigaciones posteriores se debe estudiar el uso de mantas sintéticas no tejidas en sistemas reales, para verificar si los resultados son replicables y si el proceso de filtración verdaderamente se optimiza. La única manera de validar el uso de mantas sintéticas en los sistemas de filtración lenta es por medio de su aplicación en sistemas de abastecimiento.

Debe profundizarse en la investigación del uso de mantas sintéticas ya que a pesar de que la investigación arrojó resultados positivos, es necesario estudiar otros aspectos del tipo hidráulico que por causa de tiempo no fueron contemplados en este proyecto. En este sentido es necesario realizar una evaluación hidráulica completa del sistema de filtración con el uso de mantas sintéticas.

Según los resultados obtenidos, se tienen mejor respuesta al usar la manta de manera superficial, por tanto, es necesario centrarse en el estudio de las mantas sintéticas sobre el lecho filtrante de arena, disminuyendo el lecho de arena y buscando además aumentar las tasas de filtración. Podría pensarse en aumentar el grosor de las mantas a fin de poder disminuir el espesor del lecho de arena y así optimizar recursos.

Estudiar mantas sintéticas no tejidas con costos más asequibles para las poblaciones y que permitan obtener aguas de consumo.

Por otra parte, evaluando la manera en que se realizó el mantenimiento de los sistemas de filtración que usaron manta sintética a escala de laboratorio, surge una inquietud y es el manejo de la manta en condiciones reales. Es necesario desarrollar alternativas que permitan facilitar el uso de mantas sintéticas a escala real, el uso en sistemas de áreas importantes puede generar problemas a la hora de realizar los mantenimientos por colmatación, ya que la manta tendría que ser retirada y lavada fuera del sistema.

Se debe considerar estudiar a profundidad si la presencia de luz solar es un factor influyente en la eficiencia de remoción de parámetros como turbiedad, color aparente, patógenos como *E.coli* y materia orgánica, y en el crecimiento de la capa biológica y la presencia de oxígeno disuelto en el lecho filtrante, ya que aunque se obtuvieron resultados contundentes es prudente

estudiar si esta variable sí constituye un parámetros de importancia para el tratamiento de agua.

Son necesarios estudios en ambientes tropicales enfocados en el desarrollo de la capa biológica en los sistemas de filtración lenta, tanto convencionales como los que usan manta sintéticas, estudiando a fondo su relación con la remoción de los parámetros como materia orgánica por su influencia sobre la generación de precursores de los trihalometanos y la remoción de patógenos como *E.coli* debido a su influencia sobre la salud humana.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- **Aguilar Betancourt, Consuelo.** 2005. *“La Ictiofauna Costera de Ciudad de La Habana: Efectos Acumulativos de Agentes Estresantes Múltiples en Varios Niveles de Organización Biológica”*, Ph.Den Ciencias Biológicas, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- **Alves de Brito, Ludmila; Badaró, Allisson; Pedrosa, Daniella Salvado y Heller, Léo.** 2005. *“Amadurecimento De Filtros Lentos de Areia e Remoção de Microrganismos Indicadores de Qualidade da Água ao Longo da Profundidade do Leito: Uma Avaliação em Instalação Piloto”*. Em: Eng. Sanit. Ambient. [online]. Vol.10, No. 4, Págs. 307-317. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522005000400007&script=sci_abstract. [Acceso: Febrero 15, 2010].
- **American Public Health Association -APHA-. 2005.** *“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”*. American Public Health Association –APHA–, American Water Works Association –AWWA–, American Water Works Association –AWWA–, Water Environment Federation –WEF–, Twentieth Edition, USA.
- **Arango, Maria Cecilia; Álvarez, Luisa Fernanda; Arango, Gloria Alexandra; Torres, Orlado Elí y Monsalve, Asmed de Jesús.**2008. *“Calidad del Agua de las Quebradas La Cristalina y la Risaralda en San Luis, Antioquia”*. En: Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia. No. 9, Págs. 121-141. Disponible en: [http://revista.eia.edu.co/articulos9/121-141%20\(articulo%209\).pdf](http://revista.eia.edu.co/articulos9/121-141%20(articulo%209).pdf) [Acceso: Noviembre 15, 2010].
- **Arboleda Valencia, Jorge.** 2000. *“Teoría y Práctica de la Purificación del Agua”*. Tomo 2. McGraw-Hill Interamericana. Colombia.
- **Aristizábal A., Hernán A. y Galvis C., Alberto.**2000. *“Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización de Agua”*. Memorias Seminario Taller Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad del Agua, Octubre 22-27, Santiago de Cali, Colombia.
- **AWWA - American Water Works Association.** 1999. *“Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies”*. McGraw-Hill, Fifth Edition. USA.
- **Barrenechea Martel, Ada.** 2004. *“Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del Agua, Manual I. Tratamiento de Agua Para Consumo Humano, Plantas de Filtración Rápida”*. Coordinado por Lidia de Vargas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Lima, Perú.
- **Barret, Joy.** 1989. *“Improvement of Slow Sand Filtration of Warm Water by Using Coarse Sand”*. Thesis Doctor of Philosophy, Department of Civil, Environmental and Arquitectual Engineering, University Of Colorado, Denver, USA.

- **Bastos, Rafael; Bevilacqua, Paula; Nascimento, Luis Eduardo; Carvalho, Geisla y Da Silva, Carolina.** 2000. *“Coliformes como Indicadores da Qualidade da Água. Alcance e Limitações”*. Em: 27 Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Descimbre 3-8, Rio de Janeiro, Brasil. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/ii-057.pdf>. [Acceso: Enero 8, 2011].
- **Bauer, Rosalie; Dizer, Halim; Graeber, Ingeborg; Rosenwinkel, Karl-Heinz; López-Pila, Juan M.** 2011. *“Removal of Bacterial Fecal Indicators, Coliphages and Enteric Adenoviruses from Waters with High Fecal Pollution by Slow Sand Filtration”*. In: Water Research, Vol. 45, No. 2, Págs. 439-452.
- **Bellamy, William; Hendricks, David y Logsdon, Gary.** 1985. *“Slow Sand Filtration: Influences of Some Selected Process Variables”*. In: Journal American Water Works Association –AWWA–, Vol.77, No.2, Págs. 62-66, USA.
- **Bergamini, Natália Cedran y Stipp Paterniani, José Euclides.** 2010. *“Benefícios do emprego de mantas não tecidas instaladas no topo da camada de areia de filtros lentos no tratamento de água para pequenas comunidades”*. Em: Rev. Omnia Exatas, Faculdades Adamantinenses Integradas, Vol.3, No.2, Págs. 53-59, Adamantina, Brasil.
- **Bryck, Jack y Sklenar, Jerry.** 1986. *“Slow Sand Filtration for Giardia Lambliia Removal: Village of 100 Mile House”*. In: British Columbia Public Works Association Annual Convention, September 23, Vancouver, Canada, Págs. 1-9.
- **Bryck, Jack.** 1987. *“Giardia Removal by Slow Sand Filtration – Pilot to Full Scale”*. In: Proceedings Sunday Seminar on Coagulation and Filtration: Pilot to Full Scale, Annual Conference of the AWWA, June 14, Kansas, USA.
- **Campos Cintra, Luiza.** 2002. *“Modeling and Simulation of the Biological and Physical Processes of Slow Sand Filtration”*. Thesis Doctor of Philosophy, University of London, London, England. Disponible en: <http://tede.ibict.br/>[Acceso: Marzo 8, 2010].
- **Cánepa de Vargas, Lidia.** 1982. *“Filtros en Arena en Acueductos Rurales”*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>. [Acceso: Marzo 8, 2010].
- **Cánepa de Vargas, Lidia.** 1992. *“Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración Lenta. Manuales I, II y III”*. Programa Regional de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org>. [Acceso: Marzo 8, 2010].

- **Cánepa de Vargas, Lidia.** 2004. *“Tratamiento de Agua para Consumo Humano: Plantas de Filtración Rápida”*. Manual I, Teoría – Tomo 1. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomol/indice.pdf> [Acceso: Abril 22, 2012].
- **Cánepa de Vargas, Lidia.** (S.Fa). *“Plantas de Tratamiento de Filtros Lentos”*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/fulltext/tratagua/lenta/lenta1.html>. [Acceso: Diciembre 5, 2009].
- **Cánepa de Vargas, Lidia.** (S.Fb). *“Filtración Lenta como Proceso de Desinfección”*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen12.pdf>. [Acceso: Diciembre 2, 2009].
- **Castro de Esparza, Luisa María.** 1988. *“Parámetros Físicoquímicos que Influyen en la Calidad y en el Tratamiento del Agua”*. Curso - taller: Control de la Calidad Analítica de Laboratorios. En: Servicio Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado; Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, 14-23 de noviembre, Lima, Perú. Págs.1-37. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan2/019880/019880-00.pdf>. [Acceso: Noviembre 27, 2011].
- **Chará, Julián; Pedraza, Gloria; Giraldo, Lina e Hincapié, Denis.** 2007. *“Efecto de Corredores Ribereños sobre el Estado de Quebradas en la Zona Ganadera del Río La Vieja, Colombia”*. En: Revista Zootecnia Tropical, Vol. 26, No.3, Págs.179 – 182, Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt2603/pdf/pedraza_g.pdf. [Acceso: Noviembre 28, 2009].
- **Cleasby, John L.** 1991. *“Source Water Quality and Pretreatment Options for Slow Sand Filters”*. In: Slow Sand Filtration. Edited by G. Logsdon. American Society of Civil Engineers, Reston, USA. Págs.69–100.
- **Collins, M. Robin; Eighmy, Taylor; Fenstermacher, James y Spanos, Stergios.** 1989. *“Modifications to the Slow Sand Filtration Process for Improved Removals of Trihalomethane Precursors”*. American Water Works Association Research Foundation, Denver, USA.

- **Collins, M. Robin; Eighmy, Taylor y Malley, J. P.** 1991. "*Evaluating Modifications to Slow Sand Filters*". Journal American Water Works Association, Vol. 83, No. 9, September. Págs. 62-70.
- **CORANTIOQUIA - Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia.** 2003. "*Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica de las Quebradas la Clara y la Sucia*". Medellín, Colombia.
- **CORPOURABA - Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá.**2009a. "*Calidad Integral del Agua Superficial en la Micro Cuenca Hidrográfica Antadó*". Medellín, Colombia.
- **CORPOURABA - Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá** 2009b. "*Calidad Integral del Agua Superficial en la Micro Cuenca Hidrográfica Cerrazón*". Medellín, Colombia.
- **Departamento Nacional de Planeación –DNP–.** 2007. "*Planes Departamentales de Agua y Saneamiento para el Manejo Empresarial de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo*". Departamento Nacional de Planeación –DNP–, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Documento Conpes No. 3463, Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://www.dnp.gov.co>. [Acceso: Diciembre 2, 2009].
- **Dijk, J. C. Van y Oomen, J.H.C.M.** 1978. "*Filtración Lenta en Arena para Abastecimiento Público de Agua en Países en Desarrollo: Manual de Diseño y Construcción*". Centro Internacional de Referencia para Abastecimiento Público de Agua, Organización Mundial de la Salud –OMS–, La Haya, Países Bajos. Disponible en: http://bvs.per.paho.org/bvsair/e/repindex/rep187/CDAR/autor_per.html. [Acceso: Diciembre 15, 2009].
- **Di Bernardo, Luiz.** 1991. "*Filtración Lenta en Arena*". En: Seminario Internacional sobre Prefiltración y Filtración Lenta de Aguas de Abastecimiento, Centro de Recursos Hidráulicos y Ecología Aplicada. Sao Carlos, Brasil.
- **Di Bernardo, Luiz y Bojorge, Carolina.**1997. "*Uso de Mantas Sintéticas em Pré-filtros de Pedregulho para Pré-tratamento de Águas de Abastecimento*". Em: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19 Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalhos Técnicos. Rio de Janeiro, Brasil, setiembre 14-19, Págs. 1440-1449. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/prefiltro.pdf>. [Acceso: Septiembre 3, 2011].
- **Di Bernardo, Luiz y Dantas, Ângela.** 2005. "*Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*". Segunda Edição, Editora RiMa. São Carlos, Brasil.

- **Ellis, K.V y Wood, William.**1985. *“Slow sand filtration”*. In: Critical Reviews in Environmental Control –CRC–, Vol. 15, No. 4.January, Págs. 315-354.
- **Fenga, Claudia y Stipp, José Euclides.**2000. *“Eficiência da Filtração Lenta em Areia e Manta Não Tecida no Tratamento de Águas de Abastecimento para Pequenas Comunidades”*.Em:27 Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES-. Porto Alegre, Brasil.Dezembro 3-,Págs. 1-10.
- **Fenga, Claudia y Stipp, José Euclides.**2002. *“Redução da Espessura da Camada Suporte Através da Substituição por Mantas Não-tecidas na Filtração Lenta de Águas de Abastecimento”*. Em:Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 7, No. 1 (Jan/Mar), São Paulo, Brasil, Págs. 8-15.
- **Fernández, Javier; Cruz, Albeiro y Benavides Edwin Jair.** 2006. *“Remoción de Materia Orgánica por Filtración en Múltiples Etapas, una Experiencia en Ambientes Tropicales”*. En: Ingeniería Hoy, No. 24, Págs. 20–27.
- **Fernández, Javier; Galvis, Gerardo; Latorre, Jorge y Visscher, JanTeun.** 1998. *“La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) una Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad del Agua”*. En: Seminario Taller Abastecimiento de Agua y Sostenibilidad AGUA, Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico –CINARA–,Junio 1-12. Santiago de Cali, Colombia.
- **Fernández, Javier; Latorre, Jorge; Berón, Fabiola; Muñoz, Noel y Vargas, Viviana.** 2000. *“Uso de Mantas Sintéticas y Naturales en Filtración Lenta en Arena, una Experiencia en Ambientes Tropicales”*. En: Conferencia Internacional Agua y Saneamiento en Poblaciones Pequeñas y Medianas en el Marco de la Visión Mundial del Agua, Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico –CINARA–, Octubre 16-19. Santiago de Cali, Colombia.
- **Fogel, Doug; Isaac-Reuton, Judith; Guasparini, Roland; Moorehead, William; Ongerth, Jerry E.** 1993. *“Removing Giardia and cryptosporidium by slow sand filtration”*. In: Journal American Water Works Association –AWWA–, Vol 85, No. 11, November. Págs. 77–84.
- **Fox, K.R.; Graham, N.J.D. y Collins, M.R.** 1994. *“Slow Sand Filtration Today: An Introduction Review”*. In: Slow Sand Filtration: An International Compilation of Recent Scientific and Operational Development. Collins, M.R. y Graham, N.J.D. (Eds), American Water Works Association –AWWA–, Págs. 1–8.
- **Galvis, Gerardo.** 1999. *“Development and Evaluation of Multistage Filtration Plants: An Innovative, Robust and Efficient Water Treatment Technology”*. Thesis Doctor of Philosophic, Centre for Environmental Health Engineering –CEHE–, University of Surrey,

Guildford, England. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org>. [Acceso: Diciembre 13, 2009].

- **Galvis, Gerardo; Duque, Ramón; Santacruz, Mario y Visscher, Jean Teun.** 1985. *“Filtración Lenta en Arena, Consideraciones sobre el Uso en el Tratamiento de Aguas Superficiales”*. Revista Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL, Sección Colombiana de AIDI, No. 124, Págs. 19 – 40.
- **Galvis, Gerardo; Latorre, Jorge y Visscher, Jean Teun.**1998. *“Multi-stage Filtration: An Innovative Water Treatment Technology”*. Technical Paper Series, No. 34-E. International Water and Sanitation Centre –IRC–. The Hague, the Netherlands.
- **Gómez, Fabián y Herrera, Melisa.** 2001. *“Evaluación Comparativa de la Operación y Mantenimiento de Filtros Lentos en Arena a Escala Piloto que Utilizan Mantas Sintéticas y Naturales”*. Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico – CINARA-, Universidad del Valle: Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia.
- **González, Isabel Ymas; Revilla, Lleana y Prieto, Dania.** 2009. *“Evaluación de la Contaminación de la Presa Ejército Rebelde, Ciudad de La Habana, Cuba, Mediante el Empleo de Protozoos como Bioindicadores”*. En: Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras, Vol. 26, No.1, Págs. 37-42.
- **Graham, N.J.D. y Collins, M.** 1996. *“Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration”*. John Wiley (Ed). Chichester, UK.
- **Graham, N.J.D; Mbwette, Tolly Salvator y Di Bernardo, Luiz.**1994. *“Fabric Protected Slow Sand Filtration: A review”*. In: Slow Sand Filtration. American Water Works Association - AWWA-(Ed.), USA.
- **Graham, N.J.D. y Mbwette, Tolly Salvator.** 1990. *“Protected Slow Sand Filtration: Specification of Non-woven Synthetic Fabric Layers”*. In: Journal Water Supply, Vol. 9, No. 1, London, Págs.157-164.
- **Groz-Beckert.**2008. Catálogo de productos.Raesfeld, Germany.
- **Herrera, Antonio y Suárez, Paula.** 2005. *“Indicadores Bacterianos como Herramientas para Medir la Calidad Ambiental del Agua Costera”*. En: INCI (Online), Vol. 30, No. 3. Marzo, Págs. 171-176. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/339/33910209.pdf>. [Acceso: Agosto 20, 2011].
- **Herzig, J.P., Leclere, D.M. y Legoff, P.** 1970. *“Flow of Suspensions Through Porous Media – Applications to Deep Filtration”*. In: Journal Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 62, No.5, Págs. 8-35.
- **Huisman, L. y Wood, W. L.** 1974. *“Slow Sand Filtration”*. World Health Organization – WHO–, Belgium. Disponible en: <http://www.who.int>. [Acceso: Diciembre, 2 de 2009].

- **Hurtado, Gustavo.** 1996. *“Costos de Administración, Operación y Mantenimiento en Plantas de Filtración en Múltiples Etapas”*. Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua – CIR; Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable – CINARA –, Universidad del Valle: Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia.
- **Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico –CINARA–.** 2001. *“Modelo Conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua”*. Ministerio de Desarrollo Económico, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- **Ives, K. J.** 1975. *“Capture Mechanisms in Filtration”*. The Scientific Basis of Filtration”. Noordhoff, Leiden.
- **Kumar, Pulin; Seth, Rajesh y Biswas, Nihar.** 2007. *“Performance Evaluation of Fabric Aided Slow sand Filter in Drinking Water Treatment”*. In: Journal Environmental Engineering and Science, Vol. 6, No. 6, Págs. 703-212.
- **Letterman, Raymond.** 1991. *“Filtration Strategies to Meet the Surface Water Treatment Rule”*. American Water Works Association -AWWA-(Ed.), Denver, USA.
- **Lloyd Barry J.** 1996. *“The Significance of Protozoal Predation and Adsorption for the Removal of Bacteria by Slow Sand Filtration”*. In: Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration. Graham N., Collins, R, John Wiley & Sons Ltd. England.
- **Logsdon, Gary; Kohne, R; Abel, S y LaBonde, S.** 2002. *“Slow Sand Filtration for Small Water Systems”*. In: Journal Environmental Engineering and Science, Vol. 1, No. 5, Págs. 339–348.
- **Lozano, William Antonio y Ramírez, Olga Lucia.** 2004. *“Filtración Lenta en Medios Fibrosos como Sustituto de Lechos Granulares”*. En: Revista Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental -ACODAL-, No. 206, Págs. 25-29.
- **Metcalf y Eddy Inc.** 2003. *“Wastewater Engineering: Treatment and Reuse”*. Fourth Edition, McGraw Hill, United States of America.
- **McNair, D.R.; Sims, R.C.; Sorensen, D.L. y Hubert, M.** 1987. *“Schmutzdecke Characterization of Clinoptilolite”*, Amended Slow Sand Filtration. In: Journal American Water Works Association –AWWA–, Vol. 79, No. 12, December, Págs. 74-81.
- **Mbwette, T.Sy Graham, N.J.D.** 1988. *“Improving the Efficiency of Slow Sand Filtration with Non-Woven Synthetic Fabrics”*. In: Filtration and Separation Journal, Vol. 24, No. 1, Págs. 46-50.
- **Mbwette, T.S; Steitieh, M.A.R. And Graham, N.J.D.** 1990. *“Performance of Fabric-Protected Slow Sand Filters Treating a Low land Surface Water”*. Water and Environment Journal, Vol. 4, No. 1, Págs.51–61.

- **Ministerio de Desarrollo Económico.** 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS– “Sección II, título C –Sistemas de Potabilización”. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá, Colombia.
- **Ministerio de protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** “Resolución 2115 de 2007”. 2007. “Por medio de la Cual se Señalan Características, Instrumentos Básicos y Frecuencias del Sistema de Control y Vigilancia para la Calidad del Agua para Consumo Humano”. Bogotá, Colombia.
- **Ministerio de Protección Social y Organización Mundial de Salud (OMS).** 2008. “Indicadores Básicos 2008, Situación de Salud en Colombia”. Bogotá, Colombia.
- **Naranjo Fernández, Darío.** 2009. “Desarrollo de un Sistema Compacto de Potabilización”. Proyecto de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de M.Sc en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Ambiental. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental -GIGA-, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- **Needham, Paul y Needham, James.**1982. “Guía para el Estudio de los Seres Vivos de las Aguas Dulces”. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.
- **Organización Mundial de la Salud –OMS–.** 2004. “Relación del Agua, el Saneamiento y la Higiene con la Salud” Publicación en línea. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/index.html. [Acceso: Junio 23 de 2009].
- **Organización Panamericana de la Salud –OPS–.** 2005. “Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas”. Lima, Perú.
- **Ortega Montero, Adriana.** 1996. “Contribución a la Evaluación de Sistemas de Filtración en Múltiples Etapas con Base en el Análisis de Distribución de Tamaño de Partículas”. Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico –CINARA–, Universidad del Valle: Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia.
- **Pacheco, Victoria.** 2005. “Capítulo 6: Control de calidad”. Plantas de Filtración Rápida, Manual IV - Operación, Mantenimiento y Control de Calidad. Págs.249-282. Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias Ambientales –CEPIS–. Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual4/cap6.pdf>. [Acceso: Noviembre 25, 2011].
- **Peinador, Mariano.** 1999. “Las Cianobacterias como Indicadores de Contaminación Orgánica. Revista Biología Tropical, Vol. 47, No. 3, Págs. 381-391. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0034-77441999000300011&lng=es. [Acceso: Agosto 23, 2011].

- **Pérez Carrión, José M. y Cánepa de Vargas, Lidia.** 1984. *“Guía para Diseño de Plantas de Filtración Lenta para el Medio Rural”*. Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–. Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org>. [Acceso: Noviembre 22, 2009].
- **Pérez, Jorge A.** 1990. *“Manual de Potabilización del Agua”*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Postgrado de Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Minas. Medellín, Colombia.
- **Procesos Innovadores para la Potabilización de Agua en Comunidades Rurales Antioqueñas.** 2009. Trabajo sin publicar asociado al Proyecto de Investigación Expedición Antioquia. Medellín, Colombia.
- **Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable Y Saneamiento Básico-RAS** -.2000. *“Sistemas de Potabilización, Sección II, Título C”*. Ministerio De Desarrollo Económico Dirección De Agua Potable Y Saneamiento Básico. Bogotá, Colombia.
- **Rendón Valencia, Claudia.** 2001. *“Estudio de la Influencia del Uso de Mantas Sintéticas No Tejidas Sobre el Lecho Filtrante en Unidades de Filtración Lenta en Arena”*. Tesis pregrado en ingeniería, Universidad del Valle, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable y Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico –CINARA, Santiago de Cali, Colombia.
- **Restrepo, Mónica y Rincón, Claudia Marcela.** 2009. *“Aproximación a la Caracterización Ecológica de la Quebrada Fucha en la Reserva Forestal de los Cerros Orientales en la Localidad de San Cristóbal”*. En: Revista Bio-grafia: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza, Vol. 2, No. 1, Págs. 96-113. Disponible en: <http://www.pedagogica.edu.co/revistas/ojs/index.php/bio-grafia/article/viewFile/155/135>. [Acceso: Noviembre 20, 2009].
- **Revollo Fernández, Daniel; Ramírez, Juan Andrés y Manjarrés, José Francisco.** 2008. *“Una Primera Aproximación para Cuantificar Beneficios Económicos Asociados a Incrementos en Cobertura y Calidad en el Sector de Acueducto y Alcantarillado en Colombia”*. En: Revista ACODAL, No. 220, Págs. 10-24.
- **Solsona, Felipe y Méndez, Juan Pablo.** 2002. *“Desinfección de Aguas”*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, Organización Panamericana de la Salud –OPS–. Lima, Perú.
- **Sanchez, Luís Darío.** 2010. *“La tecnología de Filtración en Múltiples etapas, para el Suministro de Agua Potable en el Sector Rural (Avances y Perspectivas)”*. Ponencia realizada en el Seminario Agua, Tecnología y Comunidad - Procesos Innovadores para la Potabilización de Aguas en Comunidades Rurales Antioqueñas, Expedición Antioquia 2013, Junio 28, Medellín, Colombia.

- **Sánchez, Luís Darío; Latorre, Jorge y Galvis, Gerardo.** 1999a. “*Período de Maduración: Efecto de la Limpieza de la Biomembrana en un Filtro Lento de Arena*”. *Em*: 20 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maio, Rio de Janeiro, Brasil.
- **Sánchez, Luís Darío; Latorre, Jorge y Galvis, Gerardo.** 1999b. “*Comportamiento de la Población de Algas y Protozoos Después de la Limpieza de la Biomembrana en un Filtro Lento en Arena*”. 20 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maio, Rio de Janeiro, Brasil.
- **Sánchez, Luís Darío; Sánchez, Arlex; Galvis, Gerardo y Latorre Jorge.** 2007. “*Filtración en Múltiples Etapas*”. Documento de Revisión Técnica No. 15, Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico –CINARA–, Centro Internacional de Agua y Saneamiento –IRC–, Delft, Holanda. Disponible en: www.irc.nl. [Acceso: Noviembre, 22 de 2009].
- **Stipp, José Euclides.** 1991. “*Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento*”. Tesis Doctoral bajo la asesoría de Luiz Di Bernardo. Escuela de Ingeniería de Sao Carlos, Universidad de Sao Paulo, Brasil.
- **Sundaresan, B.B, y Paramasivam, R.** 1982. “*Slow Sand Filtration: Research and Demonstration Project*”. National Environmental Engineering Research Institute – NEERI- Nagpur, India.
- **Vargas, Silena; Hincapié, Maria Mercedes; Latorre, Jorge; Galvis, Gerardo y Fernández, Javier.** 1999. “*Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento por Filtración en Múltiples Etapas*”. Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico –CINARA–, Universidad del Valle: Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia.
- **Vergaray, Germán; Méndez, Carmen R.; Morante, Hilda; Heredia Vidalina y Béjar Vilma R.** 2007. “*Enterococcus y Escherichia coli como Indicadores de Contaminación Fecal en Playas Costeras de Lima*”. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica [online]. Vol.10, No.20, Julio/Diciembre. Págs.82-86. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1561-08882007000200011&script=sciarttext>. [Acceso: Agosto 20, 2011].
- **Vilaseca, Maria Mercé.** 2001. “*Observación Microscópica de Fangos Activados en los Tratamientos de Depuración Biológica*”. Boletín Intexter (U.P.C) No. 119. Universidad Politécnica de Catalunya, Págs. 67-72. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/1726/1/TREBALL8.pdf>. [Acceso: Mayo 15, 2010].

- **Villa, Yesid Antonio y Zea, Carlos Mauricio.** 2006. “*Algas como Bioindicadores Causantes de Obturación en los Filtros Lentos de Arena del Corregimiento de Altavista*”. Trabajo de grado para optar al Título de Magíster en Ingeniería Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia. Disponible en: http://www2.epm.com.co/bibliotecaepm/biblioteca_virtual/documents/tesisyesidantoniovilla_TOC.pdf [Acceso: Noviembre 15, 2010].
- **Villalobos, J.A y Albéndiz L. G.** 1996. “*Control Biológico de la Contaminación del Agua*”. Revista Encuentros en la Biología, No. 32. Universidad de Málaga, España. Disponible en: <http://www.contenidos.com/index.html/ecologia/contaminacion-rios-y-lagos>. [Acceso: Abril 11, 2011].
- **Visscher, Jean Teur.** 1990. “Slow Sand Filtration: Design, Operation and Maintenance”. In: Journal American Water Works Association -AWWA-, Vol.82, No. 6, June. Denver, USA, Págs. 67-71.
- **Wegelin, Martin.** 1996. “*Surface Water Treatment by Roughing Filters: A Design, Construction and Operation Manual*”. SANDEC Report, No. 2. Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management. Gallen, Switzerland.
- **Wegelin, Martin; Boller, M. y Schertenleib, Roland.** 1986. “*Particle Removal by Horizontal-flow Roughing Filtration*”. Aqua: Journal of Water Supply and Research and Technology, Vol. 35, No. 3, Págs. 115-125.
- **Yao, K.M; Habibian, M y O’melia, C.** 1971. “*Water and wastewater Filtration: Concepts and Applications*”, In: Journal Environmental Science and Technology, Vol. 5, No. 1. Págs. 105-111.

ANEXOS

ANEXO 1. Resultados del seguimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas.

Tabla A.1.1. Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ en presencia de luz solar.

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
03/03/2010	TUBIDEZ	10,2	0,21	10,1	2,11	3,59	0,13	3,5	3,84	65,2	1,83	0,04	1,805	1,96	82,0	0,53	0,33	0,765	43,44	92,4	
		9,9				3,4					1,78					1					
	COLOR	120	7,07	115,0	6,15	30	7,07	25,0	28,28	78,3	10	0,00	10	0,00	91,3	0	0,00	0	0,00	100,0	
		110				20					10					0					
	T °C	23,2	0,00	23,2	0,00	22	0,00	22,0	0,00		22	0,00	22	0,00		22	0,00	22	0,00		
		23,2				22					22					22					
	PH	7,47	0,08	7,4	1,15	7,2	0,01	7,2	0,20		7,15	0,10	7,08	1,40		7,13	0,08	7,075	1,10		
		7,35				7,18					7,01					7,02					
	COT	3,652				1,043					71,4	1,488				59,3	1,051				71,2
	COLIFORMES	25	0,71	2550	0,03	130	14,14	120	11,79	95,3	32	5,66	28	20,20	98,9	160	7,07	155	4,56	93,9	
		26				110					24					150					
	04/03/2010	TUBIDEZ	9,43	0,54	9,8	5,55	1,18	0,23	1,3	16,89	86,3	1,87	0,09	1,935	4,75	80,3	0,89	0,08	0,945	8,23	90,4
10,2			1,5				2					1									
COLOR		100	14,14	110,0	12,86	0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	7,07	5	141,42	95,5	0	0,00	0	0,00	100,0	
		120				10					0					0					
T °C		24,1	0,00	24,1	0,00	24,1	0,00	24,1	0,00		24,1	0,00	24,1	0,00		24,1	0,00	24,1	0,00		
		24,1				24,1					24,1					24,1					
PH		7,1	0,06	7,1	0,80	7,23	0,08	7,2	1,18		7,3	0,06	7,26	0,78		7,3	0,06	7,255	0,88		
		7,02				7,11					7,22					7,21					
COT																					
COLIFORMES		138	0,00	13800,0	0,00	320	14,14	330,0	0,00	97,6	76	4,24	73	5,81	99,5	40	7,07	35	0,00	99,7	
		138				340					70					30					
05/03/2010		TUBIDEZ	10,06	0,61	9,6	6,31	1,8	0,11	1,7	6,15	82,1	1,21	0,01	1,205	0,59	87,5	1,74	0,04	1,77	2,40	81,6
	9,2		1,65				1,2					1,8									
	COLOR	100	0,00	100,0	0,00	0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0	
		100				0					0					0					
	T °C	23,4	0,00	23,4	0,00	23,3	0,00	23,3	0,00		23,3	0,00	23,3	0,00		23,3	0,00	23,3	0,00		
		23,4				23,3					23,3					23,3					
	PH	7,33	0,04	7,3	0,58	7,23	0,02	7,2	0,29		7,47	0,08	7,41	1,15		7,53	0,09	7,465	1,23		
		7,27				7,2					7,35					7,4					
	COT																				
	COLIFORMES	83	0,00	8300,0	0,00	220	7,07	215,0	3,29	97,4	34	2,83	32	8,84	99,6	60	5,66	56	10,10	99,3	
		83				210					30					52					
	06/03/2010	TUBIDEZ	9,8	0,01	9,8	0,14	2,17	0,08	2,1	4,02	78,4	1,79	0,04	1,82	2,33	81,4	1,17	0,06	1,21	4,68	87,6
9,78			2,05				1,85					1,25									
COLOR		100	0,00	100,0	0,00	10	0,00	10,0	0,00	90,0	0	0,00	0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0	
		100				10					0					0					
T °C		23,7	0,00	23,7	0,00	23,7	0,00	23,7	0,00		23,7	0,00	23,7	0,00		23,7	0,00	23,7	0,00		
		23,7				23,7					23,7					23,7					

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.		
07/03/2010	PH	7,3	0,00	7,3	0,00	7,23	0,06	7,2	0,79		7,3	0,08	7,24	1,17		7,42	0,08	7,36	1,15			
		7,3				7,15					7,18					7,3						
	TUBIDEZ	11,58	0,41	11,3	3,63	3,51	0,22	3,4	6,53	70,3	0,27	0,42	0,565	73,84	95,0	2,18	0,04	2,15	1,97	81,0		
		11				3,2					0,86					2,12						
	COLOR	140	14,14	130,0	10,88	20	0,00	20,0	0,00	84,6	0	0,00	0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0		
		120				20					0					0						
	T °C	23,3	0,00	23,3	0,00	24,7	0,00	24,7	0,00		24,5	0,14	24,6	0,57		24,8	0,00	24,8	0,00			
		23,3				24,7					24,7					24,8						
	PH	7,64	0,10	7,6	1,31	7,17	0,01	7,2	0,20		7,32	0,08	7,26	1,17		7,6	0,06	7,56	0,75			
		7,5				7,15					7,2					7,52						
	COT	4,005				1,605				59,9	1,83				54,3	1,606					59,9	
	COLIFORMES	9	0,71	850,0	0,08	42	1,41	43,0	3,29	94,9	17	0,71	17,5	4,04	97,9	43	9,19	36,5	25,18	95,7		
8		44				18					30											
11/03/2010	TUBIDEZ	11,02	0,06	11,1	0,51	3,31	0,05	3,3	1,48	69,8	0,4	0,13	0,495	27,14	95,5	1,42	0,14	1,52	9,30	86,3		
		11,1				3,38					0,59					1,62						
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	20	0,00	20,0	0,00	83,3	0	0,00	0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0		
		120				20					0					0						
	T °C	24,4	0,00	24,4	0,00	24,4	0,00	24,4	0,00		24,4	0,00	24,4	0,00		24,4	0,00	24,4	0,00			
		24,4				24,4					24,4					24,4						
	PH	7,95	0,06	7,9	0,81	7,16	0,03	7,1	0,40		7,57	0,08	7,51	1,13		7,45	0,11	7,375	1,44			
		7,86				7,12					7,45					7,3						
	COT	4,535				1,462				67,8	1,422				68,6	1,27					72,0	
	COLIFORMES	13	1,41	1400,0	0,10	8	1,41	9,0	15,71	99,4	3	6,36	7,5	84,85	99,5	2	2,12	3,5	60,61	99,8		
		15				10					12					5						
	12/03/2010	TUBIDEZ	10,58	0,08	10,6	0,80	1,34	0,01	1,3	0,53	87,4	0,79	0,02	0,805	2,64	92,4	1,47	0,03	1,49	1,90	86,0	
10,7			1,35				0,82					1,51										
COLOR		120	0,00	120,0	0,00	0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0		
		120				0					0					0						
T °C		25	0,00	25,0	0,00	24,5	0,00	24,5	0,00		24,2	0,00	24,2	0,00		24,4	0,00	24,4	0,00			
		25				24,5					24,2					24,4						
PH		7,32	0,04	7,3	0,48	7,51	0,04	7,5	0,57		7,44	0,03	7,42	0,38		7,42	0,01	7,43	0,19			
		7,27				7,45					7,4					7,44						
COT		3,923				1,521				61,2	1,693				56,8	1,316					66,5	
COLIFORMES		40	0,00	4000,0	0,00	36	0,00	36,0	0,00	99,1	71	4,95	67,5	7,33	98,3	41	6,36	36,5	17,44	99,1		
		40				36					64					32						
13/03/2010		TUBIDEZ	13,06	0,44	12,8	3,44	1	0,00	1,0	0,00	92,2	0,95	0,25	0,775	31,93	93,9	1,36	0,16	1,25	12,45	90,2	
	12,44		1				0,6					1,14										
	COLOR	160	7,07	155,0	4,56	0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0		
		150				0					0					0						
	T °C	25	0,00	25,0	0,00	24,8	0,00	24,8	0,00		24,9	0,00	24,9	0,00		25	0,00	25	0,00			
		25				24,8					24,9					25						
	PH	7,82	0,01	7,8	0,18	7,56	0,04	7,5	0,56		7,6	0,07	7,55	0,94		7,5	0,19	7,365	2,59			
		7,8				7,5					7,5					7,23						

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
	COT	3,093				1,83				40,8	2,004				35,2	1,67				46,0	
	COLIFORMES	14 12	1,41	1300,0	0,11	15 12	2,12	13,5	15,71	99,0	5 9	2,83	7	40,41	99,5	20 34	9,90	27	36,66	97,9	
15/03/2010	TUBIDEZ	9,36 9,41	0,04	9,4	0,38	0,48 0,86	0,27	0,7	40,10	92,9	0,76 0,87	0,08	0,815	9,54	91,3	2,87 2,83	0,03	2,85	0,99	69,6	
	COLOR	120 120	0,00	120,0	0,00	0 0	0,00	0,0	0,00	100,0	0 0	0,00	0	0,00	100,0	20 20	0,00	20	0,00	83,3	
	T °C	24,5 24,5	0,00	24,5	0,00	24,4 24,4	0,00	24,4	0,00		24,4 24,4	0,00	24,4	0,00		24,4 24,4	0,00	24,4	0,00		
	PH	7,5 7,45	0,04	7,5	0,47	7,4 7,36	0,03	7,4	0,38		7,42 7,3	0,08	7,36	1,15		7,4 7,28	0,08	7,34	1,16		
16/03/2010	TUBIDEZ	8,11 8,12	0,01	8,1	0,09	1,27 1,25	0,01	1,3	1,12	84,5	1,13 0,98	0,11	1,055	10,05	87,0	2,18 2,58	0,28	2,38	11,88	70,7	
	COLOR	40 50	7,07	45,0	15,71	10 10	0,00	10,0	0,00	77,8	10 0	7,07	5	141,42	88,9	20 20	0,00	20	0,00	55,6	
	T °C	23,5 23,5	0,00	23,5	0,00	23,8 23,8	0,00	23,8	0,00		23,8 23,8	0,00	23,8	0,00		23,8 23,8	0,00	23,8	0,00		
	PH	7,6 7,54	0,04	7,6	0,56	7,4 7,28	0,08	7,3	1,16		7,18 7,1	0,06	7,14	0,79		7,82 7,8	0,01	7,81	0,18		
	COT	2,317				1,775				23,4	1,419				38,8	1,547				33,2	
	COLIFORMES	34 36	1,41	3500,0	0,04	4 2	1,41	3,0	47,14	99,9	2 3	0,71	2,5	28,28	99,9	8 30	15,56	19	81,88	99,5	
17/03/2010	TUBIDEZ	13,5 14,2	0,49	13,9	3,57						0,67 0,5	0,12	0,585	20,55	95,8	1,85 1,71	0,10	1,78	5,56	87,1	
	COLOR	150 170	14,14	160,0	8,84						0 0	0,00	0	0,00	100,0	20 10	7,07	15	47,14	90,6	
	T °C	24 24	0,00	24,0	0,00						24 24	0,00	24	0,00		24 24	0,00	24	0,00		
	PH	7,82 7,8	0,01	7,8	0,18						7,51 7,45	0,04	7,48	0,57		7,42 7,44	0,01	7,43	0,19		
	COT	3,859									1,372				64,4	1,806				53,2	
	COLIFORMES	25 28	2,12	2650,0	0,08						12 12	0,00	12	0,00	99,5	12 14	1,41	13	10,88	99,5	
18/03/2010	TUBIDEZ	10,25 9,93	0,23	10,1	2,24						0 0,78	0,55	0,39	141,42	96,1	1,81 1,9	0,06	1,855	3,43	81,6	
	COLOR	120 110	7,07	115,0	6,15						0 0	0,00	0	0,00	100,0	10 10	0,00	10	0,00	91,3	
	T °C	23,1 23,1	0,00	23,1	0,00						23,3 23,3	0,00	23,3	0,00		23,3 23,3	0,00	23,3	0,00		
	PH	7,5 7,42	0,06	7,5	0,76						7,17 7,12	0,04	7,145	0,49		7,25 7,16	0,06	7,205	0,88		
	COT	2,525									1,205				52,3	1,676				33,6	
	COLIFORMES	27 28	0,71	2750,0	0,03						38 32	4,24	35	12,12	98,7	22 12	7,07	17	41,59	99,4	

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
19/03/2010	TUBIDEZ	12,5	0,14	12,4	1,14							1,7	0,00	1,7	0,00	86,3	3,24	0,07	3,19	2,22	74,3
		12,3										1,7					3,14				
	COLOR	160	0,00	160,0	0,00							10	0,00	10	0,00	93,8	20	0,00	20	0,00	87,5
		160										10					20				
	T °C	24	0,00	24,0	0,00							23,8	0,00	23,8	0,00		23,8	0,00	23,8	0,00	
		24										23,8					23,8				
	PH	7,64	0,10	7,6	1,31							7,37	0,01	7,36	0,19		7,4	0,04	7,375	0,48	
		7,5										7,35					7,35				
	COT	6,241										2,193					64,9	3,279			
	COLIFORMES	150	0,00	15000,0	0,00							52	6,36	47,5	13,40	99,7	93	4,24	90	4,71	99,4
150		43				87															
20/03/2010	TUBIDEZ	10,5	0,14	12,4	1,14							0,61	0,28	0,415	66,45	96,7	1,23	0,21	1,08	19,64	91,3
		9,82										0,22					0,93				
	COLOR	120	0,00	160,0	0,00							0	0,00	0	0,00	100,0	10	7,07	5	141,42	96,9
		100										0					0				
	T °C	24,5	0,00	24,5	0,00							24,3	0,00	24,3	0,00		24,3	0,00	24,3	0,00	
		24,5										24,3					24,3				
	PH	7,7	0,01	7,7	0,18							7,34	0,01	7,35	0,19		7,67	0,09	7,605	1,21	
		7,68										7,36					7,54				
	COT	3,89										1,515					61,1	3,226			17,1
	COLIFORMES	12	0,71	1150,0	0,06							30	4,95	26,5	18,68	97,7	36	2,83	38	7,44	96,7
11		23				40															
23/03/2010	TUBIDEZ	16,2	0,71	15,7	4,50							0,51	0,36	0,255	141,42	98,4	2,1	0,01	2,11	0,67	86,6
		15,2										0					2,12				
	COLOR	200	7,07	195,0	3,63							0	0,00	0	0,00	100,0	20	0,00	20	0,00	89,7
		190										0					20				
	T °C																				
	PH																				
	COT	3,35										1,61					51,9	1,511			54,9
	COLIFORMES	167	15,56	15600,0	0,10							45	16,26	56,5	28,78	99,6	53	5,66	49	11,54	99,7
		145										68					45				
	24/03/2010	TUBIDEZ	16,23	1,04	15,5							6,71							4,65	2,32	3,01
14,76			1,37			1,8															
COLOR		180	28,28	200,0	14,14	180	28,28	200	14,14	0,0	20	0,00							20	0,00	90,0
		220				220					20										
T °C																					
PH																					
COT		4,547				3,011					33,8	3,24									28,7
COLIFORMES		260	7,07	26500,0	0,03	250	14,14	260	5,44	99,0	45	10,61							52,5	20,20	99,8

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
25/03/2010	TUBIDEZ	270									270					60				
		9,9	0,42	10,2	4,16		0,77	0,46	1,095	41,97	89,3	2,04	0,18	1,915	9,23	81,2				
		10,5					1,42					1,79								
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66		20	7,07	15	47,14	88,0	20	0,00	20	0,00	84,0				
		130					10					20								
	T °C	24,4	0,28	24,2	1,17		24,4	0,28	24,2	1,17		24,1	0,00	24,1	0,00					
		24					24				24,1									
	PH	7,73	0,06	7,7	0,83		7,73	0,06	7,685	0,83		7,66	0,03	7,64	0,37					
		7,64					7,64				7,62									
	COT	3,786					3,786				0,0	5,895				-55,7				
	COLIFORMES	180	10,61	17250,0	0,06		180	21,21	165	12,86	99,0	8	4,24	11	38,57	99,9				
		165					150					14								
26/03/2010	TUBIDEZ	9,86	0,58	9,5	6,14	1,8	0,07	1,85	3,82	80,4	1,19	0,31	1,41	22,07	85,1					
		9,04				1,9					1,63									
		COLOR	90	7,07	95,0	7,44	10	7,07	15	47,14	84,2	10	0,00	10	0,00	89,5				
	100		20				10													
	T °C	24,8	0,00	24,8	0,00	24,8	0,00	24,8	0,00		24,8	0,00	24,8	0,00						
		24,8				24,8				24,8										
	PH	7,75	0,18	7,6	2,32	7,49	0,02	7,475	0,28		7,4	0,00	7,4	0,00						
		7,5				7,46				7,4										
	COT	2,312				0,765				66,9	0,747				67,7					
	COLIFORMES	55	14,14	6500,0	0,22	25	3,54	22,5	15,71	99,7	32	1,41	33	4,29	99,5					
		75				20					34									
	28/03/2010	TUBIDEZ	10,25	0,18	10,4	1,70	0,89	0,15	0,995	14,92	90,4	1,5	0,13	1,41	9,03	86,4				
10,5			1,1				1,32													
COLOR			120	0,00	120,0	0,00	0	7,07	5	141,42	95,8	10	0,00	10	0,00	91,7				
		120	10				10													
T °C		24,4	0,00	24,4	0,00	24,4	0,00	24,4	0,00		24,4	0,00	24,4	0,00						
		24,4				24,4				24,4										
PH		7,6	0,08	7,7	1,11	7,61	0,11	7,53	1,50		7,6	0,08	7,66	1,11						
		7,72				7,45				7,72										
COT																				
COLIFORMES		120	17,68	13250,0	0,13	25	2,12	23,5	9,03	99,8	30	2,83	28	10,10	99,8					
		145				22					26									
29/03/2010		TUBIDEZ	8,96	0,02	8,9	0,24	1,21	0,01	1,215	0,58	86,4	1,04	0,19	0,905	21,10	89,9				
	8,93		1,22				0,77													
	COLOR		100	7,07	95,0	7,44	10	7,07	15	47,14	84,2	10	0,00	10	0,00	89,5				
		90	20				10													
	T °C	24,5	0,00	24,5	0,00	23,6	0,28	23,8	1,19		24,1	0,07	24,05	0,29						
		24,5				24				24										
	PH	7,95	0,46	7,6	6,03	7,31	0,13	7,405	1,81		7,31	9,60	7,38	1,34						
		7,3				7,5				7,45										
	COT	3,876				1,43				63,1	1,428				63,2					

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
30/03/2010	COLIFORMES	140	3,54	13750,0	0,03						120	14,14	110	12,86	99,2	22	5,66	18	31,43	99,9
		135									14									
	TUBIDEZ	10,4	0,49	10,1	4,85		1,75	0,12	1,665	7,22	82,6	0,8	0,42	0,505	82,61	95,0				
		9,71					0,21													
	COLOR	160	28,28	140,0	20,20		0	0,00	0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0				
		120					0													
	T °C	23,5	0,00	23,5	0,00		23,5	0,00	23,5	0,00		23,5	0,00	23,5	0,00					
		23,5					23,5													
	PH	7,72	0,14	7,8	1,81		7,4	0,12	7,315	1,64		7,27	0,03	7,25	0,39					
		7,92					7,23													
COT																				
COLIFORMES	82	5,66	8600,0	0,07	15	7,07	20	35,36	99,8	10	2,83	12	23,57	99,9						
	90				25					14										
31/03/2010	TUBIDEZ	9,51	0,06	9,6	0,59						1,56	0,33	1,325	25,08	86,1	0,8	0,21	0,655	31,31	93,1
		9,59									0,51									
	COLOR	140	21,21	125,0	16,97		0	0,00	0	0,00	100,0	0	7,07	5	141,42	96,0				
		110					0													
	T °C	22,4	0,00	22,4	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00					
		22,4					22,5													
	PH	7,71	0,04	7,7	0,55		7,46	0,02	7,445	0,28		7,52	0,05	7,485	0,66					
		7,65					7,45													
	COT	3,382					1,876					44,5								
	COLIFORMES	120	10,61	12750,0	0,08		15	0,00	15	0,00	99,9	10	0,00	10	0,00	99,9				
135		15				10														
01/04/2010	TUBIDEZ	10,2	0,21	10,4	2,05						1,83	0,11	1,905	5,57	81,6	0,75	0,11	0,67	16,89	93,5
		10,5									0,59									
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00		0	0,00	0	0,00	100,0	0	0,00	0	0,00	100,0				
		120					0													
	T °C	23,4	0,00	23,4	0,00		23,5	0,00	23,5	0,00		23,5	0,00	23,5	0,00					
		23,5					23,5													
	PH	7,9	0,00	7,9	0,00		7,57	0,07	7,52	0,94		7,7	0,11	7,62	1,48					
		7,9					7,54													
	COT																			
	COLIFORMES	30	65,76	7650,0	0,86		8	0,00	8	0,00	99,9	11	6,36	15,5	41,06	99,8				
123		8				20														
02/04/2010	TUBIDEZ	7,31	0,16	7,2	2,26						2,51	0,04	2,535	1,39	64,8	0,99	0,01	0,995	0,71	86,2
		7,08									1									
	COLOR	110	0,00	110,0	0,00		20	0,00	20	0,00	81,8	10	7,07	15	47,14	86,4				
		110					20													
	T °C	25	0,00	25,0	0,00		24,1	0,00	24,1	0,00		24,3	0,00	24,3	0,00					
		25					24,3													
	PH	7,46	0,97	6,8	14,30		6,03	0,33	6,26	5,20		6,1	0,01	6,095	0,12					
		6,09					6,09													

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.		
	COT	3,65									2,347				35,7	1,87				48,8		
	COLIFORMES	20 22	1,41	2100,0	0,07							10 15	3,54	12,5	28,28	99,4	19 21	1,41	20	7,07	99,0	
04/04/2010	TUBIDEZ	8,39 8,36	0,02	8,4	0,25						2,25 2,31	0,04	2,28	1,86	72,8	0,97 1,15	0,13	1,06	12,01	87,3		
	COLOR	90 90	0,00	90,0	0,00							20 20	0,00	20	0,00	77,8	20 10	7,07	15	47,14	83,3	
	T °C	22,5 22,5	0,00	22,5	0,00							22,5 22,5	0,00	22,5	0,00		22,4 22,4	0,00	22,4	0,00		
	PH	7,93 7,45	0,34	7,7	4,41							7,23 7,03	0,14	7,13	1,98		7,02 7,03	0,01	7,025	0,10		
	COT	2,838										1,769					37,7	1,786				37,1
	COLIFORMES	5 18	9,19	1150,0	0,80							18 8	7,07	13	54,39	98,9	9 6	2,12	7,5	28,28	99,3	
	TUBIDEZ	10,21 10,05	0,11	10,1	1,12							2 2,1	0,07	2,05	3,45	79,8	1,25 1,2	0,04	1,225	2,89	87,9	
	COLOR	120 120	0,00	120,0	0,00								20 20	0,00	20	0,00	83,3	10 20	7,07	15	47,14	87,5
	T °C	22,4 22,4	0,00	22,4	0,00								22,4 22,4	0,00	22,4	0,00		22,4 22,4	0,00	22,4	0,00	
	PH	7,69 7,5	0,13	7,6	1,77								7,13 7,4	0,19	7,265	2,63		7,15 7,02	0,09	7,085	1,30	
COT																						
COLIFORMES	20 80	42,43	5000,0	0,85							5 10	3,54	7,5	47,14	99,9	3 5	1,41	4	35,36	99,9		
TUBIDEZ	9,85 10,08	0,16	10,0	1,63							2,3 2,03	0,19	2,165	8,82	78,3	1,2 1,5	0,21	1,35	15,71	86,5		
COLOR	120 100	14,14	110,0	12,86								20 10	7,07	15	47,14	86,4	10 20	7,07	15	47,14	86,4	
T °C	23,3 23,3	0,00	23,3	0,00								23,4 23,4	0,00	23,4	0,00		23,4 23,4	0,00	23,4	0,00		
PH	7,51 7,65	0,10	7,6	1,31								7,2 7,23	0,02	7,215	0,29		7,1 7,05	0,04	7,075	0,50		
COT	3,665										1,765				51,8	2,214					39,6	
COLIFORMES	120 135	10,61	12750,0	0,08							18 8	7,07	13	54,39	99,9	9 6	2,12	7,5	28,28	99,9		
REPLICA - Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de 6 m³/m² día en presencia de luz solar.																						
09/11/2010	TUBIDEZ	11,19 10,58	0,43	10,9		3,96	4,31 5,27	0,68	4,8	14,17	56,0	4,07 3,83	0,17	4,0	4,30	63,7	2,53 2,00	0,00	2,3	0,00	79,2	
	COLOR	140 140	0,00	140,0		0,00	60 60	0,00	60,0	0,00	57,1	50 40	7,07	45,0	15,71	166,3	30 40	7,07	35,0	20,20	75,0	
	T °C	21,5 21,5	0,00	21,5		0,00	22,1 22,1	0,00	22,1	0,00		22,1 22,1	0,00	22,1	0,00		21,8 21,8	0,00	21,8	0,00		

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
	PH	7,75	0,04	7,8	0,55	7,7	0,04	7,7	0,46		7,31	0,05	7,3	0,67		7,4	0,06	7,4	0,87	
		7,81				7,65					7,38					7,31				
	COT																			
	COLIFORMES	15	1,41	1600,0	0,09	60	0,00	60,0	0,00	96,3	30	6,36	25,5	24,96	98,4	110	5,66	106,0	5,34	93,4
		17				60					21					102				
10/11/2010	TUBIDEZ	11,01	0,17	11,1	1,52	3,5	0,19	3,4	5,67	69,8	2,57	0,13	2,5	5,43	77,8	3,14	0,04	3,1	1,36	72,1
		11,25				3,23					2,38					3,08				
	COLOR	140	0,00	140,0	0,00	50	7,07	55,0	12,86	60,7	50	7,07	55,0	12,86	60,7	60	14,14	50,0	28,28	64,3
		140				60					60					40				
	T °C	20,4	0,00	20,4	0,00	21,5	0,00	21,5	0,00		21,4	0,00	21,4	0,00		21,4	0,00	21,4	0,00	
		20,4				21,5					21,4					21,4				
	PH	8,13	0,04	8,1	0,44	7,47	0,08	7,5	1,13		7,6	0,05	7,6	0,65		7,67	0,02	7,7	0,28	
		8,08				7,59					7,53					7,64				
	COT																			
	COLIFORMES	12	4,24	1500,0	0,28	56	9,19	49,5	18,57	96,7	48	5,66	52,0	10,88	96,5	84	7,78	78,5	9,91	94,8
18		43				56					73									
11/11/2010	TUBIDEZ	11,25	0,18	11,1	1,59	3,45	0,05	3,4	1,45	69,3	3	0,16	2,9	5,38	74,0	3,2	0,01	3,2	0,44	71,3
		11				3,38					2,78					3,18				
	COLOR	130	7,07	125,0	5,66	50	0,00	50,0	0,00	60,0	60	7,07	55,0	12,86	56,0	50	0,00	50,0	0,00	60,0
		120				50					50					50				
	T °C	21	0,00	21,0	0,00	21,5	0,00	21,5	0,00		21,4	0,00	21,4	0,00		21,5	0,00	21,5	0,00	
		21				21,5					21,4					21,5				
	PH	7,98	0,13	7,9	1,61	7,87	0,04	7,8	0,45		7,54	0,08	7,5	1,04		7,48	0,06	7,4	0,86	
		7,8				7,82					7,43					7,39				
	COT																			
	COLIFORMES	15	2,12	1650,0	0,13	50	1,41	49,0	2,89	97,0	40	1,41	41,0	3,45	97,5	80	10,61	72,5	14,63	95,6
18		48				42					65									
12/11/2010	TUBIDEZ	10,32	0,05	10,3	0,48	3	0,11	3,1	3,45	70,1	3,11	0,15	3,0	4,94	70,8	2,7	0,16	2,8	5,54	72,7
		10,25				3,15					2,9					2,92				
	COLOR	130	7,07	125,0	5,66	30	0,00	30,0	0,00	76,0	40	7,07	35,0	20,20	72,0	30	0,00	30,0	0,00	76,0
		120				30					30					30				
	T °C	21,8	0,00	21,8	0,00	22	0,00	7,7	0,00		22	0,00	22,0	0,00		21,5	0,00	21,5	0,00	
		21,8				22					22					21,5				
	PH	7,82	0,06	7,9	0,72	7,7	0,06	7,7	0,73		7,5	0,06	7,5	0,75		7,63	0,03	7,7	0,37	
		7,9				7,78					7,58					7,67				
	COT																			
	COLIFORMES	15	0,00	1500,0	0,00	45	0,71	44,5	1,59	97,0	38	1,41	39,0	3,63	97,4	72	1,41	71,0	1,99	95,3
15		44				40					70									
13/11/2010	TUBIDEZ	10,01	0,13	10,1	1,33	3,2	0,01	3,2	0,44	68,4	3	0,14	2,9	4,88	71,3	2,52	0,06	2,6	2,21	74,7
		10,2				3,18					2,8					2,6				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	7,07	25,0	28,28	79,2	30	0,00	30,0	0,00	75,0	30	0,00	30,0	0,00	75,0
		120				20					30					30				
	T °C	21,8	0,00	21,8	0,00	21,6	0,00	21,6	0,00		21,6	0,00	21,6	0,00		21,7	0,00	21,7	0,00	
		21,8				21,6					21,6					21,7				

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
	PH	7,92	0,01	7,9	0,18	7,82	0,02	7,8	0,27		7,7	0,04	7,7	0,46		7,72	0,04	7,7	0,46	
		7,94				7,85					7,65					7,67				
	COT																			
	COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05	45	0,00	45,0	0,00	96,7	30	5,66	34,0	16,64	97,5	60	0,71	60,5	1,17	95,5
		14				45					38					61				
14/11/2010	TUBIDEZ	10,57	0,09	10,6	0,86	2,98	0,05	3,0	1,64	71,7	2,82	0,10	2,8	3,60	74,1	1,7	0,05	1,7	2,97	84,3
		10,7				3,05					2,68					1,63				
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66	20	7,07	25,0	28,28	80,0	20	0,00	20,0	0,00	84,0	20	0,00	20,0	0,00	84,0
		130				30					20					20				
	T °C	21,5	0,00	21,5	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00		22,1	0,00	22,1	0,00		22,1	0,00	22,1	0,00	
		21,5				22,2					22,1					22,1				
	PH	7,87	0,06	7,9	0,72	7,9	0,06	7,9	0,72		7,54	0,06	7,6	0,75		7,8	0,07	7,8	0,91	
		7,95				7,82					7,62					7,7				
	COT																			
	COLIFORMES	12	1,41	1300,0	0,11	50	5,66	46,0	12,30	96,5	33	1,41	34,0	4,16	97,4	50	3,54	47,5	7,44	96,3
		14				42					35					45				
	16/11/2010	TUBIDEZ	10,25	0,21	10,4	2,04	2,9	0,08	2,8	2,99	72,7	2,45	0,11	2,4	4,47	77,2	1,5	0,02	1,5	1,40
10,55			2,78				2,3					1,53								
COLOR		120	0,00	120,0	0,00	20	0,00	20,0	0,00	83,3	30	7,07	25,0	28,28	79,2	20	0,00	20,0	0,00	83,3
		120				20					20					20				
T °C		20,8	0,00	20,8	0,00	21,2	0,00	21,2	0,00		21,5	0,00	21,5	0,00		21,4	0,00	21,4	0,00	
		20,8				21,2					21,5					21,4				
PH		7,8	0,05	7,8	0,63	7,72	0,01	7,7	0,18		7,55	0,06	7,6	0,75		7,43	0,04	7,5	0,57	
		7,87				7,7					7,63					7,49				
COT																				
COLIFORMES		13	1,41	1400,0	0,10	30	3,54	32,5	10,88	97,7	7,55	0,05	7,6	0,65	99,5	35	2,12	36,5	5,81	97,4
		15				35					7,62					38				
17/11/2010		TUBIDEZ	11	0,15	10,9	1,36	2,8	0,11	2,7	3,89	75,0	2,05	0,25	1,9	13,20	97,5	1,25	0,23	1,4	16,49
	10,79		2,65				1,7					1,58								
	COLOR	130	7,07	125,0	5,66	20	0,00	20,0	0,00	84,0	20	7,07	15,0	47,14	82,1	20	0,00	20,0	0,00	75,7
		120				20					10					20				
	T °C	21,5	0,00	21,5	0,00	22,1	0,00	22,1	0,00		22,3	0,00	22,3	0,00		21,8	0,00	21,8	0,00	
		21,5				22,1					22,3					21,8				
	PH	8	0,04	8,0	0,44	7,8	0,08	7,9	0,99		7,65	0,05	7,7	0,64		7,98	0,06	7,9	0,71	
		7,95				7,91					7,72					7,9				
	COT																			
	COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06	32	1,41	31,0	4,56	97,5	25	2,12	26,5	8,00	72,8	30	5,66	34,0	16,64	53,3
		13				30					28					38				
	18/11/2010	TUBIDEZ	10,42	0,29	10,6	2,73	1,05	0,04	1,0	4,16	90,4	0,87	0,25	0,7	35,61	93,5	0,99	0,17	0,9	19,51
10,83			0,99				0,52					0,75								
COLOR		120	7,07	125,0	5,66	40	14,14	30,0	47,14	76,0	20	7,07	15,0	47,14	88,0	20	7,07	25,0	28,28	80,0
		130				20					10					30				
T °C		20,3	0,00	20,3	0,00	20,4	0,00	20,4	0,00		20,4	0,00	20,4	0,00		20,4	0,00	20,4	0,00	
		20,3				20,4					20,4					20,4				

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
	PH	8,53	0,13	8,4	1,51	8,19	0,05	8,2	0,61		8,1	0,04	8,1	0,53		8,03	0,01	8,0	0,09		
		8,35				8,12					8,04					8,02					
	COT																				
	COLIFORMES	14	1,41	1300,0	0,11		28	4,95	31,5	15,71	97,6	26	0,71	25,5	2,77	98,0	32	3,54	29,5	11,98	97,7
		12					35					25					27				
19/11/2010	TUBIDEZ	10,1	0,07	10,1	0,70	1,1	0,09	1,2	7,89	88,4	1	0,02	1,0	2,15	98,9	0,85	0,16	0,7	21,02	99,3	
		10				1,23					0,97					0,63					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00		20	0,00	20,0	0,00	83,3	20	7,07	15,0	47,14	82,0	10	7,07	5,0	141,42	93,9
		120					20					10					0				
	T °C	22	0,00	22,0	0,00		21,1	0,00	21,1	0,00		21,2	0,00	21,2	0,00		21,2	0,00	21,2	0,00	
		22					21,1					21,2					21,2				
	PH	7,92	0,04	7,9	0,45		7,2	0,11	7,3	1,46		7,15	0,05	7,2	0,69		7,35	0,08	7,3	1,16	
		7,87					7,35					7,22					7,23				
	COT																				
	COLIFORMES	15	0,00	1500,0	0,00		32	2,12	33,5	6,33	97,8	28	2,83	30,0	9,43	69,3	34	0,71	34,5	2,05	50,2
15		35					32					35									
20/11/2010	TUBIDEZ	10,32	0,05	10,3	0,48	1,2	0,11	1,1	9,43	89,1	1,1	0,09	1,0	8,88	89,9	0,75	0,14	0,9	16,64	91,7	
		10,25				1,05					0,97					0,95					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00		20	7,07	15,0	47,14	87,5	10	0,00	10,0	0,00	91,7	10	7,07	5,0	141,42	95,8
		120					10					10					0				
	T °C	22,2	0,00	22,2	0,00		21,2	0,00	21,2	0,00		21,5	0,00	21,5	0,00		21	0,00	21,0	0,00	
		22,2					21,2					21,5					21				
	PH	7,87	0,01	7,9	0,18		7,15	0,02	7,1	0,30		7,22	0,04	7,3	0,59		7,3	0,01	7,3	0,19	
		7,85					7,12					7,28					7,28				
	COT																				
	COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05		40	3,54	37,5	9,43	97,2	32	4,95	35,5	13,94	97,4	32	0,00	32,0	0,00	97,6
14		35					39					32									
22/11/2010	TUBIDEZ	10,2	0,06	10,2	0,63	0,75	0,18	0,9	20,20	91,4	0,5	0,15	0,6	24,54	94,0	0,98	0,02	1,0	2,13	90,2	
		10,11				1					0,71					1,01					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00		20	7,07	15,0	47,14	87,5	10	7,07	5,0	141,42	95,8	10	7,07	5,0	141,42	95,8
		120					10					0					0				
	T °C	22,2	0,00	22,2	0,00		20,8	0,00	20,8	0,00		20,7	0,00	20,7	0,00		20,8	0,00	20,8	0,00	
		22,2					20,8					20,7					20,8				
	PH	7,92	0,05	7,9	0,63		7,22	0,03	7,2	0,39		7,31	0,04	7,3	0,58		7,23	0,01	7,2	0,20	
		7,85					7,18					7,25					7,21				
	COT																				
	COLIFORMES	14	0,71	1350,0	0,05		32	3,54	29,5	11,98	97,8	28	2,12	26,5	8,00	98,0	26	1,41	27,0	5,24	98,0
13		27					25					28									
23/11/2010	TUBIDEZ	10,2	0,04	10,2	0,35	1	0,14	1,1	12,86	89,2	1,3	0,01	1,3	1,08	87,1	0,7	0,27	0,9	30,19	91,3	
		10,15				1,2					1,32					1,08					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00		20	0,00	20,0	0,00	83,3	20	0,00	20,0	0,00	83,3	20	7,07	15,0	47,14	87,5
		120					20					20					10				
	T °C	20,2	0,00	20,2	0,00		19,8	0,00	19,8	0,00		19,7	0,00	19,7	0,00		19,8	0,00	19,8	0,00	
20,2		19,8					19,7					19,8									

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.		
	PH	7,87	0,01	7,9	0,18	7,2	0,08	7,3	1,17		7,4	0,04	7,4	0,48		7,4	0,01	7,4	0,19			
		7,85				7,32					7,35					7,42						
	COT																					
	COLIFORMES	13	0,71	1250,0	0,06	20	1,41	21,0	6,73	98,3	20	1,41	19,0	7,44	98,5	30	7,07	25,0	28,28	98,0		
		12				22					18					20						
	24/11/2010	TUBIDEZ	11,52	0,38	11,3	3,39	0,29	0,46	0,6	74,73	94,5	1,2	0,04	1,2	3,45	89,1	0,38	0,08	0,3	23,93	97,1	
10,98			0,94				1,26					0,27										
COLOR		130	7,07	125,0	5,66	20	7,07	25,0	28,28	80,0	20	7,07	25,0	28,28	80,0	20	7,07	15,0	47,14	88,0		
		120				20					30					10						
T °C		20,1	0,00	20,1	0,00	20,1	0,00	20,1	0,00		20,1	0,00	20,1	0,00		20,1	0,00	20,1	0,00			
		20,1				20,1					20,1					20,1						
PH		7,87	0,05	7,8	0,63	7,22	0,07	7,3	0,97		7,35	0,02	7,4	0,29		7,45	0,05	7,5	0,66			
		7,8				7,32					7,38					7,52						
COT																						
COLIFORMES		14	1,41	1300,0	0,11	25	2,12	23,5	9,03	98,2	32	1,41	31,0	4,56	97,6	28	4,24	25,0	16,97	98,1		
		12				22					30					22						
25/11/2010		TUBIDEZ	10,1	0,08	10,2	0,84	0,8	0,06	0,8	7,44	92,5	0,5	0,35	0,3	141,42	97,5	0,81	0,08	0,8	10,30	92,6	
	10,22		0,72				0					0,7										
	COLOR	130	7,07	125,0	5,66	0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	7,07	5,0	141,42	96,0	10	7,07	5,0	141,42	96,0		
		120				0					10					0						
	T °C	20,2	0,00	20,2	0,00	20,4	0,00	20,4	0,00		20,5	0,00	20,5	0,00		20,2	0,00	20,2	0,00			
		20,2				20,4					20,5					20,2						
	PH	8,2	0,04	8,2	0,43	7,2	0,06	7,2	0,89		7,27	0,19	7,1	2,68		7,61	0,13	7,5	1,69			
		8,25				7,11					7					7,43						
	COT																					
	COLIFORMES	14	0,71	1350,0	0,05	28	5,66	24,0	23,57	98,2	22	1,41	21,0	6,73	98,4	22	2,83	20,0	14,14	98,5		
		13				20					20					18						
	26/11/2010	TUBIDEZ	10,25	0,07	10,2	0,07						1	0,16	0,9	17,48	91,3	0,85	0,05	0,9	5,59	91,3	
10,15			0,78				0,92															
COLOR		120	0,00	120,0	0,00						10	0,00	10,0	0,00	91,7	10	21,20	5,0	424,00	95,8		
		120				10	0															
T °C		21	0,00	21,0	0,00						21,2	0,00	21,2	0,00		21,2	0,00	21,2	0,00			
		21				21,2	21,2															
PH		7,9	0,07	7,9	0,07						7,25	0,05	7,3	0,68		7,3	0,07	7,4	0,96			
		7,8				7,32	7,4															
COT																						
COLIFORMES		15	1,41	1400,0	1,41						25	1,41	24,0	5,89	98,3	30	7,07	25,0	28,28	98,2		
		13				23	20															
27/11/2010		TUBIDEZ	10,02	0,01	10,0	0,14						0,8	0,00	0,8	0,00	92,0	0,5	0,19	0,6	30,07	93,7	
	10		0,8				0,77															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						0	0,00	0,0	0,00	100,0	10	7,07	5,0	141,42	95,8		
		120				0	0															
	T °C	20,5	0,00	20,5	0,00						21,1	0,00	21,1	0,00		20,9	0,00	20,9	0,00			
		20,5				21,1	20,9															



FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.						
	PH	7,92	0,04	7,9	0,45						7,21	0,01	7,2	0,10		7,27	0,04	7,3	0,48							
		7,97									7,2					7,32										
	COT																									
	COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06						20	1,41	21,0	6,73	98,3	22	2,83	20,0	14,14	98,4						
		13									22					18										
29/11/2010	TUBIDEZ	10,15	0,00	10,2	0,00						0,2	0,14	0,1	141,42	99,0	0,8	0,11	0,7	14,63	92,9						
		10,15									0					0,65										
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	21,20	5,0	424,00	95,8						
		120									0					10										
	T °C	20,8	0,00	20,8	0,00						20,1	0,00	20,1	0,00		20,1	0,00	20,1	0,00							
		20,8									20,1					20,1										
	PH	8	0,03	8,0	0,03						7,3	0,03	7,3	0,39		7,28	0,01	7,3	0,19							
		7,96									7,26					7,3										
	COT																									
	COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,71						15	2,12	16,5	12,86	98,7	20	3,54	17,5	20,20	98,6						
13		18				15																				
30/11/2010	TUBIDEZ	10,02	0,04	10,1	0,42						0,87	0,05	0,8	5,93	91,7	0,8	0,06	0,8	7,44	92,4						
		10,08									0,8					0,72										
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66						10	7,07	5,0	141,42	96,0	0	0,00	0,0	0,00	100,0						
		130									0					0										
	T °C	20,8	0,00	20,8	0,00						20,1	0,00	20,1	0,00		20,1	0,00	20,1	0,00							
		20,8									20,1					20,1										
	PH	7,98	0,03	8,0	0,35						7,25	0,00	7,3	0,00		7,28	0,04	7,3	0,49							
		8,02									7,25					7,23										
	COT																									
	COLIFORMES	12	1,41	1300,0	0,11						18	0,00	18,0	0,00	98,6	20	1,41	21,0	6,73	98,4						
14		18				22																				
01/12/2010	TUBIDEZ	9,89	0,08	10,0	0,08						0,5	0,35	0,3	141,42	97,5	1,19	0,31	1,4	22,07	85,8						
		10,01									0					1,63										
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						0	0,00	0,0	0,00	100,0	10	0,00	10,0	0,00	91,7						
		120									0					10										
	T °C	20,5	0,00	20,5	0,00						20,2	0,00	20,2	0,00		24,8	0,00	24,8	0,00							
		20,5									20,2					24,8										
	PH	8,03	0,04	8,0	0,04						7,18	0,03	7,2	0,39		7,4	0,00	7,4	0,00							
		7,97									7,22					7,4										
	COT															0,765										
	COLIFORMES	13	0,71	1250,0	0,71						27	1,41	26,0	5,44	97,9	32	1,41	33,0	4,29	97,4						
12		25				34																				
02/12/2010	TUBIDEZ	10,1	0,01	10,1	0,14						0,68	0,15	0,6	25,82	94,3	0,78	0,01	0,8	1,84	92,4						
		10,08									0,47					0,76										
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	0,00	0,0	0,00	100,0						
		120									0					0										
	T °C	20,2	0,00	20,2	0,00						20	0,00	20,0	0,00		20,1	0,00	20,1	0,00							
20,2		20				20,1																				

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.						
	PH	7,96	0,09	7,9	1,16						7,2	0,06	7,2	0,79		7,18	0,04	7,2	0,59							
		7,83									7,24															
	COT																									
	COLIFORMES	14	0,71	1350,0	0,05						32	1,41	31,0	4,56	97,7	28	5,66	24,0	23,57	98,2						
		13									30					20										
	03/12/2010	TUBIDEZ	10,5	0,16	10,4						0,16						1	0,13	0,9	13,99	91,2	0,75	0,02	0,7	2,89	92,9
10,28			0,82			0,72																				
COLOR		120	0,00	120,0	0,00	10	7,07	5,0	141,42	95,8	0						20,10	5,0	402,00	95,8						
		120				0					10															
T °C		20,1	0,00	20,1	0,00	20,2	0,00	20,2	0,00		20,1						0,00	20,1	0,00							
		20,1				20,2					20,1															
PH		7,22	0,09	7,3	0,09	7,68	0,01	7,7	0,18		7,44						0,01	7,4	0,19							
		7,35				7,7					7,42															
COT																										
COLIFORMES		13	0,71	1250,0	0,71	30	0,00	30,0	0,00	97,6	32						1,41	33,0	4,29	97,4						
		12				30					34															
04/12/2010		TUBIDEZ	10,2	0,00	10,2	0,00											1,25	0,18	1,1	15,71	89,0	0,87	0,05	0,8	5,93	91,8
	10,2		1									0,8														
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	20						7,07	15,0	47,14	87,5	10	7,07	5,0	141,42	95,8						
		120				10										0										
	T °C	20,2	0,00	20,2	0,00	20,1						0,00	20,1	0,00		20	0,00	20,0	0,00							
		20,2				20,1										20										
	PH	7,2	0,08	7,3	1,17	7,6						0,06	7,6	0,75		7,4	0,08	7,5	1,04							
		7,32				7,52										7,51										
	COT																									
	COLIFORMES	15	1,41	1400,0	0,10	30						0,00	30,0	0,00	97,9	28	1,41	29,0	4,88	97,9						
		13				30										30										
	06/12/2010	TUBIDEZ	10	0,06	10,0	0,06											1	0,20	0,9	23,02	91,4	0,52	0,09	0,6	15,71	94,2
10,08			0,72				0,65																			
COLOR		120	0,00	120,0	0,00	10	7,07	5,0	141,42	95,8	0						0,00	0,0	0,00	100,0						
		120				0					0															
T °C		20,2	0,00	20,2	0,00	20	0,00	20,0	0,00		20						0,00	20,0	0,00							
		20,2				20					20															
PH		7,85	0,35	7,6	0,35	7,52	0,04	7,5	0,47		7,5						0,02	7,5	0,28							
		7,35				7,57					7,47															
COT																										
COLIFORMES		13	0,00	1300,0	0,00	28	1,41	29,0	4,88	97,8	27						1,41	26,0	5,44	98,0						
		13				30					25															
07/12/2010		TUBIDEZ	10,21	0,04	10,2	0,42											1	0,20	0,9	23,02	91,6	0,65	0,02	0,7	3,19	93,5
	10,15		0,72									0,68														
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	10						7,07	5,0	141,42	95,8	0	0,00	0,0	0,00	100,0						
		120				0										0										
	T °C	20	0,00	20,0	0,00	20						0,00	20,0	0,00		19,8	0,00	19,8	0,00							
		20				20										19,8										

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.					
	PH	7,82	0,00	7,8	0,00						7,52	0,04	7,5	0,47		7,3	0,00	7,3	0,00						
		7,82									7,3														
	COT																								
	COLIFORMES	12	1,41	1300,0	0,11						30	0,00	30,0	0,00	97,7	30	1,41	31,0	4,56	97,6					
14		32																							
08/12/2010	TUBIDEZ	10,11	0,08	10,1	0,08						0,65	0,02	0,7	3,19	93,4	0,7	0,06	0,7	8,57	93,4					
		10									0,68					0,62									
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	7,07	5,0	141,42	95,8					
		120									0					10									
	T °C	19,8	0,00	19,8	0,00						19,8	0,00	19,8	0,00		19,9	0,00	19,9	0,00						
		19,8									19,9														
	PH	7,9	0,01	7,9	0,01						7,3	0,00	7,3	0,00		7,22	0,00	7,2	0,00						
		7,89									7,22														
	COT																								
	COLIFORMES	13	1,41	1200,0	1,41						30	1,41	31,0	4,56	97,4	28	0,71	27,5	2,57	97,7					
11		27																							
09/12/2010	TUBIDEZ	10	0,06	10,0	0,56						0,65	0,02	0,7	3,19	93,4	0,65	0,02	0,6	3,34	99,3					
		10,08									0,62														
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						0	0,00	0,0	0,00	100,0	0	0,00	0,0	0,00	100,0					
		120									0					0									
	T °C	20	0,00	20,0	0,00						19,8	0,00	19,8	0,00		21,1	0,00	21,1	0,00						
		20									21,1														
	PH	7,82	0,00	7,8	0,00						7,3	0,00	7,3	0,00		7,1	0,07	7,1	1,00						
		7,82									7														
	COT																								
	COLIFORMES	11	0,71	1150,0	0,06						30	1,41	31,0	4,56	97,3	30	2,83	28,0	10,10	71,2					
12		26																							
10/12/2010	TUBIDEZ	10,2	0,07	10,2	0,07						0,7	0,08	0,8	11,16	92,5										
		10,1									0,82														
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						1	0,71	0,5	141,42	99,6										
		120									0														
	T °C	20,1	0,00	20,1	0,00						20,3	0,00	20,3	0,00											
		20,1									20,3														
	PH	7,8	0,00	7,8	0,00						7,52	0,00	7,5	0,00											
		7,8									7,52														
	COT																								
	COLIFORMES	14	0,00	1400,0	0,00						30	1,41	29,0	4,88	97,9										
14		28																							
11/12/2010	TUBIDEZ	10,1	0,01	10,1	0,14						0,75	0,08	0,7	12,30	93,2										
		10,08									0,63														
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						1	0,71	0,5	141,42	99,6										
		120									0														
	T °C	20,2	0,00	20,2	0,00						20,2	0,00	20,2	0,00											
		20,2									20,2														

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.												
	PH	7,92	0,00	7,9	0,00											7,42	0,00	7,4	0,00													
		7,92														7,42																
	COT																															
	COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05											30	2,83	32,0	8,84	97,6												
		14														34																
12/12/2010	TUBIDEZ	10	0,04	10,0	0,04												0,82	0,05	0,8	6,31	92,2											
		10,05															0,75															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00																							0	7,07	5,0	141,42	95,8
		120																										10				
	T °C	21,2	0,00	21,2	0,00																							21,4	0,00	21,4	0,00	
		21,2																										21,4				
	PH	7,87	0,00	7,9	0,00																							7,43	0,00	7,4	0,00	
		7,87																										7,43				
	COT																															
	COLIFORMES	13	0,00	1300,0	0,00																							31	2,83	33,0	8,57	97,5
13		35																														

Tabla A.1.2. Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ en ausencia de luz solar.

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
15/06/2010	TUBIDEZ	10,53	0,16	10,4	1,49	3,47	0,04	3,5	1,21	66,4		3,39	0,09	3,325	2,76	68,1	2,72	0,30	2,505	12,14	76,0
		10,31				3,53						3,26					2,29				
	COLOR	130	0,00	130,0	0,00	40	0,00	40,0	0,00	69,2		20	7,07	25	28,28	80,8	30	0,00	30	0,00	76,9
		130				40						30					30				
	T °C	21,2	0,00	21,2	0,00	22	0,00	22,0	0,00			22	0,00	22	0,00		22	0,00	22	0,00	
		21,2				22						22					22				
PH	7,49	0,33	7,7	4,21	7,65	0,05	7,7	0,64			7,68	0,03	7,7	0,37		7,62	0,02	7,635	0,28		
	7,95				7,72						7,72					7,65					
COT	7,822				5,82					25,6						4,79				38,8	
COLIFORMES	11	0,71	1050	0,07	38	2,12	40	5,37	96,2		69	5,66	65	8,70	93,8	55	8,49	49	17,32	95,3	
	10				41						61					43					
16/06/2010	TUBIDEZ	10,32	0,04	10,3	0,41	3,41	0,06	3,4	1,68	67,2		3,02	0,06	2,975	2,14	71,1	3,21	0,01	3,2	0,44	68,9
		10,26				3,33						2,93					3,19				
	COLOR	130	7,07	135,0	5,24	40	0,00	40,0	0,00	70,4		20	7,07	25	28,28	81,5	30	7,07	25	0,00	81,5
		140				40						30					20				
	T °C	21	0,00	21,0	0,00	21,5	0,00	21,5	0,00			21,5	0,00	21,5	0,00		21,5	0,00	21,5	0,00	
		21				21,5						21,5					21,5				
	PH	7,88	0,06	7,9	0,71	7,7	0,08	7,8	1,09			7,63	0,05	7,665	0,65		7,69	0,04	7,66	0,55	
		7,96				7,82						7,7					7,63				
	COT	10,32				6,137					40,5					44,3	8,11				21,4
	COLIFORMES	10	1,41	1100,0	0,13	12	0,71	12,5	0,00	98,9		37	7,07	32	22,10	97,1	17	1,41	16	0,00	98,5
12		13				27						15									



FECHA	PARAMETRO	ENTRAD A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
17/06/2010	TUBIDEZ	10,11	0,08	10,1	0,77	3,03	0,11	3,0	3,84	70,7	3,11	0,02	3,095	0,69	69,2	3,02	0,28	2,82	10,03	72,0	
		10				2,87					3,08					2,62					
	COLOR	130	0,00	130,0	0,00	50	14,14	40,0	35,36	69,2	40	0,00	40	0,00	69,2	30	7,07	25	28,28	80,8	
		130				30					40					20					
	T °C	23	0,00	23,0	0,00	22,5	0,00	22,5	0,00		22,3	0,00	22,3	0,00		22,3	0,00	22,3	0,00		
		23				22,5					22,3					22,3					
	PH	7,82	0,02	7,8	0,27	7,6	0,08	7,5	1,13		7,27	0,06	7,31	0,77		7,09	0,25	7,27	3,50		
		7,85				7,48					7,35					7,45					
	COT	10,21				4,81					52,9					5,247					48,6
	COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06	11	5,66	15,0	37,71	98,8	21	0,71	20,5	3,45	98,4	34	2,83	32	8,84	97,4	
		13				19					20					30					
	18/06/2010	TUBIDEZ	10,91	0,13	10,8	1,18	2,89	0,18	3,0	6,09	72,1	3,68	0,44	3,37	13,0	68,9	3,53	0,11	3,45	3,28	68,1
10,73			3,15				3,06					3,37									
COLOR		140	7,07	135,0	5,24	50	0,00	50,0	0,00	63,0	30	7,07	35	20,2	74,1	30	0,00	30	0,00	77,8	
		130				50					40					30					
T °C		24,2	0,00	24,2	0,00	23,8	0,00	23,8	0,00		23,8	0,00	23,8	0,00		23,8	0,00	23,8	0,00		
		24,2				23,8					23,8					23,8					
PH		7,41	0,01	7,4	0,19	7,51	0,01	7,5	0,19		7,44	0,01	7,435	0,10		7,48	0,02	7,465	0,28		
		7,43				7,49					7,43					7,45					
COT		8,749				5,23				40,1	5,681				35,1	5,491				37,2	
COLIFORMES		13	1,41	1200,0	0,12	2	3,54	4,5	78,57	99,6	29	7,07	24	29,4	98,0	31	0,71	30,5	2,32	97,5	
		11				7					19					30					
19/06/2010		TUBIDEZ	10,2	0,04	10,2	0,35	2,63	0,16	2,7	5,68	73,1	2,7	0,07	2,75	2,57	73,0	3,02	0,08	2,96	2,87	70,9
	10,15		2,85				2,8					2,9									
	COLOR	140	14,14	130,0	10,88	40	7,07	35,0	20,20	73,1	30	7,07	35	20,2	73,1	30	0,00	30	0,00	76,9	
		120				30					40					30					
	T °C	23,7	0,00	23,7	0,00	23,1	0,00	23,1	0,00		23	0,00	23	0,00		23,1	0,00	23,1	0,00		
		23,7				23,1					23					23,1					
	PH	7,54	0,04	7,6	0,56	7,54	0,04	7,6	0,56		7,38	0,03	7,4	0,38		7,22	0,03	7,2	0,39		
		7,6				7,6					7,42					7,18					
	COT																				
	COLIFORMES	13	2,12	1150,0	0,18	10	1,41	9,0	15,71	99,2	23	2,12	21,5	9,87	98,1	25	1,41	26	5,44	97,7	
		10				8					20					27					
	21/06/2010	TUBIDEZ	10,22	0,07	10,2	0,70	3,14	0,13	3,2	3,94	68,2	3,25	0,09	3,185	2,89	68,7	3,5	0,05	3,465	1,43	65,9
10,12			3,32				3,12					3,43									
COLOR		120	7,07	125,0	5,66	30	0,00	30,0	0,00	76,0	40	0,00	40	0,00	68,0	30	0,00	30	0,00	76,0	
		130				30					40					30					
T °C		22,3	0,00	22,3	0,00	21,2	0,00	21,2	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00		21,2	0,00	21,2	0,00		
		22,3				21,2					22,2					21,2					
PH		7,88	0,04	7,9	0,45	7,61	0,00	7,6	0,00		7,51	0,01	7,515	0,09		7,58	0,04	7,555	0,47		
		7,83				7,61					7,52					7,53					
COT		9,652				5,40				44,0	6,551				32,1	3,464				64,1	



FECHA	PARAMETRO	ENTRAD A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
22/06/2010	COLIFORMES	8				8														
		12	1,41	1100,0	0,13	18	2,83	20,0	14,14	98,2	25	2,12	26,5	8,00	97,6	35	1,41	36	3,93	96,7
		10			22						28					37				
	TUBIDEZ	10,12	0,03	10,1	0,28	3,1	0,09	3,0	3,03	70,0	3,34	0,11	3,26	3,47	67,7	3,3	0,05	3,335	1,48	67,0
		10,08				2,97														
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	40	7,07	35,0	20,20	70,8	30	7,07	35	20,20	70,8	30	0,00	30	0,00	75,0
		120				40														
	T °C	23,9	0,00	23,9	0,00	23,2	0,00	23,2	0,00		23,2	0,00	23,2	0,00		23,2	0,06	23,2	0,24	
		23,9				23,2														23,2
	PH	8,24	0,06	8,2	0,78	8,06	0,04	8,0	0,44		7,92	0,02	7,935	0,27		7,74	0,00	7,78	0,00	
8,15		8,01				7,95														7,82
COT	8,932				4,859					45,6	6,675				25,3	4,654				47,9
COLIFORMES	11	1,41	1200,0	0,12	23	2,12	21,5	9,87	98,2	25	4,24	28	15,15	97,7	28	4,24	31	13,69	97,4	
	13				20															31
23/06/2010	TUBIDEZ	9,98	0,04	10,0	0,35	2,97	0,08	2,9	2,92	70,9	3,15	0,05	3,115	1,59	68,9	3,25	0,05	3,215	1,54	67,9
		10,03				2,85														
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66	30	0,00	30,0	0,00	76,0	30	0,00	30	0,00	76,0	30	0,00	30	0,00	76,0
		130				30														
	T °C	22,2	0,00	22,2	0,00	22,6	0,00	22,6	0,00		22,5	0,03	22,5	0,13		22,6	0,00	22,6	0,00	
		22,2				22,6														22,6
	PH	7,8	0,04	7,8	0,45	7,62	0,04	7,7	0,55		7,54	0,00	7,56	0,00		7,55	0,00	7,6	0,28	
		7,75				7,68														7,58
	COT																			
	COLIFORMES	10	1,41	1100,0	0,13	22	2,83	20,0	14,14	98,2	25	4,95	28,5	17,37	97,4	26	2,12	24,5	8,66	97,8
12		18				32														
24/06/2010	TUBIDEZ	10,15	0,05	10,1	0,49	2,93	0,02	2,9	0,73	71,2	2,98	0,05	3,015	1,64	70,2	3,22	0,01	3,21	0,44	68,3
		10,08				2,9														
	COLOR	130	0,00	130,0	0,00	30	0,00	30,0	0,00	76,9	30	0,00	30	0,00	76,9	30	0,00	30	0,00	76,9
		130				30														
	T °C	22,3	0,00	22,3	0,00	22,5	0,00	22,5	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00		22,6	0,00	22,6	0,00	
		22,3				22,5														22,4
	PH	7,73	0,04	7,8	0,46	7,65	0,03	7,7	0,37		7,58	0,01	7,59	0,19		7,53	0,05	7,565	0,65	
		7,78				7,69														7,6
	COT	3,981				3,613				9,2	3,605				9,4	2,55				35,9
	COLIFORMES	12	0,71	1150,0	0,06	25	1,41	24,0	5,89	97,9	22	4,24	25	16,97	97,8	27	1,41	26	5,44	97,7
11		23				28														
25/06/2010	TUBIDEZ	10,02	0,03	10,0	0,28	2,83	0,08	2,8	2,80	72,3	2,87	0,05	2,835	1,75	71,7	2,98	0,08	3,04	2,79	69,6
		9,98				2,72														
	COLOR	130	7,07	125,0	5,66	30	0,00	30,0	0,00	76,0	30	0,00	30	0,00	76,0	30	0,00	30	0,00	76,0
120		30				30														
T °C	22,4	0,00	22,4	0,00	22,3	0,00	22,3	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00		22,3	0,00	22,3	0,00		
	22,4				22,3														22,2	



FECHA	PARAMETRO	ENTRAD A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.						
	PH	7,8	0,02	7,8	0,27	7,68	0,01	7,7	0,09		7,63	0,04	7,605	0,46		7,5	0,03	7,52	0,38							
		7,77				7,69					7,54															
	COT	4,021				2,12 3				47,2	2,76				31,4	3,1					22,9					
	COLIFORMES	14	2,12	1250,0	0,17	20	0,00	20,0	0,00	98,4	25	2,12	23,5	9,03	98,1	30	1,41	29	4,88	97,7						
		11				20					22					28										
26/06/2010	TUBIDEZ	10,1	0,06	10,1	0,63	2,8	0,08	2,7	3,10	73,0	2,7	0,02	2,715	0,78	73,2	2,9	0,02	2,885	0,74	71,6						
		10,19				2,68					2,73					2,87										
	COLOR	130	0,00	130,0	0,00	20	7,07	25,0	28,28	80,8	20	7,07	25	28,28	80,8	30	0,00	30	0,00	76,9						
		130				30					30															
	T °C	22,7	0,00	22,7	0,00	22,5	0,00	22,5	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00							
		22,7				22,5					22,4															
	PH	7,93	0,04	7,9	0,54	7,7	0,01	7,7	0,18		7,6	0,04	7,625	0,46		7,63	0,01	7,64	0,19							
		7,87				7,68					7,65															
	COT	4,321				2,36					45,4	2,21				48,9	2,345				45,7					
	COLIFORMES	10	1,41	1100,0	0,13	20	1,41	19,0	7,44	98,3	24	2,12	22,5	9,43	98,0	25	2,12	26,5	8,00	97,6						
12		18				21					28															
28/06/2010	TUBIDEZ	10,1	0,01	10,1	0,14						2,3	0,06	2,26	2,50	77,6	2,4	0,00	2,4	0,00	76,2						
		10,08									2,22					2,4										
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						20	0,00	20	0,00	83,3	20	0,00	20	0,00	83,3	20	0,00	20	0,00	83,3	
		120									20					20										
	T °C	21,5	0,00	21,5	0,00						21,7	0,00	21,7	0,00		21,7	0,00	21,7	0,00		21,6	0,00	21,6	0,00		
		21,5									21,7					21,6										
	PH	7,64	0,03	7,6	0,37						7,3	0,06	7,34	0,77		7,4	0,06	7,34	0,77		7,4	0,04	7,375	0,48		
		7,6									7,38					7,35										
	COT																									
	COLIFORMES	12	1,41	1100,0	0,13						22	1,41	21	6,73	98,1	25	1,41	21	6,73	98,1	25	1,41	25	0,00	25	0,00
10		20				25																				
29/06/2010	TUBIDEZ	10,15	0,04	10,2	0,35						2,2	0,11	2,125	4,99	79,1	2,3	0,04	2,325	1,52	77,1						
		10,2									2,05					2,35										
	COLOR	130	0,00	130,0	0,00						20	0,00	20	0,00	84,6	20	0,00	20	0,00	84,6	20	0,00	20	0,00	84,6	
		130									20					20										
	T °C	22	0,00	22,0	0,00						22	0,00	22	0,00		22	0,00	22	0,00		21,8	0,00	21,8	0,00		
		22									22					21,8										
	PH	7,5	0,01	7,5	0,19						7,4	0,01	7,39	0,19		7,21	0,01	7,39	0,19		7,21	0,12	7,295	1,65		
		7,48									7,38					7,38										
	COT																									
	COLIFORMES	15	3,54	1750,0	0,20						32	9,19	38,5	23,88	97,8	42	9,19	38,5	23,88	97,8	5	26,16	23,5	111,33	98,7	
20		45																								
30/06/2010	TUBIDEZ	10,12	0,04	10,2	0,42						2,15	0,11	2,075	5,11	79,6	2,35	0,05	2,315	2,14	77,2						
		10,18									2					2,28										
	COLOR	130	7,07	125,0	5,66						20	0,00	20	0,00	84,0	20	0,00	20	0,00	84,0	20	0,00	20	0,00	84,0	
		120									20					20										
T °C	21,2	0,00	21,2	0,00	21,5	0,00	21,5	0,00		21,4	0,00	21,4	0,00		21,4	0,00	21,4	0,00								



FECHA	PARAMETRO	ENTRAD A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.					
	PH	21,2	0,01	7,5	0,19						21,5	0,01	7,29	0,19		21,4	0,02	7,265	0,29						
		7,48									7,28					7,25									
	COT	7,5									7,3					7,28									
		3,884									2,816					2,662									
	COLIFORMES	16	2,12	1450,0	0,15						45	7,07	50	14,14	96,6	32	0,71	31,5	2,24	97,8					
		13									55					31									
01/07/2010	TUBIDEZ	10,58	0,02	10,6	0,20							3,4	0,08	3,46	2,45	67,3	3,55	0,16	3,44	4,52	67,4				
		10,55										3,52					3,33								
	COLOR	130	7,07	135,0	5,24							50	7,07	45	15,71	66,7	40	0,00	40	0,00	70,4				
		140										40					40								
	T °C	22,4	0,00	22,4	0,00							22,2	0,00	22,2	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00					
		22,4										22,2					22,2								
	PH	7,58	0,04	7,6	0,46							7,41	0,01	7,405	0,10		7,36	0,01	7,37	0,19					
		7,63										7,4					7,38								
	COT	3,973										2,016					49,3								
		13										32					2,362					40,5			
	COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06							40	5,66	36	15,71	97,1	30	0,00	30	0,00	97,6				
		12										30					30								
02/07/2010	TUBIDEZ	10,12	0,07	10,2	0,70							3,2	0,07	3,15	2,24	69,0	3,35	0,04	3,375	1,05	66,8				
		10,22										3,1					3,4								
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66							40	0,00	40	0,00	68,0	40	7,07	45	15,71	64,0				
		130										40					50								
	T °C	22,2	0,00	22,2	0,00							22,2	0,00	22,2	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00					
		22,2										22,2					22,2								
	PH	7,6	0,01	7,6	0,19							7,38	0,02	7,395	0,29		7,4	0,04	7,375	0,48					
		7,62										7,41					7,35								
	COT																								
		10										33					30								
	COLIFORMES	11	0,71	1050,0	0,07							30	2,12	31,5	6,73	97,0	35	3,54	32,5	10,88	96,9				
		11										30					35								
03/07/2010	TUBIDEZ	10,05	0,04	10,1	0,35							3	0,07	3,05	2,32	69,7	3,1	0,08	3,16	2,69	68,6				
		10,1										3,1					3,22								
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00							40	7,07	35	20,20	70,8	30	7,07	35	20,20	70,8				
		120										30					40								
	T °C	22,7	0,00	22,7	0,00							22,7	0,00	22,7	0,00		22,7	0,00	22,7	0,00					
		22,7										22,7					22,7								
	PH	7,57	0,04	7,6	0,47							7,4	0,03	7,38	0,38		7,42	0,01	7,425	0,10					
		7,62										7,36					7,43								
	COT																								
		12										40					35								
	COLIFORMES	13	0,71	1250,0	0,06							32	5,66	36	15,71	97,1	30	3,54	32,5	10,88	97,4				
		13										30					30								
05/07/2010	TUBIDEZ	10,12	0,07	10,1	0,70							3,02	0,02	3,035	0,70	69,9	3,1	0,04	3,075	1,15	69,5				
		10,02										3,05					3,05								
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00							30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0				
		120										30					30								
	T °C	22,5	0,00	22,5	0,00							22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00					
		22,5										22,5					22,5								



FECHA	PARAMETRO	ENTRAD A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.						
	PH	22,5	0,01	7,6	0,19						22,5	0,04	7,48	0,57		22,5	0,01	7,455	0,09							
		7,62									7,45															
	7,6	7,46																								
	COT																									
	COLIFORMES	12	0,00	1200,0	0,00						38	2,12	36,5	5,81	97,0	35	0,71	35,5	1,99	97,0	36					
12	35																									
06/07/2010	TUBIDEZ	10,15	0,00	10,2	0,00						3,07	0,04	3,095	1,14	69,5	3,2	0,01	3,21	0,44	68,4						
		10,15									3,22															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	30	7,07	35	20,20	70,8	40					
		120									30															
	T °C	22,8	0,00	22,8	0,00						22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00		22,5					
		22,8									22,5															
	PH	7,65	0,02	7,6	0,28						7,5	0,03	7,48	0,38		7,48	0,00	7,48	0,00		7,48					
		7,62									7,48															
	COT																									
	COLIFORMES	10	0,71	1050,0	0,07						32	1,41	31	4,56	97,0	38	4,24	35	12,12	96,7	30					
11	30																									
07/07/2010	TUBIDEZ	10,01	0,01	10,0	0,07						3,1	0,08	3,04	2,79	69,6	3,15	0,02	3,135	0,68	68,7						
		10									2,98															
	120	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	30					
		120									30															
	T °C	22,7	0,00	22,7	0,00						22,5	0,00	22,5	0,00		22,6	0,00	22,6	0,00		22,6					
		22,7									22,6															
	PH	7,7	0,01	7,7	0,18						7,55	0,00	7,55	0,00		7,48	0,03	7,5	0,38		7,52					
		7,68									7,52															
COT																										
COLIFORMES	15	0,00	1500,0	0,00	33	2,83	35	8,08	97,7	40	2,12	38,5	5,51	97,4	37											
15	37																									
08/07/2010	TUBIDEZ	10,1	0,01	10,1	0,14						3,15	0,04	3,175	1,11	68,6	3,22	0,06	3,26	1,74	67,8						
		10,12									3,3															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	40	7,07	35	20,20	70,8	30					
		120									30															
	T °C	22,5	0,00	22,5	0,00						22,3	0,00	22,3	0,00		22,3	0,00	22,3	0,00		22,3					
		22,5									22,3															
	PH	7,65	0,02	7,7	0,28						7,58	0,02	7,565	0,28		7,47	0,02	7,485	0,28		7,5					
		7,68									7,5															
COT																										
COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06	40	0,71	40,5	1,75	96,8	40	3,54	42,5	8,32	96,6	45											
13	41																									
09/07/2010	TUBIDEZ	9,95	0,05	10,0	0,50						3,1	0,01	3,11	0,45	68,9	3,18	0,02	3,165	0,67	68,3						
		10,02									3,15															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	30					
		120									30															
T °C	22,7	0,00	22,7	0,00	22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00								



FECHA	PARAMETRO	ENTRAD A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.						
	PH	22,7	0,04	7,6	0,46						22,5	0,02	7,465	0,28		22,5	0,02	7,465	0,28							
		7,62									7,45															
		7,67									7,48															
	COT																									
	COLIFORMES	12	0,71	1150,0	0,06						38	3,54	40,5	8,73	96,5	40	0,00	40	0,00	96,5	40	0,00	40	0,00	96,5	
11	43	40																								
10/07/2010	TUBIDEZ	10,02	0,04	10,1	0,42						3,15	0,02	3,165	0,67	68,5	3,2	0,01	3,21	0,44	68,1						
		10,08									3,22															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	
		120									30															
	T °C	22,5	0,00	22,5	0,00						22,3	0,00	22,3	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00		
		22,5									22,3															
	PH	7,7	0,03	7,7	0,37						7,6	0,01	7,59	0,19		7,5	0,04	7,475	0,47		7,5	0,04	7,475	0,47		
		7,66									7,45															
	COT																									
	COLIFORMES	14	1,41	1300,0	0,11						42	0,00	42	0,00	96,8	43	1,41	42	3,37	96,8	41	1,41	42	3,37	96,8	
12	42	41																								
12/07/2010	TUBIDEZ	10,1	0,03	10,1	0,28						3,22	0,02	3,235	0,66	67,9	3,28	0,04	3,305	1,07	67,2						
		10,06									3,33															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	30	7,07	35	20,20	70,8						
		120									40															
	T °C	22,6	0,00	22,6	0,00						22,3	0,00	22,3	0,00		22,3	0,00	22,3	0,00							
		22,6									22,3															
	PH	7,7	0,01	7,7	0,18						7,62	0,01	7,61	0,19		7,47	0,00	7,495	0,00							
		7,72									7,52															
COT																										
COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05	40	0,71	40,5	1,75	97,0	40	2,12	41,5	5,11	96,9												
14	41				43																					
13/07/2010	TUBIDEZ	10,2	0,07	10,2	0,70						3,2	0,02	3,215	0,66	68,3	3,3	0,04	3,325	1,06	67,2						
		10,1									3,35															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	30	7,07	35	20,20	70,8						
		120									40															
	T °C	22,4	0,00	22,4	0,00						22,2	0,00	22,2	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00							
		22,4									22,2															
	PH	7,72	0,04	7,7	0,46						7,6	0,01	7,605	0,09		7,5	0,01	7,49	0,19							
		7,77									7,48															
COT																										
COLIFORMES	13	0,00	1300,0	0,00	40	0,00	40	0,00	96,9	41	0,71	41,5	1,70	96,8												
13	40				42																					
14/07/2010	TUBIDEZ	10,12	0,00	10,1	0,00						3,25	0,04	3,275	1,08	67,6	3,38	0,00	3,38	0,00	66,6						
		10,12									3,38															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	30	7,07	35	20,20	70,8						
		120									40															
T °C	22,5	0,00	22,5	0,00	22,4	0,00	22,4	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00													



FECHA	PARAMETRO	ENTRAD A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.																	
	PH	22,5	0,02	7,7	0,27						22,4	0,01	7,645	0,09		22,4	0,06	7,56	0,75																		
		7,75									7,6																										
		7,72									7,52																										
	COT																																				
	COLIFORMES	12	1,41	1300,0	0,11						42	1,41	41	3,45	96,8	43	0,71	42,5	1,66	96,7																	
		14									40					42																					
15/07/2010	TUBIDEZ	10,08	0,02	10,1	0,21																																
		10,05																				3,38	0,01	3,375	0,21	66,5	3,4										
	120	3,37	3,4																																		
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00																	30	7,07	35	20,20	70,8	40	0,00	40	0,00	66,7						
		120																				40					40										
	T °C	22,3	0,00	22,3	0,00																	22	0,00	22	0,00		22	0,00	22	0,00							
		22,3																				22					22										
	PH	7,71	0,01	7,7	0,09																	7,63	0,00	7,63	0,00		7,5	0,04	7,525	0,47							
		7,72																				7,63					7,55										
	COT																																				
	COLIFORMES	13	0,71	1250,0	0,06																	43	2,12	41,5	5,11	96,7	41	0,71	40,5	1,75	96,8						
		12																				40					40										
16/07/2010	TUBIDEZ	10,25	0,14	10,2	1,39																																
		10,05																				3,43	0,01	3,44	0,41	66,1	3,5										
	120	3,45	3,55																																		
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00																	40	0,00	40	0,00	66,7	40	0,00	40	0,00	66,7						
		120																				40					40										
	T °C	22,4	0,00	22,4	0,00																	22,1	0,00	22,1	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00							
		22,4																				22,1					22,2										
	PH	7,78	0,01	7,8	0,18																	7,78	0,01	7,77	0,18		7,52	0,02	7,535	0,28							
		7,76																				7,76					7,55										
	COT																																				
	COLIFORMES	12	1,41	1300,0	0,11																	40	1,41	41	3,45	96,8	41	0,00	41	0,00	96,8						
		14																				42					41										
17/07/2010	TUBIDEZ	10,12	0,01	10,1	0,14																																
		10,1																				3,6	0,01	3,61	0,39	64,3	3,68										
	120	3,62	3,7																																		
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00																	40	7,07	35	20,20	70,8	40	0,00	40	0,00	66,7						
		120																				30					40					40					
	T °C	22,3	0,00	22,3	0,00																	22,1	0,00	22,1	0,00		22,1	0,00	22,1	0,00							
		22,3																				22,1					22,1										
	PH	7,8	0,02	7,8	0,27																	7,62	0,01	7,63	0,19		7,6	0,01	7,59	0,19							
		7,77																				7,64					7,58										
	COT																																				
	COLIFORMES	12	0,00	1200,0	0,00																	43	0,00	43	0,00	96,4	43	1,41	44	3,21	96,3						
		12																				43					45										

REPLICA - Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de 6 m³/m². día en ausencia de luz solar.

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
07/02/2011	TUBIDEZ	9,54	0,25	9,7	2,55	3,53	0,10	3,6	2,75	62,9	3,4	0,06	3,355	1,90	65,5	3,23	0,08	3,285	2,37	66,2	
		9,89				3,67					3,31										
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	50	0,00	50,0	0,00	58,3	40	7,07	35	20,20	70,8	40	0,00	40	0,00	66,7	
		120				50					40										
	T °C	21,4	0,07	21,4	0,33	21,3	0,00	21,3	0,00		21,4	0,00	21,4	0,00		21,5	0,07	21,45	0,33		
		21,3				21,3					21,4										
	PH	7,87	0,07	7,8	0,90	7,54	0,01	7,5	0,09		7,67	0,01	7,66	0,18		7,53	0,06	7,575	0,84		
		7,77				7,53					7,62										
	COT																				
	COLIFORMES	12	0,00	1200	0,00	30	1,41	29	4,88	97,6	43	2,12	44,5	4,77	96,3	46	4,24	43	9,87	96,4	
12		28				46															
08/02/2011	TUBIDEZ	10,02	0,06	10,0	0,64	3,49	0,03	3,5	0,82	65,2	3,38	0,04	3,405	1,04	65,9	3,25	0,06	3,29	1,72	67,0	
		9,93				3,45					3,43										
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	50	7,07	45,0	0,00	62,5	20	0,00	20	0,00	83,3	20	7,07	25	0,00	79,2	
		120				40					20										
	T °C	21,7	0,07	21,7	0,33	21,3	0,00	21,3	0,00		21,3	0,07	21,25	0,33		21,3	0,00	21,3	0,00		
		21,6				21,3					21,3										
	PH	7,84	0,01	7,8	0,09	7,65	0,02	7,6	0,28		7,54	0,07	7,59	0,93		7,6	0,00	7,6	0,00		
		7,85				7,62					7,6										
	COT																				
	COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06	25	0,71	24,5	0,00	98,0	28	3,54	30,5	11,59	97,6	45	9,90	38	0,00	97,0	
13		24				33															
09/02/2011	TUBIDEZ	10	0,03	10,0	0,28	3,2	0,02	3,2	0,66	67,9	3,17	0,04	3,2	1,33	68,1	3,23	0,15	3,125	4,75	68,8	
		10,04				3,23					3,23										
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	0,00	30,0	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	
		120				30					30										
	T °C	22	0,07	22,0	0,32	22,3	0,07	22,3	0,32		22,2	0,00	22,2	0,00		22,1	0,07	22,15	0,32		
		21,9				22,2					22,2										
	PH	7,72	0,01	7,7	0,18	7,54	0,01	7,5	0,19		7,35	0,02	7,365	0,29		7,23	0,06	7,27	0,78		
		7,74				7,52					7,38										
	COT																				
	COLIFORMES	12	0,71	1250	0,06	15	6,36	20	32,64	98,4	25	0,71	25,5	2,77	98,0	27	0,00	27	0,00	97,8	
13		24				26															
10/02/2011	TUBIDEZ	10,12	0,01	10,1	0,14	2,87	0,09	2,9	3,13	71,0	3,22	0,05	3,185	1,55	68,5	3,53	0,11	3,45	3,28	65,9	
		10,1				3					3,15										
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	7,07	35,0	20,20	70,8	30	0,00	30	0,00	75,0	50	7,07	45	15,71	62,5	
		120				40					30										
	T °C	21,2	0,00	21,2	0,00	22,6	0,00	22,6	0,00		22,2	0,14	22,3	0,63		23,8	0,00	23,8	0,00		
		21,2				22,6					22,4										
	PH	7,65	0,08	7,7	1,10	7,65	0,02	7,7	0,28		7,54	0,03	7,56	0,37		7,48	0,02	7,465	0,28		
		7,77				7,68					7,58										
	COT																				
	COLIFORMES	13	0,71	1250,0	0,06	23	2,12	21,5	9,87	98,3	15	4,24	18	23,5	98,6	32	2,83	30	9,43	97,6	

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
	S	12				20					21					28					
11/02/2011	TUBIDEZ	9,97	0,04	10,0	0,35	2,97	0,19	2,8	6,73	71,6	2,63	0,08	2,69	3,15	73,1	2,76	0,24	2,93	8,21	70,7	
		10,02				2,7					2,75					3,1					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	0,00	30,0	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	
		120				30					30					30					
	T °C	22,1	0,07	22,2	0,32	22	0,07	22,1	0,32		22,5	0,14	22,4	0,63		22,6	0,07	22,55	0,31		
		22,2				22,1				22,3	22,5										
	PH	7,87	0,14	7,8	1,82	7,52	0,00	7,5	0,00		7,4	0,04	7,375	0,48		7,35	0,01	7,36	0,19		
		7,67				7,52				7,35	7,37										
	COT																				
	COLIFORMES	11	0,71	1150	0,06	20	0,00	20	0,00	98,3	20	5,66	16	35,36	98,6	16	9,19	22,5	40,86	98,0	
12		20				12					29										
12/02/2011	TUBIDEZ	10,04	0,00	10,0	0,00	2,8	0,03	2,8	1,02	72,3	3	0,14	2,9	4,88	71,1	3	0,00	3	0,00	70,1	
		10,04				2,76					2,8					3					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	7,07	25,0	28,28	79,2	30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	
		120				30					30					30					
	T °C	21,2	0,14	21,3	0,66	21,1	0,00	21,1	0,00		22,3	0,00	22,3	0,00		21,2	0,07	21,25	0,33		
		21,4				21,1				22,3	21,3										
	PH	7,65	0,02	7,7	0,28	7,58	0,11	7,5	1,41		7,49	0,04	7,52	0,56		7,48	0,08	7,54	1,13		
		7,68				7,43				7,55	7,6										
	COT																				
	COLIFORMES	12	0,00	1200,0	0,00	15	5,66	19,0	29,77	98,4	22	4,24	25	16,97	97,9	31	4,24	28	15,15	97,7	
12		23				28					25										
14/02/2011	TUBIDEZ	9,97	0,11	10,0	1,06	2,37	0,11	2,3	4,62	77,2	3	0,07	3,05	2,32	69,6	2,98	0,27	2,79	9,63	72,2	
		10,12				2,22					3,1					2,6					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	20	7,07	25,0	28,28	79,2	30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0	
		120				30					30					30					
	T °C	22,1	0,00	22,1	0,00	22	0,14	22,1	0,64		22,1	0,00	22,1	0,00		22,1	0,14	22,2	0,64		
		22,1				22,2				22,1	22,3										
	PH	7,89	0,06	7,8	0,81	7,67	0,05	7,6	0,65		7,56	0,03	7,58	0,37		7,77	0,08	7,71	1,10		
		7,8				7,6				7,6	7,65										
	COT																				
	COLIFORMES	13	1,41	1200	0,12	14	1,41	13	10,88	98,9	22	3,54	19,5	18,13	98,4	20	4,95	16,5	30,00	98,6	
11		12				17					13										
16/02/2011	TUBIDEZ	10,1	0,06	10,1	0,63	2,8	0,08	2,7	3,10	73,0	2,7	0,02	2,715	0,78	73,2	2,9	0,02	2,885	0,74	71,6	
		10,19				2,68					2,73					2,87					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	20	7,07	25,0	28,28	79,2	20	7,07	25	28,28	79,2	30	0,00	30	0,00	75,0	
		120				30					30					30					
	T °C	22,7	0,00	22,7	0,00	22,5	0,00	22,5	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00		
		22,7				22,5				22,2	22,4										
	PH	7,93	0,04	7,9	0,54	7,7	0,01	7,7	0,18		7,6	0,04	7,625	0,46		7,63	0,00	7,65	0,00		
		7,87				7,68				7,65	7,65										
	COT																				
	COLIFORMES	11	0,71	1150,0	0,06	14	2,83	16,0	17,68	98,6	17	2,83	15	18,8	98,7	17	0,00	17	0,00	98,5	

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
	S	12				18					13					17				
17/02/2011	TUBIDEZ	10,02	0,03	10,0	0,28	2,55	0,30	2,3	12,69	76,6	2,65	0,18	2,525	7,00	74,8	2,7	0,14	2,6	5,44	74,0
		9,98				2,13					2,4					2,5				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	20	0,00	20,0	0,00	83,3	20	0,00	20	0,00	83,3	20	0,00	20	0,00	83,3
		120				20					20					20				
	T °C	22,1	0,00	22,1	0,00	22,1	0,00	22,1	0,00		22,3	0,07	22,25	0,32		22,1	0,00	22,1	0,00	
		22,1				22,1				22,2	22,1									
	PH	7,77	0,03	7,8	0,36	7,65	0,11	7,6	1,40		7,45	0,06	7,49	0,76		7,68	0,04	7,65	0,55	
		7,73				7,5				7,53	7,62									
	COT																			
	COLIFORMES	13	0,00	1300	0,00	15	1,41	14	10,10	98,9	13	1,41	12	11,79	99,1	27	4,95	23,5	21,06	98,2
13		13				11					20									
18/02/2011	TUBIDEZ	9,8	0,12	9,9	1,22	2,3	0,11	2,2	5,10	77,5	2,2	0,10	2,27	4,36	77,0	2,6	0,07	2,55	2,77	74,2
		9,97				2,14					2,34					2,5				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	20	7,07	15,0	47,14	87,5	10	0,00	10	0,00	91,7	20	0,00	20	0,00	83,3
		120				10					10					20				
	T °C	22,2	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00		22,3	0,07	22,25	0,32	
		22,2				22,2				22,2	22,2									
	PH	7,8	0,08	7,9	1,08	7,35	0,04	7,4	0,48		7,55	0,02	7,535	0,28		7,5	0,11	7,58	1,49	
		7,92				7,4				7,52	7,66									
	COT																			
	COLIFORMES	13	0,00	1300,0	0,00	18	2,83	20,0	14,14	98,5	16	2,12	14,5	14,63	98,9	23	0,00	23	0,00	23
13		22				13					23									
19/02/2011	TUBIDEZ	10,06	0,10	10,1	0,98	2,4	0,28	2,2	12,86	78,3	2	0,14	1,9	7,44	81,2	2	0,07	2,05	3,45	79,8
		10,2				2					1,8					2,1				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	10	7,07	15,0	47,14	87,5	0	7,07	5	141,42	95,8	20	14,14	10	141,42	91,7
		120				20					10					0				
	T °C	22	0,00	22,0	0,00	22	0,00	22,0	0,00		22,1	0,00	22,1	0,00		22	0,07	22,05	0,32	
		22				22				22,1	22,1									
	PH	7,82	0,01	7,8	0,18	7,65	0,11	7,6	1,40		7,43	0,01	7,44	0,19		7,5	0,01	7,49	0,19	
		7,8				7,5				7,45	7,48									
	COT																			
	COLIFORMES	13	0,00	1300	0,00	15	1,41	14	10,10	98,9	16	1,41	15	9,43	98,8	22	4,24	25	16,97	98,1
13		13				14					28									
21/02/2011	TUBIDEZ	10,1	0,04	10,1	0,35						1,85	0,11	1,775	5,98	82,4	2	0,16	1,89	8,23	81,2
		10,05				1,7					1,78									
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						10	7,07	15	47,14	87,5	10	7,07	15	47,14	87,5
		120				20					20									
	T °C	22,2	0,00	22,2	0,00						22,2	0,07	22,15	0,32		22	0,07	22,05	0,32	
		22,2				22,1					22,1									
	PH	7,76	0,04	7,8	0,54						7,56	0,04	7,53	0,56		7,53	0,05	7,565	0,65	
		7,82				7,5					7,6									
	COT																			
	COLIFORMES	13	0,71	1250,0	0,06						21	0,71	21,5	3,29	98,3	31	4,95	27,5	18,00	97,8

FECHA	PARAMETRO	ENTRAD A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.			
25/02/2011	S	12									22					24							
	TUBIDEZ	10,02	0,06	10,1	0,63		1,86	0,03	1,88	1,50	81,3	2,7	0,14	2,6	5,44	74,2	20	7,07	15	47,14	87,5		
		10,11																				2,5	
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00		20	0,00	20	0,00	83,3	20	10	0,00	22,1	0,00	22,1	0,00	0,00	22,1	0,00	0,00	
		120																					
	T °C	22,1	0,07	22,2	0,32		22,3	0,07	22,25	0,32			22,1	0,00	22,1	0,00		7,68	0,04	7,65	0,55		
		22,2																					
	PH	7,77	0,03	7,8	0,36		7,45	0,06	7,49	0,76			7,62	0,04	7,65	0,55							
		7,73																					
	COT																						
COLIFORME S	11	0,71	1150,0	0,06	13		1,41	12	11,79	99,0	26	4,24	23	18,45	98,0								
	12					20																	
26/02/2011	TUBIDEZ	10,2	0,03	10,2	0,28	2,1	0,28	1,9	14,89	81,3	2,8	0,35	2,55	13,86	75,0	20	7,07	15	47,14	87,5			
		10,16																				2,3	
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	10	0,00	10	0,00	91,7	20	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00	0,00		
		120																					
	T °C	22,3	0,07	22,3	0,32	22,2	0,00	22,2	0,00			22,2	0,00	22,2	0,00		7,56	0,08	7,615	1,02			
		22,2																					22,2
	PH	7,77	0,08	7,7	1,10	7,45	0,06	7,49	0,76			7,67	0,08	7,615	1,02								
		7,65																					
	COT																						
	COLIFORME S	13	0,00	1300,0	0,00	17	0,00	17	0,00	98,7	27	3,54	24,5	14,43	98,1								
13		22																					
27/02/2011	TUBIDEZ	10,15	0,00	10,2	0,00	1,96	0,18	1,83	10,05	82,0	2,2	0,14	2,1	6,73	79,3	20	7,07	15	47,14	87,5			
		10,15																				2	
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	10	0,00	10	0,00	91,7	20	0,00	22,3	0,00	22,3	0,00	22,3	0,00	22,3	0,00	0,00		
		120																					
	T °C	22,5	0,00	22,5	0,00	22,3	0,00	22,3	0,00			22,3	0,00	22,3	0,00		7,4	0,11	7,48	1,51			
		22,5																					22,3
	PH	7,65	0,02	7,6	0,28	7,5	0,03	7,48	0,38			7,56	0,11	7,48	1,51								
		7,62																					
	COT																						
	COLIFORME S	10	0,71	1050,0	0,07	22	6,36	17,5	36,37	98,3	30	2,12	31,5	6,73	97,0								
11		33																					
28/02/2011	TUBIDEZ	10	0,09	9,9	0,93	2	0,39	1,725	22,55	82,6	1,87	0,19	1,735	11,00	82,5	10	7,07	5	141,42	95,8			
		9,87																				1,6	
	120	120	0,00	120,0	0,00	0	7,07	5	141,42	95,8	10	7,07	5	141,42	95,8								
		120																					
	T °C	22	0,00	22,0	0,00	22	0,00	22	0,00			22,1	0,00	22,1	0,00		7,67	0,05	7,635	0,65			
		22																					22,1
	PH	7,8	0,01	7,8	0,18	7,43	0,01	7,44	0,19			7,6	0,05	7,635	0,65								
		7,82																					
	COT																						
	COLIFORME	13	0,71	1250,0	0,06	22	4,24	19	22,3	98,5	27	4,24	24	17,68	98,1								

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.							
01/03/2011	S	12									16			3		21											
	TUBIDEZ	10,1	0,04	10,1	0,35							1,8	0,01	1,81	0,78	82,1	1,8	0,00	1,8	0,00	82,2						
		10,15										1,8															
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66							0	7,07	5	141,42	96,0	20	7,07	15	47,14	88,0						
		130										10															
	T °C	22,3	0,07	22,3	0,32							22,1	0,00	22,1	0,00		22,3	0,00	22,3	0,00							
		22,2										22,1															
	PH	7,89	0,05	7,9	0,63							7,62	0,02	7,635	0,28		7,4	0,11	7,48	1,51							
		7,82										7,56															
	COT																										
COLIFORMES	12	0,00	1200,0	0,00	20							3,54	22,5	15,71	98,1	26	2,12	27,5	7,71	97,7							
	12				25																						
02/03/2011	TUBIDEZ	9,9	0,09	10,0	0,92							1,9	0,14	2	7,07	79,9	2	0,07	1,95	3,63	80,4						
		10,03										1,9															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00							10	0,00	10	0,00	91,7	10	0,00	10	0,00	91,7						
		120										10															
	T °C	21,8	0,00	21,8	0,00							22	0,00	22	0,00		22,1	0,07	22,05	0,32							
		21,8										22															
	PH	7,7	0,10	7,8	1,27							7,5	0,01	7,49	0,19		7,6	0,00	7,6	0,00							
		7,84										7,6															
	COT																										
	COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06							25	0,71	24,5	2,89	98,0	30	7,07	25	28,28	98,0						
13		20																									
03/03/2011	TUBIDEZ	10,13	0,04	10,1	0,42							1,86	0,03	1,88	1,50	81,4	2,7	0,14	2,6	5,44	74,3						
		10,07										1,9															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00							20	0,00	20	0,00	83,3	20	7,07	15	47,14	87,5						
		120										10															
	T °C	22,1	0,07	22,2	0,32							22,3	0,07	22,25	0,32		22,1	0,00	22,1	0,00							
		22,2										22,1															
	PH	7,77	0,03	7,8	0,36							7,45	0,06	7,49	0,76		7,68	0,04	7,65	0,55							
		7,73										7,62															
	COT																										
	COLIFORMES	12	0,00	1200,0	0,00							22	0,71	22,5	3,14	98,1	30	3,54	27,5	12,86	97,7						
12		23																									
04/03/2011	TUBIDEZ	10,2	0,03	10,2	0,28							2,1	0,28	1,9	14,89	81,3	2,8	0,35	2,55	13,86	75,0						
		10,16										1,7															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00							10	0,00	10	0,00	91,7	20	7,07	15	47,14	87,5						
		120										10															
	T °C	22,3	0,07	22,3	0,32							22,2	0,00	22,2	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00							
		22,2										22,2															
	PH	7,77	0,08	7,7	1,10							7,45	0,06	7,49	0,76		7,56	0,08	7,615	1,02							
		7,65										7,67															
	COT																										
	COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06							20	1,41	21	6,73	98,3	30	5,66	26	21,76	97,9						

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA A	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.											
09/03/2011	TUBIDEZ	13	0,04	10,2	0,35											43	0,14	2,5	5,66	75,4											
		10,15														2,4															
		10,2														2,6															
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00																						30	7,07	25	28,28	79,2
		120																									20				
	T °C	22,5	0,00	22,5	0,00																						22,1	0,00	22,1	0,00	
		22,5																									22,1				
	PH	7,8	0,12	7,7	1,56																						7,6	0,00	7,6	0,00	
		7,63																									7,6				
	COLIFORMES	11	0,71	1150,0	0,06																						38	4,24	41	10,35	96,4
		12																									44				

Tabla A.1.3. Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de $9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ en presencia de luz solar.

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
29/03/2011	TUBIDEZ	9,5	0,16	9,6	1,62	4,6	0,07	4,6	1,54	52,0	3,1	0,08	3,2	2,47	67,1	3,8	0,04	3,8	0,94	60,6
		9,7				4,7					3,2					3,8				
	COLOR	120,0	0,00	120,0	0,00	20,0	7,07	25,0	28,28	79,2	50,0	0,00	50,0	0,00	58,3	40,0	7,07	35,0	20,20	70,8
		120,0				30,0					50,0					30,0				
	T °C	22,6	0,49	22,3	2,22	23,1	0,00	23,1	0,00		23,1	0,00	23,1	0,00		23,1	0,00	23,1	0,00	
		21,9				23,1					23,1					23,1				
	PH	7,7	0,23	7,9	2,97	7,4	0,07	7,5	0,95		7,6	0,00	7,6	0,00		7,6	0,01	7,6	0,19	
		8,0				7,5					7,6					7,6				
	COT																			
	COLIFORMES	15,0	0,71	1450,0	0,05	45,0	8,49	51,0	16,64	96,5	50,0	4,95	46,5	10,64	96,8	69,0	11,31	61,0	18,55	95,8
14,0		57,0				43,0					53,0									
30/03/2011	TUBIDEZ	10,3	0,20	10,5	1,89	3,0	0,24	3,2	7,63	69,9	2,0	0,40	2,3	17,49	78,0	2,8	0,15	2,7	5,53	74,4
		10,6				3,3					2,6					2,6				
	COLOR	110,0	7,07	115,0	6,15	20,0	0,00	20,0	0,00	82,6	20,0	0,00	20,0	0,00	82,6	20,0	0,00	20,0	0,00	82,6
		120,0				20,0					20,0					20,0				
	T °C	21,8	0,07	21,9	0,32	23,0	0,07	23,1	0,31		22,9	0,07	23,0	0,31		23,5	0,28	23,3	1,21	
		21,9				23,1					23,0					23,1				
	PH	8,0	0,01	8,0	0,09	7,4	0,06	7,5	0,76		7,6	0,01	7,6	0,19		7,7	0,07	7,6	0,93	
		8,0				7,5					7,6					7,6				
	COT																			
	COLIFORMES																			
31/03/2011	TUBIDEZ	10,7	0,10	10,8	0,92	2,8	0,08	2,9	2,70	73,2	2,8	0,07	2,8	2,54	74,1	3,2	0,12	3,3	3,65	69,3
		10,8				2,9					2,7					3,4				
	COLOR	120,0	7,07	125,0	5,66	30,0	7,07	25,0	28,28	80,0	10,0	7,07	15,0	47,14	88,0	20,0	7,07	25,0	28,28	80,0
		130,0				20,0					20,0					30,0				
T °C	22,6	0,07	22,7	0,31	22,9	0,07	22,9	0,31		22,6	0,00	22,6	0,00		22,7	0,00	22,7	0,00		

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PRO M.	COEF. VAR.	% REM.	
	PH	22,7				22,8					22,6					22,7					
		7,9	0,07	8,0	0,89	6,6	0,68	7,1	9,60			7,7	0,03	7,6	0,37		7,6	0,01	7,6	0,09	
		8,0				7,6						7,7									
	COT																				
	COLIFORMES	15,0	1,41	1400,0	0,10	44,0	5,66	48,0	11,79	96,6		40,0	5,66	44,0	12,86	96,9	54,0	2,83	52,0	5,44	96,3
13,0	52,0	48,0				50,0															
01/04/2011	TUBIDEZ	9,9	0,11	9,9	1,08	2,1	0,63	2,5	25,12	74,6		2,8	0,04	2,8	1,52	71,7	3,1	0,07	3,0	2,36	69,6
		9,8				3,0						2,8					3,0				
	COLOR	60,0	0,00	60,0	0,00	20,0	0,00	20,0	0,00	66,7		20,0	7,07	15,0	47,14	75,0	20,0	0,00	20,0	0,00	66,7
		60,0				20,0						10,0					20,0				
	T °C	22,7	0,00	22,7	0,00	22,8	0,00	22,8	0,00			23,0	0,07	23,1	0,31		22,8	0,00	22,8	0,00	
		22,7				22,8						23,1					22,8				
	PH	7,9	0,03	7,9	0,36	7,4	0,05	7,4	0,67			7,5	0,01	7,4	0,19		7,5	0,01	7,4	0,09	
		7,9				7,4						7,4					7,4				
	COT																				
	COLIFORMES	14,0	0,71	1350,0	0,05	45,0	4,24	42,0	10,10	96,9		35,0	3,54	37,5	9,43	97,2	45,0	3,54	42,5	8,32	96,9
		13,0				39,0						40,0					40,0				
02/04/2011	TUBIDEZ	10,1	0,06	10,2	0,63	1,6	0,09	1,6	5,84	84,5		1,4	0,05	1,3	3,68	86,8	2,2	0,25	2,0	12,48	79,9
		10,2				1,5						1,3					1,9				
	COLOR	120,0	7,07	115,0	6,15	0,0	14,14	10,0	141,42	91,3		20,0	0,00	20,0	0,00	82,6	20,0	0,00	20,0	0,00	82,6
		110,0				20,0						20,0					20,0				
	T °C	22,6	0,00	22,6	0,00	24,3	0,00	24,3	0,00			24,1	0,07	24,2	0,29		24,0	0,00	24,0	0,00	
		22,6				24,3						24,2					24,0				
	PH	7,6	0,04	7,6	0,46	7,6	0,00	7,6	0,00			7,5	0,01	7,5	0,19		7,5	0,01	7,5	0,09	
		7,7				7,6						7,5					7,5				
	COT																				
	COLIFORMES																				
03/04/2011	TUBIDEZ	10,5	0,67	10,1	6,67	0,7	0,44	1,0	42,15	89,7		1,4	0,22	1,5	14,47	84,9	2,2	0,37	1,9	19,15	97,7
		9,6				1,4						1,7					1,7				
	COLOR	110,0	0,00	110,0	0,00	20,0	0,00	20,0	0,00	81,8		20,0	7,07	15,0	47,14	86,4	40,0	14,14	30,0	47,14	65,3
		110,0				20,0						10,0					20,0				
	T °C	22,3	0,21	22,5	0,94	22,1	0,42	22,4	1,89			23,4	0,00	23,4	0,00		23,4	0,00	23,4	0,00	
		22,6				22,7						23,4					23,4				
	PH	8,0	0,11	8,0	1,41	7,3	0,11	7,4	1,44			7,5	0,01	7,5	0,09		7,6	0,00	7,6	0,00	
8,1		7,4				7,5						7,6									
COT																					
COLIFORMES	13,0	0,71	1350,0	0,05	35,0	4,24	32,0	13,26	97,6		33,0	2,83	35,0	8,08	97,4	43,0	9,90	36,0	27,50	97,3	
14,0	29,0				37,0						29,0										
04/04/2011	TUBIDEZ	10,5	0,35	10,2	3,45	1,5	0,26	1,7	15,62	83,6		0,8	0,64	1,2	53,40	88,2	1,4	0,42	1,7	24,96	83,4
		10,0				1,9						1,7					2,0				
	COLOR	100,0	0,00	100,0	0,00	10,0	0,00	10,0	0,00	90,0		0,0	7,07	5,0	5,0	95,0	0,0	7,07	5,0	0,00	95,0
		100,0				10,0						10,0					10,0				
T °C	22,4	0,07	22,4	0,32	23,3	0,07	23,3	0,30			23,1	0,07	23,1	0,31		23,4	0,00	23,4	0,00		



FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PRO M.	COEF. VAR.	% REM.	
	PH	22,3				23,2					23,0					23,4					
		8,0	0,08	8,1	1,05	7,5	0,01	7,5	0,19		7,5	0,01	7,5	0,19		7,6	0,04	7,6	0,46		
		8,1				7,6															
	COT																				
COLIFORMES																					
05/04/2011	TUBIDEZ	10,3	0,94	11,0	8,58	2,9	0,38	2,6	14,57	76,1	1,6	0,07	1,5	4,62	86,0	2,4	0,18	2,2	7,87	79,5	
		11,6				2,4					1,5					2,1					
	COLOR	120,0	0,00	120,0	0,00	20,0	7,07	15,0	47,14	87,5	10,0	0,00	10,0	0,00	91,7	20,0	0,00	20,0	0,00	83,3	
		120,0				10,0					10,0					20,0					
	T °C	22,4	0,00	22,4	0,00	22,1	0,07	22,2	0,32		22,2	0,00	22,2	0,00		21,9	0,00	21,9	0,00		
		22,4				22,2					21,9					21,9					
	PH	7,9	0,10	7,9	1,25	7,6	0,01	7,6	0,09		7,6	0,01	7,5	0,09		7,6	0,06	7,6	0,74		
		8,0				7,6					7,7					7,7					
	COT																				
	COLIFORMES	15,0	1,41	1400,0	0,10	15,0	7,07	20,0	35,36	98,6	21,0	5,66	17,0	33,28	98,8	33,0	6,36	28,5	22,33	98,0	
13,0		25,0				13,0					24,0										
06/04/2011	TUBIDEZ	10,6	0,21	10,4	2,03	2,7	0,04	2,6	1,61	74,8	1,4	0,51	1,1	47,14	89,6	2,9	0,40	2,6	15,24	74,6	
		10,3				2,6					0,7					2,4					
	COLOR	120,0	0,00	120,0	0,00	20,0	7,07	15,0	47,14	87,5	10,0	7,07	5,0	141,42	95,8	20,0	7,07	25,0	28,28	79,2	
		120,0				10,0					0,0					30,0					
	T °C	22,7	0,07	22,7	0,31	22,6	0,00	22,6	0,00		22,6	0,00	22,6	0,00		22,6	0,00	22,6	0,00		
		22,6				22,6					22,6					22,6					
	PH	7,9	0,01	7,9	0,09	7,5	0,09	7,6	1,22		7,7	0,06	7,7	0,73		7,7	0,01	7,6	0,09		
		7,9				7,6					7,6					7,6					
	COT																				
	COLIFORMES																				
07/04/2011	TUBIDEZ	11,0	0,20	10,8	1,83	2,6	0,02	2,5	0,83	76,5	0,7	0,01	0,7	1,94	93,3	2,0	0,21	2,1	9,91	80,3	
		10,7				2,5					0,7					2,3					
	COLOR	120,0	7,07	125,0	5,66	20,0	0,00	20,0	0,00	84,0	10,0	7,07	5,0	141,42	96,0	20,0	7,07	15,0	47,14	88,0	
		130,0				20,0					0,0					10,0					
	T °C	21,3	0,00	21,3	0,00	21,6	0,00	21,6	0,00		21,8	0,00	21,8	0,00		22,1	0,00	22,1	0,00		
		21,3				21,6					21,8					22,1					
	PH	8,1	0,01	8,2	0,17	7,7	0,02	7,7	0,28		7,7	0,00	7,7	0,00		7,7	0,01	7,7	0,18		
		8,2				7,7					7,7					7,7					
	COT																				
	COLIFORMES	11,0	1,41	1200,0	0,12	15,0	2,12	16,5	12,86	98,6	19,0	0,71	18,5	3,82	98,5	29,0	5,66	25,0	22,63	97,9	
13,0		18,0				18,0					21,0										
09/04/2011	TUBIDEZ	11,5	0,28	11,7	2,42	2,4	0,03	2,4	1,19	79,7	0,4	0,06	0,3	20,87	97,4	2,4	0,18	2,2	7,87	80,8	
		11,9				2,4					0,3					2,1					
	COLOR	120,0	0,00	120,0	0,00	30,0	7,07	25,0	28,28	79,2	10,0	0,00	10,0	0,00	91,7	20,0	0,00	20,0	0,00	83,3	
120,0		20,0				10,0					20,0										
T °C	21,9	0,35	21,7	1,63	20,9	0,14	21,0	0,67		21,0	0,07	21,1	0,34		21,4	0,00	21,4	0,00			



FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PRO M.	COEF. VAR.	% REM.
	PH	21,4				21,1					21,1					21,4				
		8,1	0,05	8,1	0,61	7,6	0,00	7,6	0,00		7,7	0,04	7,7	0,46		7,6	0,00	7,6	0,00	
		8,1				7,6					7,6									
	COT																			
COLIFORMES																				
10/04/2011	TUBIDEZ	10,7	0,06	10,6	0,60	2,5	0,24	2,7	8,87	74,5	1,3	0,09	1,4	6,69	87,1	2,4	0,17	2,3	7,54	78,8
		10,6				2,9					1,4					2,1				
	COLOR	130,0	7,07	125,0	5,66	20,0	7,07	15,0	47,14	88,0	10,0	0,00	10,0	0,00	92,0	10,0	7,07	15,0	47,14	88,0
		120,0				10,0					10,0									
	T °C	21,0	0,00	21,0	0,00	22,0	0,00	22,0	0,00		22,0	0,00	22,0	0,00		21,9	0,00	21,9	0,00	
		21,0				22,0					21,9									
	PH	8,1	0,01	8,1	0,09	7,6	0,05	7,6	0,65		7,8	0,01	7,8	0,18		7,8	0,01	7,8	0,09	
		8,1				7,7					7,8									
	COT																			
	COLIFORMES	13,0	0,71	1250,0	0,06	13,0	9,19	19,5	47,14	98,4	18,0	2,12	19,5	10,88	98,4	20,0	0,00	20,0	0,00	98,4
12,0		26,0				21,0					20,0									
12/04/2011	TUBIDEZ	10,5	0,27	10,7	2,51	2,2	0,02	2,1	0,99	80,0	1,1	0,19	0,9	20,42	91,3	2,1	0,15	2,2	6,61	79,1
		10,9				2,1					0,8					2,4				
	COLOR	120,0	7,07	125,0	5,66	30,0	0,00	30,0	0,00	76,0	20,0	14,14	10,0	141,42	92,0	20,0	7,07	15,0	47,14	88,0
		130,0				30,0					0,0					10,0				
	T °C	22,0	0,00	22,0	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00		22,1	0,00	22,1	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00	
		22,0				22,2					22,1									
	PH	7,8	0,00	7,8	0,00	7,5	0,01	7,5	0,09		7,7	0,01	7,7	0,09		7,8	0,01	7,8	0,09	
		7,8				7,6					7,7									
	COT																			
	COLIFORMES	14,0	0,00	1400	0,00	13,0	1,41	14,0	10,10	99,0	17,0	0,00	17,0	0,00	98,8	23,0	8,49	17,0	49,91	98,8
14,0		15,0				17,0					11,0									
13/04/2011	TUBIDEZ	10,23	0,18	10,1	1,82	2,6	0,18	2,8	6,69	72,8	1,0	0,01	1,1	1,35	89,6	1,7	0,20	1,9	10,53	81,4
		9,97				2,9					1,1					2,0				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	20,0	7,07	15,0	47,14	87,5	10,0	7,07	5,0	141,42	95,8	20,0	7,07	15,0	47,14	87,5
		120				10,0					0,0					10,0				
	T °C	23,2	0,00	23,2	0,00	21,5	0,00	21,5	0,00		21,1	0,00	21,1	0,00		21,8	0,00	21,8	0,00	
		23,2				21,5					21,1									
	PH	7,87	0,01	7,9	0,18	7,6	0,03	7,6	0,37		7,7	0,02	7,7	0,28		7,8	0,07	7,7	0,91	
		7,89				7,6					7,7									
	COT																			
	COLIFORMES																			
14/04/2011	TUBIDEZ	9,89	0,18	10,0	1,83						1,7	0,25	1,5	17,20	85,2	2,2	0,01	2,2	0,65	78,1
		10,15									1,3					2,2				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						10,0	0,00	10,0	0,00	91,7	20,0	0,00	20,0	0,00	83,3
		120									10,0					20,0				
T °C	22,4	0,00	22,4	0,00						22,6	0,00	22,6	0,00		22,4	0,07	22,5	0,31		



FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PRO M.	COEF. VAR.	% REM.
	PH	22,4	0,04	7,9	0,45						22,6	0,09	7,6	1,22		22,5	0,04	7,8	0,45	
		7,85									7,8									
	7,9	7,9																		
	COT																			
COLIFORMES	14	77,60	1350,0	5,75	13,0	7,07	18,0	39,28	98,7	16,0	4,24	13,0	32,64	99,0						
	13				10,0															
15/04/2011	TUBIDEZ	10,3	0,04	10,3	0,34						2,5	0,35	2,8	12,86	73,2	3,0	0,08	3,0	2,87	71,2
		10,25									2,9									
	COLOR	120	9,97	120,0	8,31						20,0	7,07	15,0	47,14	87,5	20,0	0,00	20,0	0,00	83,3
		120									20,0									
	T °C	21,9	1,56	21,9	7,10						21,8	0,14	21,9	0,65		21,0	0,21	21,2	1,00	
		21,9									21,3									
	PH	7,8	77,82	7,9	990,04						7,7	0,08	7,6	1,02		7,7	0,01	7,7	0,18	
		7,92									7,7									
	COT																			
	COLIFORMES																			
16/04/2011	TUBIDEZ	10,1	0,12	10,0	1,20						3,0	0,16	2,9	5,58	71,0	2,1	0,15	2,2	6,61	77,6
		10,0									2,4									
	COLOR	120,0	0,00	120,0	0,00						20,0	7,07	15,0	47,14	87,5	20,0	7,07	15,0	47,14	87,5
		120,0									10,0									
	T °C	22,3	0,00	22,3	0,00						22,0	0,07	22,1	0,32		22,1	0,07	22,1	0,32	
		22,3									22,0									
	PH	7,7	0,05	7,7	0,64						7,5	0,05	7,5	0,66		7,5	0,04	7,6	0,56	
		7,6									7,6									
COT																				
COLIFORMES	14,0	0,00	1400,0	0,00	8,0	7,78	13,5	57,62	99,0	12,0	1,41	11,0	12,86	99,2						
14,0	10,0																			
17/04/2011	TUBIDEZ	10,04	0,00	10,0	0,00						3,1	0,01	3,0	0,47	69,7	2,7	0,17	2,6	6,48	73,9
		10,04									2,5									
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						20,0	7,07	25,0	28,28	79,2	20,0	7,07	25,0	28,28	79,2
		120									30,0									
	T °C	21,2	0,14	21,3	0,66						22,2	0,14	22,1	0,64		22,5	0,21	22,4	0,95	
		21,4									22,2									
	PH	7,65	0,02	7,7	0,28						7,6	0,08	7,7	1,11		7,6	0,03	7,6	0,37	
		7,68									7,6									
COT																				
COLIFORMES	13,0	0,71	1250,0	0,06	8,0	2,83	6,0	47,14	99,5	13,0	5,66	9,0	62,85	99,3						
12,0	5,0																			
18/04/2011	TUBIDEZ	10,35	0,22	10,2	2,15											3,0	0,46	2,7	17,18	73,8
		10,04														2,4				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00											20,0	7,07	25,0	28,28	79,2
		120														30,0				
T °C	22	0,07	22,0	0,32	22,2	0,00	22,2	0,00												

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PRO M.	COEF. VAR.	% REM.						
	PH	21,9	0,01	7,7	0,18											22,2	0,00	7,6	0,00							
		7,72														7,6										
		7,74														7,6										
	COT																									
COLIFORMES																										
19/04/2011	TUBIDEZ	9,24	0,55	9,6	5,73																					
		10,02																				2,7	0,17	2,6	6,48	72,8
	120	2,5																								
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00																	20,0	0,00	20,0	0,00	83,3
		120																				20,0				
	T °C	23,5	0,00	23,5	0,00																	20,9	0,21	21,1	1,01	
		23,5																				21,2				
	PH	7,71	0,08	7,7	1,11																	7,6	0,06	7,6	0,74	
		7,59																				7,7				
	COT																									
COLIFORMES	13,0	1,41	1200,0	0,12	6,0	4,95	9,5	52,10	99,2																	
	11,0				13,0																					

Tabla A.1.4. Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de 12 m³/m².día en presencia de luz solar.

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PRO M.	COEF. VAR.	% REM.
03/12/2010	TUBIDEZ	10	0,06	10,0	0,56	3,5	0,26	3,7	7,10	63,3	4,34	0,04	4,37	0,97	56,5	3,37	0,01	3,38	0,42	66,3
		10,08				3,87					4,4					3,39				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	7,07	35,0	20,20	70,8	40	7,07	35	20,20	70,8	30	0,00	30	0,00	75,0
		120				40					30									
	T °C	24,5	0,14	24,4	0,58	24,2	0,00	24,2	0,00		24,2	0,00	24,2	0,00		24,2	0,00	24,2	0,00	
		24,3				24,2					24,2									
	PH	8,1	0,09	8,0	1,14	7,7	0,01	7,7	0,18		7,68	0,02	7,665	0,28		7,66	0,03	7,64	0,37	
		7,97				7,68					7,62									
	COT	4,531				2,10					53,7	1,58				65,2	2,32			48,8
	COLIFORMES	15	0,71	1450,0	0,05	12	2,83	1000,0	0,28	31,0	9	0,71	950	0,07	34,5	11	0,71	1050	0,07	27,6
14		8				10					10									
04/12/2010	TUBIDEZ	10,12	0,10	10,1	0,99	3,1	0,11	3,2	3,34	68,4	3,67	0,02	3,655	0,58	63,6	3,5	0,01	3,51	0,40	65,1
		9,98				3,25					3,64					3,52				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	0,00	30,0	0,00	75,0	40	7,07	35	20,20	70,8	30	7,07	35	20,20	70,8
		120				30					30									
	T °C	21,3	0,07	21,4	0,33	22,5	0,00	22,5	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00	
		21,4				22,5					22,4									
	PH	8,02	0,01	8,0	0,09	7,79	0,13	7,7	1,65		7,68	0,15	7,575	1,96		7,6	0,12	7,685	1,56	
		8,03				7,61					7,47									
	COT	4,366				2,87					34,2	1,79			59,0	2,31				47,0
	COLIFORMES	15	0,00	1500,0	0,00	9	0,71	950,0	0,07	36,7	7	4,24	1000	0,42	33,3	12	0,71	1150	0,06	23,3

		15				10				13					11					
05/12/2010	TUBIDEZ	9,79	0,11	9,9	1,15	3,02	0,04	3,0	1,18	69,7	2,92	0,13	3,015	4,46	69,5	3,04	0,35	3,29	10,75	66,7
		9,95				2,97					3,11					3,54				
	COLOR	110	7,07	115,0	6,15	30	0,00	30,0	0,00	73,9	30	0,00	30	0,00	73,9	30	0,00	30	0,00	73,9
		120				30					30					30				
	T °C	22,5	0,14	22,4	0,63	23,4	0,00	23,4	0,00		23,4	0,07	23,35	0,30		23,4	0,00	23,4	0,00	
		22,3				23,4					23,3					23,4				
	PH	8,02	0,03	8,0	0,35	7,57	0,04	7,5	0,47		7,57	0,03	7,59	0,37		7,6	0,01	7,59	0,19	
		7,98				7,52					7,61					7,58				
	COT	4,25				2,90				31,8	2,23				47,5	2,38				44,0
	COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05	9	0,71	850,0	0,08	37,0	9	0,00	900	0,00	33,3	6	4,24	900	0,47	33,3
14		8				9					12									
06/12/2010	TUBIDEZ	9,82	0,11	9,9	1,07	3,75	0,16	3,9	4,21	60,9	3,8	0,04	3,83	1,11	61,3	3,4	0,11	3,47	3,05	64,9
		9,97				3,98					3,86					3,55				
	COLOR	110	7,07	115,0	6,15	50	0,00	50,0	0,00	56,5	30	0,00	30	0,00	73,9	30	0,00	30	0,00	73,9
		120				50					30					30				
	T °C	23,3	0,07	23,4	0,30	23,9	0,00	23,9	0,00		23,4	0,00	23,4	0,00		23,5	0,07	23,4	0,30	
		23,4				23,9					23,4					23,4				
	PH	7,87	0,13	7,8	1,64	7,53	0,08	7,6	1,03		7,62	0,11	7,695	1,38		7,54	0,06	7,5	0,75	
		7,69				7,64					7,77					7,46				
	COT	4,57				3,05				33,3	2,87				37,1	2,46				46,0
	COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05	11	2,12	950,0	0,22	29,6	11	0,71	1050	0,07	22,2	9	2,12	1050	0,20	22,2
14		8				10					12									
07/12/2010	TUBIDEZ	10,1	0,06	10,1	0,56	3,78	0,25	3,6	6,87	64,2	3,56	0,07	3,51	2,01	65,1	3,21	0,54	3,59	15,15	64,3
		10,02				3,43					3,46					3,98				
	COLOR	110	7,07	115,0	6,15	30	0,00	30,0	0,00	73,9	30	7,07	25	28,28	78,3	30	0,00	30	0,00	73,9
		120				30					20					30				
	T °C	22,5	0,14	22,4	0,63	23,4	0,00	23,4	0,00		23,4	0,07	23,35	0,30		23,4	0,00	23,4	0,00	
		22,3				23,4					23,3					23,4				
	PH	8,02	0,03	8,0	0,35	7,57	0,04	7,5	0,47		7,57	0,03	7,59	0,37		7,6	0,01	7,59	0,19	
		7,98				7,52					7,61					7,58				
	COT	4,97				3,25				34,6	2,7				45,7	3,57				28,2
	COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05	9	0,71	850,0	0,08	37,0	9	0,00	900	0,00	33,3	6	4,24	900	0,47	33,3
14		8				9					12									
08/12/2010	TUBIDEZ	10,23	0,11	10,2	1,04						4,44	0,23	4,28	5,29	57,9	4,5	0,27	4,31	6,23	57,6
		10,08				4,12					4,12					4,12				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						30	0,00	30	0,00	75,0	30	0,00	30	0,00	75,0
		120				30					30					30				
	T °C	21,4	0,07	21,4	0,33						22,3	0,07	22,35	0,32		22,5	0,07	22,4	0,31	
		21,3				22,4					22,4					22,4				
	PH	7,86	0,05	7,8	0,63						7,7	0,08	7,64	1,11		7,35	0,04	7,37	0,48	
		7,79				7,58					7,4					7,4				
	COT	4,87									3,04				37,5	3,62				25,6
	COLIFORMES	15	0,71	1450,0	0,05						11	2,83	900	0,31	37,9	8	2,83	1000	0,28	31,0
14		7				12														

09/12/2010	TUBIDEZ	9,9	0,07	10,0	0,71		4,23	0,08	4,17	2,03	58,1	4,15	0,07	4,2	1,68	57,8									
		10					4,11					4,25													
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00		30					7,07					25	28,28	79,2	30	0,00	30	0,00	75,0	
		120					20													30					
	T °C	22,5	0,00	22,5	0,00		22,4					0,00					22,4	0,00		22,3	0,07	22,3	5	0,32	
		22,5					22,4													22,4					
	PH	7,97	0,08	7,9	1,07		7,43					0,05					7,465	0,66		7,56	0,04	7,53	0,56		
		7,85					7,5													7,5					
	COT	4,78					3,68												22,8	4				16,3	
	COLIFORMES	14	0,71	1450,0	0,05		10					2,12					850	0,25	41,4	10	1,41	900	0,16	37,9	
15		7				8																			
10/12/2010	TUBIDEZ	10,5	0,42	10,2	4,16							3,97	0,06	4,01	1,41	60,7									
		9,9										4,05					4,05								
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00							30					7,07	25	28,28	79,2	20	0,07	22,3	5	0,32
		120										22,4									22,4				
	T °C	21,5	0,00	21,5	0,00							22,3					0,06	7,69	0,74		7,73	0,06	7,69	0,74	
		21,5										7,65									7,65				
	PH	7,92	0,04	7,9	0,45							3,87									3,87				15,6
		7,97										9									9				
	COT	4,586										9					0,00	900	0,00	33,3					
	COLIFORMES	14	0,71	1350,0	0,05							9													
13																									
11/12/2010	TUBIDEZ	10,02	0,15	10,1	1,47							3,97	0,20	4,11	4,82	59,4									
		10,23										4,25					4,25								
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66							30					7,07	25	28,28	80,0	20	0,00	22,3	0,00	
		130										22,3									22,3				
	T °C	22,3	0,07	22,3	0,32							22,3					0,01	7,69	0,18		7,7	0,01	7,69	0,18	
		22,2										7,68									7,68				
	PH	7,87	0,03	7,9	0,36							3,97									3,97				19,3
		7,83										8									10				
	COT	4,922										8					1,41	900	0,16	35,7					
	COLIFORMES	14	0,00	1400,0	0,00							10													
14																									
12/12/2010	TUBIDEZ	10,5	0,21	10,4	2,05							4	0,18	3,87	5	4,56	62,6								
		10,2										3,75						3,75							
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66							40	0,00	40	0,00	68,0	40	0,00	22,2	0,00					
		130										22,2					22,2								
	T °C	22,1	0,14	22,2	0,64							22,2	0,06	7,49	0,76		7,45	0,06	7,49	0,76					
		22,3										7,53					7,53								
	PH	7,92	0,06	8,0	0,71							11					11	1,41	1000	0,14	25,9				
		8										9													
	COT											9													
	COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05																				
14																									

REPLICA - Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de 12 m³/m² día en presencia de luz solar.

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PRO M.	COEF. VAR.	% REM.
14/12/2010	TUBIDEZ	10,2	0,05	10,2	0,49	4	0,16	4,1	3,95	59,5	3,98	0,06	3,94	1,44	61,2	3,87	0,02	3,885	0,55	61,8
		10,13				4,23										3,9				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	7,07	35,0	20,20	70,8	30	0,00	30	0,00	75,0	30	7,07	35	20,20	70,8
		120				40										30				
	T °C	24,3	0,00	24,3	0,00	24,2	0,00	24,2	0,00		24,4	0,07	24,35	0,29		24,3	0,00	24,3	0,00	
		24,3				24,2										24,3				
	PH	7,98	0,01	8,0	0,09	7,7	0,01	7,7	0,18		7,7	0,05	7,665	0,65		7,5	0,08	7,56	1,12	
		7,97				7,68										7,63				
	COT																			
	COLIFORMES	15	0,00	1500,0	0,00	12	0,71	1150,0	0,06	23,3	11	0,71	1050	0,07	30,0	10	0,00	1000	0,00	33,3
15		11				10														
15/12/2010	TUBIDEZ	10	0,04	10,0	0,35	3,76	0,10	3,8	2,58	61,8	4	0,01	3,99	0,35	60,2	3,9	0,02	3,885	0,55	61,2
		10,05				3,9										3,98				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	0,00	30,0	0,00	75,0	20	7,07	25	28,28	79,2	30	0,00	30	0,00	75,0
		120				30					30									
	T °C	21,2	0,07	21,2	0,33	22,3	0,00	22,3	0,00		22,2	0,07	22,25	0,32		22,4	0,00	22,4	0,00	
		21,1				22,3					22,4									
	PH	7,95	0,01	8,0	0,09	7,63	0,01	7,6	0,19		7,7	0,01	7,69	0,18		7,78	0,04	7,755	0,46	
		7,96				7,61					7,73									
	COT																			
	COLIFORMES	14	0,71	1350,0	0,05	9	0,71	950,0	0,07	29,6	7	4,24	1000	0,42	25,9	6	3,54	850	0,42	37,0
13		10				13														
16/12/2010	TUBIDEZ	9,8	0,11	9,9	1,07	3,02	0,04	3,0	1,18	69,7	3,56	0,10	3,63	2,73	63,2	3,04	0,35	3,29	10,75	66,7
		9,95				2,97					3,7									
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	30	0,00	30,0	0,00	75,0	30	7,07	25	28,28	79,2	30	0,00	30	0,00	75,0
		120				30					20									
	T °C	22,3	0,07	22,3	0,32	23,4	0,00	23,4	0,00		23,3	0,00	23,3	0,00		23,4	0,07	23,35	0,30	
		22,2				23,4					23,3									
	PH	7,9	0,06	7,9	0,71	7,57	0,04	7,5	0,47		7,67	0,01	7,66	0,18		7,45	0,09	7,515	1,22	
		7,98				7,52					7,65									
	COT																			
	COLIFORMES	12	1,41	1300,0	0,11	10	2,83	800,0	0,35	38,5	7	0,00	700	0,00	46,2	8	0,71	850	0,08	34,6
14		6				7														
17/12/2010	TUBIDEZ	10	0,02	10,0	0,21	3,75	0,16	3,9	4,21	61,3	3,8	0,04	3,83	1,11	61,6	3,4	0,11	3,475	3,05	65,2
		9,97				3,98					3,86									
	COLOR	110	7,07	115,0	6,15	30	14,14	40,0	35,36	65,2	30	0,00	30	0,00	73,9	30	0,00	30	0,00	73,9
		120				50					30									
	T °C	23,2	0,00	23,2	0,00	23,9	0,00	23,9	0,00		23,4	0,00	23,4	0,00		23,5	0,07	23,45	0,30	
		23,2				23,9					23,4									
	PH	7,87	0,01	7,9	0,18	7,53	0,08	7,6	1,03		7,62	0,11	7,695	1,38		7,54	0,06	7,5	0,75	
		7,89				7,64					7,77									

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVESTES	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	
	COT																				
	COLIFORMES	13 14	0,71	1350,0	0,05	11 8	2,12	950,0	0,22	29,6	11 10	0,71	1050	0,07	22,2	9 12	2,12	1050	0,20	22,2	
18/12/2010	TUBIDEZ	10,1 10,02	0,06	10,1	0,56	3,78 3,73	0,04	3,8	0,94	62,7	3,76 3,86	0,07	3,81	1,86	62,1	3,51 3,78	0,19	3,645	5,24	63,8	
	COLOR	110 120	7,07	115,0	6,15	30 30	0,00	30,0	0,00	73,9	30 20	7,07	25	28,28	78,3	30 30	0,00	30	0,00	73,9	
	T °C	22,5 22,3	0,14	22,4	0,63	23,3 23,2	0,07	23,3	0,30		23,4 23,3	0,07	23,35	0,30		23,3 23,3	0,00	23,3	0,00		
	PH	8,02 7,98	0,03	8,0	0,35	7,67 7,58	0,06	7,6	0,83		7,6 7,54	0,04	7,57	0,56		7,68 7,54	0,10	7,61	1,30		
	COT																				
	COLIFORMES	13 14	0,71	1350,0	0,05	9 8	0,71	850,0	0,08	37,0	9 9	0,00	900	0,00	33,3	6 12	4,24	900	0,47	33,3	
	TUBIDEZ	10,02 10,12	0,07	10,1	0,70							3,9 3,81	0,06	3,855	1,65	61,7	3,76 3,66	0,07	3,71	1,91	63,2
	COLOR	120 120	0,00	120,0	0,00							30 20	7,07	25	28,28	79,2	30 20	7,07	25	28,28	79,2
	T °C	21,1 21,2	0,07	21,2	0,33							22,3 22,4	0,07	22,35	0,32		22,3 22,3	0,00	22,3	0,00	
	PH	8,02 7,9	0,08	8,0	1,07							7,65 7,52	0,09	7,585	1,21		7,54 7,4	0,10	7,47	1,33	
COT																					
COLIFORMES	13 15	1,41	1400,0	0,10							10 10	0,00	1000	0,00	28,6	10 9	0,71	950	0,07	32,1	
20/12/2010	TUBIDEZ	9,96 10	0,03	10,0	0,28						3,56 3,87	0,22	3,715	5,90	62,8	3,86 3,78	0,06	3,82	1,48	61,7	
	COLOR	120 110	7,07	115,0	6,15						30 20	7,07	25	28,28	78,3	30 20	7,07	25	28,28	78,3	
	T °C	22,2 22,1	0,07	22,2	0,32						22,4 22,3	0,07	22,35	0,32		22,2 22,4	0,14	22,3	0,63		
	PH	7,83 7,85	0,01	7,8	0,18						7,64 7,58	0,04	7,61	0,56		7,74 7,59	0,11	7,665	1,38		
	COT																				
	COLIFORMES	13 14	0,71	1350,0	0,05							5 7	1,41	600	0,24	55,6	9 6	2,12	750	0,28	44,4
21/12/2010	TUBIDEZ	10 10,06	0,04	10,0	0,42						3,4 3,46	0,04	3,43	1,24	65,8	3,56 3,36	0,14	3,46	4,09	65,5	
	COLOR	120 110	7,07	115,0	6,15						30 20	7,07	25	28,28	78,3	30 20	7,07	25	28,28	78,3	
	T °C	21,3 21,2	0,07	21,3	0,33						22,2 22,4	0,14	22,3	0,63		22,3 22,4	0,07	22,35	0,32		
	PH	8,03 8	0,02	8,0	0,26						7,54 7,47	0,05	7,505	0,66		7,33 7,43	0,07	7,38	0,96		
	COT																				
	COLIFORMES																				

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
	COT																			
	COLIFORMES	15	0,00	1500,0	0,00						10	3,54	750	0,47	50,0	4	2,12	550	0,39	63,3
22/12/2010	TUBIDEZ	9,97	0,05	10,0	0,49											3,54	0,01	3,53	0,40	64,7
		10,04														3,52				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00											20	0,00	20	0,00	83,3
		120														20				
	T °C	22,3	0,07	22,3	0,32											22,2	0,00	22,2	0,00	
		22,2														22,2				
	PH	8,02	0,07	8,0	0,89											7,64	0,21	7,49	2,83	
		7,92														7,34				
COT																				
COLIFORMES	13	1,41	1400,0	0,10											8	2,83	600	0,47	57,1	
	15														4					
23/12/2010	TUBIDEZ	10	0,35	10,3	3,45											3,45	0,17	3,33	5,10	67,5
		10,5														3,21				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00											20	0,00	20	0,00	83,3
		120														20				
	T °C	22,4	0,07	22,4	0,32											22,2	0,00	22,2	0,00	
		22,3														22,2				
	PH	7,92	0,01	7,9	0,18											7,34	0,01	7,33	0,19	
		7,9														7,32				
COLIFORMES	13	0,71	1350,0	0,05											6	1,41	700	0,20	48,1	
	14														8					

Tabla A.1.5. Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de 12 m³/m².día en ausencia de luz solar.

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
28/04/2010	TUBIDEZ	9,24	0,47	9,6	4,88	3,83	0,22	4,0	5,50	58,4	4,34	0,04	4,37	0,97	54,3	3,37	0,01	3,38	0,42	64,7
		9,9				4,14					4,4					3,39				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	40	0,00	40,0	0,00	66,7	40	0,00	40	0,00	66,7	30	0,00	30	0,00	75,0
		120				40					40					30				
	T °C	24,1	0,00	24,1	0,00	24,2	0,00	24,2	0,00		24,2	0,00	24,2	0,00		24,2	0,00	24,2	0,00	
		24,1				24,2					24,2					24,2				
	PH	8,01	0,12	7,9	1,52	7,69	0,03	7,7	0,37		6,68	0,69	7,165	9,57		7,66	0,03	7,64	0,37	
		7,84				7,65					7,65					7,62				
COT	4,85				2,52					48,0	2,787				42,5	2,67				44,9
COLIFORMES	13	1,41	1400,0	0,10	10	1,41	900,0	0,16	35,7	9	0,71	9,5	7,44	99,3	10	0,71	1050	0,07	25,0	
	15				8					10					11					
29/04/2010	TUBIDEZ	9,58	0,23	9,7	2,32	3,13	0,21	3,3	6,26	66,4	3,81	0,12	3,725	3,23	61,8	3,39	0,22	3,235	6,78	66,8
		9,9				3,42				3,64					3,08					
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	3,13	0,21	3,3	6,26	97,3	40	0,00	40	0,00	66,7	40	0,00	40	0,00	66,7
		120				3,42					40					40				

	T °C	21,4	0,00	21,4	0,00	22,5	0,00	22,5	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00	
		21,4				22,5					22,4									
	PH	8,04	0,04	8,0	0,53	7,79	0,13	7,7	1,65		7,62	0,03	7,6	0,37		7,58	0,03	7,56	0,37	
		7,98				7,61					7,58									
COT	4,772				2,624				45,0	2,664				44,2	2,612					45,3
COLIFORMES	16	2,12	1450,0	0,15	9	1,41	1000,0	0,14	31,0	10	0,71	950	0,07	34,5	10	2,12	850	0,25	41,4	
	13				11					9					7					
30/04/2010	TUBIDEZ	9,84	0,21	9,7	2,12	2,33	0,06	2,3	2,79	76,4	2,92	0,06	2,965	2,15	69,4	2,3	0,05	2,335	2,12	75,9
		9,55				2,24					3,01					2,37				
	COLOR	110	7,07	115,0	6,15	30	7,07	25,0	28,28	78,3	30	0,00	30	0,00	73,9	30	14,14	20	70,71	82,6
		120				20					30					10				
	T °C	22,5	0,00	22,5	0,00	23,4	0,00	23,4	0,00		23,4	0,00	23,4	0,00		23,4	0,00	23,4	0,00	
		22,5				23,4					23,4									
	PH	7,98	0,16	7,9	2,07	7,55	0,02	7,5	0,28		7,45	0,04	7,475	0,47		7,44	0,04	7,465	0,47	
		7,75				7,52					7,5					7,49				
	COT	4,064				2,618				35,6	2,751				32,3	2,789				31,4
	COLIFORMES	15	0,00	1500	0,00	10	0,00	1000,0	0,00	33,3	8	0,71	850	0,08	43,3	6	3,54	850	0,42	43,3
		15				10					9					11				
	01/05/2010	TUBIDEZ	9,24	0,55	9,6	5,73	3,75	0,16	3,9	4,21	59,9	3,8	0,37	4,06	9,06	57,8	3,44	0,11	3,36	3,37
10,02			3,98				4,32					3,28								
COLOR		120	0,00	120,0	0,00	50	0,00	50,0	0,00	58,3	30	0,00	30	0,00	75,0	20	7,07	25	28,28	79,2
		120				50					30					30				
T °C		23,5	0,00	23,5	0,00	22,9	0,00	22,9	0,00		23,0	0,07	23,0	0,3		23,1	0,1	23,1	0,31	
		23,5				22,9					24,4					23,0				
PH		7,71	0,08	7,7	1,11	7,53	0,08	7,6	1,03		7,58	0,00	7,58	0,00		7,59	0,02	7,575	0,28	
		7,59				7,64					7,58					7,56				
COT		4,63				3,785				18,3	3,065				33,8	2,367				48,9
COLIFORMES		15	1,41	1400,0	0,10	10	1,41	900,0	0,16	35,7	9	1,41	800	0,18	42,9	8	1,41	700	0,20	50,0
		13				8					7					6				
03/05/2010		TUBIDEZ	10,11	0,06	10,1	0,63	3,65	0,05	3,7	1,34	63,4	3,7	0,11	3,775	2,81	62,5	3,2	0,04	3,225	1,10
	10,02		3,72				3,85					3,25								
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	40	7,07	35,0	20,20	70,8	30	0,00	30	0,00	75,0	30	7,07	25	28,28	79,2
		120				30					30					20				
	T °C	23,5	0,00	23,5	0,00	22,8	0,00	22,8	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00		22,8	0,00	22,8	0,00	
		23,5				22,8					22,5					22,8				
	PH	7,95	0,06	7,9	0,72	7,5	0,01	7,5	0,19		7,55	0,04	7,575	0,47		7,53	0,04	7,505	0,47	
		7,87				7,52					7,6					7,48				
	COT	4,897				3,561				27,3	2,87				41,4	3,57				27,1
	COLIFORMES	13	0,71	1350	0,05	9	1,41	800,0	0,18	40,7	7	0,00	700	0,00	48,1	8	0,00	800	0,00	40,7
		14				7					7					8				
	04/05/2010	TUBIDEZ	11,05	0,11	11,0	1,03						5	0,25	4,825	5,13	56,0	4,61	0,23	4,775	4,89
10,89			4,65									4,94								
COLOR		140	14,14	130,0	10,88						40	0,00	40	0,00	69,2	40	0,00	40	0,00	69,2
		120									40					40				
T °C	21,3	0,00	21,3	0,00						22,2	0,00	22,2	0,00		22,2	0,00	22,2	0,00		
	21,3									22,2					22,2					

	PH	7,64	0,02	7,7	0,28		7,65	0,13	7,555	1,78		7,35	0,02	7,335	0,29	
		7,67					7,46					7,32				
	COT	5,207					3,211			38,3		3,625				
	COLIFORMES	14	0,00	1400,0	0,00		8	1,41	700	0,20		8	2,12	650	0,33	53,6
		14					6					5				
05/05/2010	TUBIDEZ	12,5	0,49	12,2	4,07			3,64	0,31	3,42		9,10		3,22	0,11	
		11,8				3,2		3,06								
	COLOR	130	0,00	130,0	0,00	20		14,14	30	47,14	76,9	40		7,07	35	20,20
		130				40	30									
	T °C	22	0,00	22,0	0,00	22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00		
		22				22,5										
	PH	7,95	0,21	7,8	2,63	7,21	0,03	7,19	0,39			7,59	0,25		7,41	3,44
		7,66				7,17				7,23						
	COT	4,46				3,33			25,3	4,021					9,8	
	COLIFORMES	13	1,41	1200,0	0,12	5	1,41	600	0,24	50,0	5	1,41	600	0,24	50,0	
11		7				7										
06/05/2010	TUBIDEZ	10,5	0,21	10,4	2,05								4			0,18
		10,2								3,75						
	COLOR	120	7,07	125,0	5,66					40			0,00	40		40
		130				22,2	22,2									
	T °C	21,8	0,00	21,8	0,00	22,2	0,00	21,8		22,2	0,00	22,2	0,00			
		21,8				7,45				7,53						
	PH	7,92	0,16	7,8	1,99	7,45	0,06	7,49		0,76	7,53	0,06		7,49	0,76	
		7,7				3,779										
	COT	4,21				7					7					10,2
	COLIFORMES	14	0,71	1350,0	0,05	7	0,00	700	0,00	7	0,00	700	0,00	48,1		
13		7														
07/05/2010	TUBIDEZ	10	0,07	10,1	0,70										4	0,18
		10,1							3,75							
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00				40				0,00	40		40
		120				22,2	22,2									
	T °C	21,5	0,00	21,5	0,00	22,2	0,00	22,2		22,2	0,00	22,2	0,00			
		21,5				7,45				7,53						
	PH	8	0,11	7,9	1,34	7,45	0,06	7,49		0,76	7,53	0,06		7,49	0,76	
		7,85				4,008										
	COT	4,132				6					6					3,0
	COLIFORMES	12	0,71	1150	0,06	7	0,71	650	0,11	7	0,71	650	0,11	43,5		
11																

REPLICA - Resultados de características fisicoquímicas y microbiológicas a una tasa de 12 m³/m².día en ausencia de luz solar.

FECHA	PARAMETRO	ENTRADA	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	SF1	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF2	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.	SF3	DESVEST	PROM.	COEF. VAR.	% REM.
10/05/2010	TUBIDEZ	10,5	0,27	10,3	2,61	4,01	0,05	4,0	1,22	60,8	3,95	0,11	4,025	2,64	61,0	3,8	0,11	3,875	2,74	62,4
		10,12				4,08					4,1					3,95				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	40	0,00	40,0	0,00	66,7	40	7,07	45	15,71	62,5	40	0,00	40	0,00	66,7



	T °C	120				40					50					40				
		22,3	0,00	22,3	0,00	21,8	0,00	21,8	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00	
	PH	8,07	0,04	8,0	0,53	7,8	0,13	7,7	1,74		7,6	0,08	7,66	1,11		7,54	0,04	7,57	0,56	
		8,01				7,61					7,72					7,6				
	COLIFORMES	12	0,00	1200,0	0,00	6	1,41	7,0	20,20	99,4	7	1,41	800	0,18	33,3	7	2,83	900	0,31	25,0
	12				8					9					11					
11/05/2010	TUBIDEZ	9,85	0,12	9,9	1,21	3,98	0,03	4,0	0,71	59,7	4,21	0,06	4,17	1,36	58,0	4,15	0,04	4,175	0,85	58,0
		10,02				4,02					4,13					4,2				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	40	0,00	40,0	0,00	66,7	40	0,00	40	0,00	66,7	50	0,00	50	0,00	58,3
		120				40					40					50				
	T °C	21,8	0,00	21,8	0,00	22,5	0,00	22,5	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00		22,4	0,00	22,4	0,00	
		21,8				22,5					22,4					22,4				
	PH	7,8	0,15	7,9	1,88	7,7	0,05	7,7	0,65		7,54	0,03	7,52	0,38		7,6	0,06	7,64	0,74	
8,01					7,63					7,5					7,68					
COLIFORMES	13	1,41	1200,0	0,12	7	0,00	700,0	0,00	41,7	9	0,00	900	0,00	25,0	8	1,41	900	0,16	25,0	
	11				7					9					10					
12/05/2010	TUBIDEZ	10,8	0,59	10,4	5,65	3,4	0,04	3,4	1,03	67,0	3,5	0,08	3,56	2,38	65,7	3,2	0,20	3,34	5,93	67,8
		9,97				3,45					3,62					3,48				
	COLOR	120	7,07	115,0	6,15	40	0,00	40,0	0,00	65,2	40	7,07	35	20,20	69,6	20	7,07	25	28,28	78,3
		110				40					30					30				
	T °C	22	0,00	22,0	0,00	22,4	0,07	22,4	0,32		22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00	
		22				22,3					22,5					22,5				
	PH	7,92	0,05	7,9	0,63	7,62	0,01	7,6	0,19		7,68	0,12	7,765	1,55		7,5	0,08	7,555	1,03	
7,85					7,6					7,85					7,61					
COLIFORMES	13	0,71	1250,0	0,06	8	0,71	850,0	0,08	32,0	8	1,41	700	0,20	44,0	9	1,41	800	0,18	36,0	
	12				9					6					7					
13/05/2010	TUBIDEZ	9,95	0,32	9,7	3,27	3,65	0,16	3,5	4,39	63,6	2,3	0,14	2,4	5,89	75,3	2,7	0,22	2,855	7,68	70,6
		9,5				3,43					2,5					3,01				
	COLOR	110	7,07	115,0	6,15	40	0,00	40,0	0,00	65,2	20	7,07	25	28,28	78,3	20	14,14	30	47,14	73,9
		120				40					30					40				
	T °C	22,5	0,00	22,5	0,00	22,8	0,00	22,8	0,00		22,8	0,00	22,8	0,00		22,8	0,00	22,8	0,00	
		22,5				22,8					22,8					22,8				
	PH	7,82	0,02	7,8	0,27	7,63	0,01	7,6	0,19		7,70	0,01	7,71	0,18		7,55	0,04	7,575	0,47	
7,85					7,65					7,72					7,6					
COLIFORMES	12	1,41	1300,0	0,11	10	3,54	750,0	0,47	42,3	4	3,54	650	0,54	50,0	5	4,24	800	0,53	38,5	
	14				5					9					11					
14/05/2010	TUBIDEZ	9,5	0,35	9,8	3,63	3,41	0,12	3,5	3,44	64,2	4,01	0,06	3,965	1,61	59,3	3,3	0,01	3,29	0,43	66,3
		10				3,58					3,92					3,28				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00	20	7,07	25,0	28,28	79,2	40	0,00	40	0,00	66,7	40	0,00	40	0,00	66,7
120					30					40					40					
T °C	22,4	0,00	22,4	0,00	22,6	0,00	22,6	0,00		22,6	0,00	22,6	0,00		22,6	0,00	22,6	0,00		

		22,4				22,6					22,6					22,6				
	PH	7,85	0,04	7,9	0,45	7,72	0,03	7,7	0,37		7,6	0,04	7,575	0,47		7,65	0,04	7,675	0,46	
	COT	7,9				7,68					7,55					7,7				
	COLIFORMES	11	2,12	1250,0	0,17	7	0,71	750,0	0,09	40,0	5	1,41	600	0,24	52,0	7	2,12	550	0,39	56,0
		14				8					7					4				
15/05/2010	TUBIDEZ	10,3	0,04	10,3	0,34						4,25	0,05	4,285	1,16	58,3	4,7	0,08	4,64	1,83	54,8
		10,25									4,32					4,58				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00						40	0,00	40	0,00	66,7	50	7,07	45	15,71	62,5
		120									40					40				
	T °C	21,9	0,00	21,9	0,00						22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00	
		21,9									22,5					22,5				
PH	7,8	0,08	7,9	1,08						7,85	0,04	7,825	0,45		7,4	0,01	7,405	0,10		
	7,92									7,8					7,41					
COT																				
COLIFORMES	12	0,71	1250,0	0,06						7	0,71	750	0,09	40,0	5	0,00	500	0,00	60,0	
	13									8					5					
16/05/2010	TUBIDEZ	9,83	0,08	9,9	0,86						3,7	0,11	3,62	3,13	63,4	3,4	0,04	3,375	1,05	65,9
		9,95									3,54					3,35				
	COLOR	100	14,14	110,0	12,86						20	0,00	20	0,00	81,8	20	0,00	20	0,00	81,8
		120									20					20				
	T °C	22,3	0,00	22,3	0,00						22,5	0,00	22,5	0,00		22,5	0,00	22,5	0,00	
		22,3									22,5					22,5				
PH	7,71	0,05	7,7	0,64						7,59	0,05	7,555	0,66		7,51	0,04	7,48	0,57		
	7,64									7,52					7,45					
COT																				
COLIFORMES	13	0,00	1300,0	0,00						8	2,83	600	0,47	53,8	6	1,41	700	0,20	46,2	
	13									4					8					
17/05/2010	TUBIDEZ	10,01	0,08	10,0	0,78											4,1	0,08	4,16	2,04	58,2
		9,9														4,22				
	COLOR	120	0,00	120,0	0,00											30	0,00	30	0,00	75,0
		120														30				
	T °C	22,3	0,00	22,3	0,00											22,5	0,00	22,5	0,00	
		22,3														22,5				
PH	7,75	0,05	7,7	0,64											7,52	0,03	7,5	0,38		
	7,68														7,48					
COT																				
COLIFORMES	14	0,00	1400,0	0,00											9	4,24	600	0,71	57,1	
	14														3					

Anexo 2. Cálculo de los costos de los sistemas de filtración evaluados.

Tabla A.2. Formatos de cálculo de costos para el sistema de filtración evaluado a 2012.

REPLANTEO					
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Largueros hiladeras	largueros	18	4,500	81,000	
Madeja de hilo	madeja	1	3,500	3,500	
Clavos de 2" y 3"	cajas	4	2,500	10,000	
Manguera de niveles	m	15	1,200	18,000	
Acarreo material	global	1	15,000	15,000	
TOTAL MATERIALES				127,500	
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ayudante	día	6	25,000	150,000	
Oficial	día	3	80,000	240,000	
TOTAL MANO DE OBRA				390,000	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					517,500
EXCAVACIÓN A MANO HASTA 2,20m DE PROFUNDIDAD					
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ayudante	m ³ excavados	508.32	20,000	10,166,400	
TOTAL MANO DE OBRA				10,166,400	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					10,166,400
RETIRO SOBANTES DE TIERRA					
ACARREO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Volqueta	m ³ excavados	762.48	20,000	5,083,200	
TOTAL ACARREO				15,249,600	
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ayudante	m ³ excavados	508.32	10,000	5,083,200	
TOTAL MANO DE OBRA				5,083,200	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					20,332,800

SOLADO (CONCRETO 1:3:5; 2.000psi)

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Cemento	bultos	38	21,000	798,000	
Arena	m ³	4,63	55,000	254,650	
Agregado	m ³	7.68	50,000	384,000	
TOTAL MATERIALES					1,436,000

HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Concretadora	Día	2	23,000	46,000	
TOTAL HERRAMIENTA Y EQUIPO					

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Contratista	m ²	208.80	12,000	2,505,600	
TOTAL MANO DE OBRA					

TOTAL COSTOS DIRECTOS	3,987,600
------------------------------	------------------

CONCRETO FUNDACIONES Y PISO 1:2:3 (3.000psi)

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Cemento	bultos	500	21,000	10,500,000	
Arena	m ³	35.63	55,000	1,959,650	
Agregado 3/4	m ³	53.60	50,000	2,680,000	
TOTAL MATERIALES					15,139,650

HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Concretadora	Día	7	23,000	161,000	
Vibrador eléctrico	Día	7	19,720	138,040	
TOTAL HERRAMIENTA					299,040

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Vaciado fundación	Metros Lineales	99	28,000	2,772,000	
Vaciado piso	m ²	213.51	20,000	4,270,200	
TOTAL MANO DE OBRA					7,042,200

TOTAL COSTOS DIRECTOS	22,480,890
------------------------------	-------------------

HIERRO DE REFUERZO FUNDACIONES Y PISO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ø ½ x 6mL	Varillas	37	15,000	555,000	
Ø 3/8 x 6mL	Varillas	80	7,500	600,000	
Malla piso	rollos	20	60,000	1,200,000	
Alambre quemado	kg	10	4,500	45,000	
TOTAL MATERIALES				2,395,000	

CONCRETO MUROS

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Cemento	bultos	413	21,000	1,800,700	
Arena	m ³	32.74	55,000	2,463,000	
Agregado 3/4	m ³	49.26	50,000	8,673,000	
Teleras	Und.	550	260x14dias	2,002,000	
Canes	Und.	150	300x14dias	630,000	
Tacos metálicos	Und.	140	350x14dias	689,000	
Tablas	Und.	100	7,000	700,000	
Largueros	Und.	100	4,500	450,000	
Clavos	lbs	45	2,500	112,500	
TOTAL MATERIALES				17,520,200	

HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Concretadora	Día	7	23,000	161,000	
Vibrador concreto eléctrico	Día	7	19,720	138,040	
TOTAL HERRAMIENTA Y EQUIPO				299,040	

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Muros	m ²	266	45,000	11,970,000	
Muro rugoso	m ²	142	8,500	1,207,000	
TOTAL MANO DE OBRA				13,177,000	

TOTAL COSTOS DIRECTOS

30,996,240

HIERRO DE REFUERZO MUROS

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ø ½ x 9 mL	Varillas	475	23,500	11,162,500	
Ø 3/8 x 6 mL	Varillas	328	7,500	2,460,000	
Alambre quemado	kg	20	4,500	90,000	
TOTAL MATERIALES					13,712,500

TOTAL COSTOS DIRECTOS

13,712,500

MATERIAL DEL LECHO FILTRANTE SF1

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Arena	m ³	77.76	405,000	31,492,800	
Grava lecho soporte 1	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
Grava lecho soporte 2	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
Grava lecho soporte 3	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
Grava lecho soporte 4	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
TOTAL MATERIALES					43,639,948

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ayudante	m ³	112.32	8,000	898,880	
TOTAL MANO DE OBRA					

TOTAL COSTOS DIRECTOS

44,538,828

MATERIAL DEL LECHO FILTRANTE SF2

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Arena	m ³	77.76	405,000	31,492,800	
Grava lecho soporte 1	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
Grava lecho soporte 2	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
Grava lecho soporte 3	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
Grava lecho soporte 4	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
Manta superficial	m ²	86.4	14,500	1,252,800	
TOTAL MATERIALES					44,892,748

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ayudante arena	m ³	112.32	8,000	898,880	
Ayudante manta	m ²	86.4	500	43,200	
TOTAL MANO DE OBRA					942,080

TOTAL COSTOS DIRECTOS	45,834,828
------------------------------	-------------------

MATERIAL DEL LECHO FILTRANTE SF3

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Manta SF3	m ²	3,884	14,500	56,318,000	
Grava lecho soporte 1	m ³	8.64	351,500	3,036,787	
TOTAL MATERIALES					59,354,787

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ayudante	m ²	3,884	500	1,942,000	
TOTAL MANO DE OBRA					1,942,000

TOTAL COSTOS DIRECTOS	61,296,787
------------------------------	-------------------

ANDENES LATERALES PARA DESPLAZAMIENTO DE OPERARIOS (97,10 x 7,76 m²)

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Cemento	bultos	62	21,000	1,302,000	
Arena	m ³	4.30	55,000	236,000	
Agregado 3/4	m ³	6.47	50,000	323,500	
Maya electro soldada	Und.	9	60,000	540,000	
TOTAL MATERIALES					2,402,000

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ayudante	m ²	97.10	24,000	2,330,400	
TOTAL MANO OBRA					2,330,400

TOTAL COSTOS DIRECTOS	4,732,400
------------------------------	------------------

TECHO EN ESTRUCTURA METÁLICA Y TEJA FIBROCEMENTO

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Techo con bajantes y M.O incluida	m ²	389	140,000	54,460,000	
TOTAL MATERIALES				54,460,000	

TOTAL COSTOS DIRECTOS

54,460,000

SISTEMA DE REDES Y CONEXIONES

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Tubería de PVC 3"	Und.	25	89,000	2,240,000	
Tees 3"	Und.	40	22,650	906,000	
Tapones 3"	Und.	34	9,300	316,000	
Codos 3"	Und.	15	16,000	240,000	
Machos 3"	Und.	15	9,200	138,000	
Llaves de bola 3"	Und.	14	223,000	3,122,000	
Tubería sanitaria de 4" para reboce	Und.	4	40,000	160,000	
Soldadura	-	-	-	80,000	
Limpiador	-	-	-	80,000	
Teflón industrial	-	-	-	30,000	
TOTAL MATERIALES				9,312,200	

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR	
Ayudante	-	-	2,000,000	2,000,000	
TOTAL MANO DE OBRA				2,000,000	

TOTAL COSTOS DIRECTOS

11,312,200

Fuente: Modificado a partir de información presentada por Naranjo, "Desarrollo de un Sistema Compacto de Potabilización"(2009), quien lo tomó de Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico –CINARA–, "Modelo Conceptual para la Selección de Tecnología en Sistemas de Potabilización de Agua" (2001).