

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Análisis de la utilización de materiales alternativos en la remoción de sólidos totales presentes en el agua cruda”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Carlos Luis Demera Charcopa

Karen Cristina Pacheco Condo

GUAYAQUIL-ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios.

A nuestros profesores que aportaron con sus conocimientos para nuestra formación profesional.

A la directora de tesis MSc. Alby Aguilar por su asesoría en el periodo de investigación.

A las personas que contribuyeron al desarrollo de la tesis: Ing. Daniel Falquez, MSc. Sonia Guartatanga, LEMAT.

DEDICATORIA

A mis padres que con esfuerzo, dedicación y amor, han hecho de mi lo que soy.

A mis hermanas y a mi sobrina Francesca

Karen.

DEDICATORIA

A mis padres que se han esforzado tanto por mi bienestar.

A mis hermanos y familiares que han estado pendientes de mí.

A mis amigos con quienes he compartido momentos agradables.

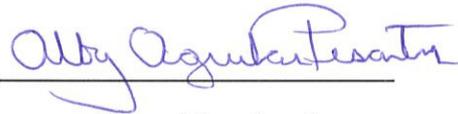
Carlos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



PhD. Kervin Chunga.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Msc. Alby Aguilar

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Fabián Peñafiel

VOCAL DEL TRIBUNAL

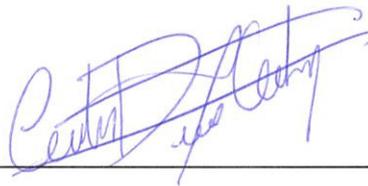


Dr. Carlos Rodríguez

VOCAL ALTERNO

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



Carlos Luis Demera Charcopa



Karen Cristina Pacheco Condo

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analizó la remoción de sólidos totales, suspendidos y turbidez en el agua cruda, obtenida al emplear filtros que tienen como medio filtrante materiales alternativos. El estudio tuvo como finalidad presentar un método de filtración de agua diferente al de lecho granular y conocer en qué grado se podría mejorar la calidad del agua proveniente de una fuente superficial. La fuente seleccionada para las pruebas fue el río Zapan que abastece al Recinto La Alianza, ubicado en el cantón Samborondón.

Por otra parte, para relacionar el tamaño de poro con la eficiencia del material, se realizaron observaciones microscópicas de los textiles seda, algodón, fieltro y poliéster. En lo que respecta a la unidad de filtración, cada una tenía como medio filtrante un textil dispuesto en cierto número de capas, o una altura en específico si era algodón. La filtración se realizó aplicando presión al agua, para vencer la resistencia del material al paso del líquido, durante la circulación del flujo los contaminantes se iban quedando en los poros. Para conocer con mayor precisión el alcance de los filtros en cuanto al

mínimo tamaño de partícula que pueden remover, se practicó un ensayo con el equipo master sizer.

Al final, los resultados mostraron que se puede remover cierta fracción de sólidos totales en el agua, correspondiendo la mayor parte de estos a sólidos suspendidos. Además se estableció un tamaño de partícula mínimo que se puede remover al emplear los filtros. Con lo investigado, se concluye que al utilizar los filtros se mejora la calidad del agua proveniente del Río Zapan obteniendo porcentajes altos de remoción en sólidos suspendidos. Se recomienda pensar en otros materiales como alternativas viables para usarse como medios filtrantes, considerar la adición de una dosis de coagulante antes de llevar a cabo la filtración, y analizar la eficiencia de los filtros para la eliminación de bacterias.

INDICE GENERAL

RESUMEN	VII
INDICE GENERAL	IX
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGÍA	XIII
INDICE DE FIGURAS	XIV
INDICE DE GRÁFICAS	XVI
CAPÍTULO I	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	3
1.3 Antecedentes	5
1.4 Objetivos.....	10
CAPÍTULO 2	12
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1 El agua.....	12
2.2 Contaminantes del agua	28
2.3 Tratamiento del agua	49
2.4 Filtración	50
2.5 Tratamientos avanzados de agua.....	65
CAPÍTULO III	70
3. METODOLOGÍA	70
3.1 Descripción de la unidad filtrante	70
3.2 Medio filtrante	72

3.3	Construcción de la unidad de filtración.....	79
3.4	Descripción del experimento.....	83
3.5	Descripción del área de muestreo	88
3.6	Descripción de la fuente	91
3.7	Manejo de las muestras.....	92
3.8	Análisis de laboratorio.....	95
CAPÍTULO IV		98
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	98
4.1	Funcionamiento del filtro.....	98
4.2	Determinación de la Eficiencia del Proceso.....	101
4.3	Resultados.....	101
4.4	Discusión de los resultados	106
CAPÍTULO V		122
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
5.1	Conclusiones	122
5.2	Recomendaciones	124
ANEXOS		
BIBLIOGRAFÍA		

ABREVIATURAS

CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica del Chimborazo
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
EPA	Environmental Protection Agency.
hab	Habitantes
INEC	Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LEMAT	Laboratorio de Ensayos Metroológicos y de Materiales
mca	Metros columna de agua
min	minutos
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas

OPS	Organización Panamericana de la Salud
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua

SIMBOLOGÍA

°C	Grados Centígrados
Cf	Concentración final
cm	Centímetros
Co	Concentración inicial
l	Litros
mg	Miligramos
ml	Mililitros
ph	Potencial de hidrógeno
Q	Caudal
S	Sur
T	Tiempo
um	Micrómetros
V	Volumen
W	Oeste
"	Pulgadas

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1	Distribución de agua en el planeta.....	14
Figura 2. 2	Ciclo Hidrológico del agua	17
Figura 2. 3	Fuentes de agua subterránea	20
Figura 2. 4	Cantidad de potable en el Ecuador.....	26
Figura 2. 5	Distribución del tamaño de partículas en el agua	33
Figura 2. 6	Tratamiento del agua potable	50
Figura 2. 7	Representación de los filtros de filtración	53
Figura 2. 8	Tipos de tejido plano.....	60
Figura 2. 9	Imagen microscópica de un fieltro	60
Figura 2. 10	Vista microscópica de la fibra de seda.....	63
Figura 2. 11	Algodón natural.....	65
Figura 3. 1	Unidad de filtración	72
Figura 3. 2	Microscopia de tela algodón con aumento 10 x.....	75
Figura 3. 3	Microscopia de tela poliéster con aumento 10 x	76

Figura 3. 4	Microscopia de tela seda con aumento 10 x.....	78
Figura 3. 5	Microscopia de fieltro con aumento 10 x.....	79
Figura 3. 6	Sistema de filtración construido	83
Figura 3. 7	Tamizado de la muestra	88
Figura 3. 8	Ubicación del Recinto La Alianza	89
Figura 3. 9	Imagen de viviendas ubicadas en el Recinto	90
Figura 3. 10	Ubicación del punto de muestreo en el Río Zapan	91
Figura 3. 11	Sitio de muestreo	92
Figura 3. 12	Toma de muestras	94
Figura 4. 1	Medio filtrante después de la filtración	99
Figura 4. 2	Comparación del agua antes y después de la filtración	100

INDICE DE GRÁFICAS

<i>Gráfico 1 Curva de remoción de sólidos totales obtenida con el material algodón</i>	105
<i>Gráfico 2 Curva de remoción de turbidez obtenida con el material algodón</i>	105
<i>Gráfico 3 Comparación de curvas de remoción de sólidos totales</i>	106
<i>Gráfico 4 Comparación entre las remociones máximas de sólidos totales alcanzadas con los materiales filtrantes</i>	107
<i>Gráfico 5 Comparación entre las remociones máximas alcanzadas de sólidos suspendidos con los materiales filtrantes</i>	109
<i>Gráfico 6 Comparación de curvas de remoción de turbidez</i>	111
<i>Gráfico 7 Comparación entre las remociones máximas alcanzadas de turbidez con los materiales filtrantes</i>	111
<i>Gráfico 8 Curvas de caudal</i>	115
<i>Gráfico 9 Curva de caudal para el algodón</i>	115
<i>Gráfico 10 Curva de tamaño de partículas retenidas en la tela algodón</i>	117

<i>Gráfico 11 Curva de distribución de tamaño de partículas acumulada Tela algodón</i>	<i>118</i>
<i>Gráfico 12 Curva de tamaño de partículas retenidas en el poliéster.....</i>	<i>118</i>
<i>Gráfico 13 Curva de distribución de tamaño de partículas acumulada Poliéster.....</i>	<i>119</i>
<i>Gráfico 14 Curva de tamaño de partículas retenidas en el fieltro</i>	<i>119</i>
<i>Gráfico 15 Curva de distribución de tamaño de partículas acumulada Filtro</i>	<i>120</i>
<i>Gráfico 16 Curva de tamaño de partículas retenidas en el material algodón</i>	<i>120</i>
<i>Gráfico 17 Curva de distribución de tamaño de partículas acumulada Material algodón</i>	<i>121</i>

INDICE DE TABLAS

Tabla I Países con mayor población sin acceso al agua potable	24
Tabla II Principales compuestos orgánicos.....	38
Tabla III Principales componente inorgánicos en el agua.....	41
Tabla IV Organismos patógenos que pueden estar presentes en el agua cruda	45
Tabla V Valores que afectan el proceso de filtración en un filtro específico	57
Tabla VI Técnicas generales para la conservación de muestras	95
Tabla VII Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante tela algodón	102
Tabla VIII Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante el fieltro	103
Tabla IX Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante el poliéster	103

Tabla X Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante la seda.....	104
Tabla XI Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante el material algodón	104
Tabla XII Valores de caudal.....	113

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

La información que provee el INEC respecto a la cobertura del agua potable en Ecuador en el año 2010, muestra que aún gran parte de la población no cuenta con este servicio. El 23.49 % del total de los habitantes no son dotados del líquido vital por tubería. La población rural es la más afectada ya que el 50.7 % no dispone de agua potable. El agua a ser utilizada en los hogares, debe cumplir con los requerimientos máximos permisibles establecidos por organismos de control como la OMS, con el objetivo de garantizar su calidad. Para satisfacer estas condiciones se debe realizar un proceso de potabilización, el mismo que dependerá del grado de contaminación inicial en la fuente.

Por medio de la presente tesis se estudia la utilización de filtros elaborados con materiales alternativos, como una opción de tratamiento simple que pueda remover en cierta medida sólidos totales, suspendidos y turbidez en el agua cruda. En el proyecto se emplean materiales como algodón y telas, los cuales pueden adquirirse con facilidad debido a su precio accesible y cantidad en el mercado. Con los materiales se procede a elaborar filtros con diferentes números de capas si se trata de telas, y distintas alturas para el caso del algodón.

La hipótesis plantea que se reduce significativamente la concentración de sólidos en el agua al realizar la filtración utilizando materiales alternativos como algodón y telas, debido a que las partículas de mayor tamaño que los poros se retienen. Los resultados de esta investigación permitirán conocer el alcance de este método sencillo en la mejora de la calidad del agua. Además de poder evaluar su posibilidad de aplicación en sectores rurales en los que su población se abastezca directamente de fuentes superficiales.

1.2 Justificación

Actualmente algunas zonas del Ecuador, en especial aquellas pertenecientes al sector rural no cuentan con un sistema de tratamiento de agua potable. Las estadísticas obtenidas en el censo del año 2010 realizado por el INEC reflejan la falta de un sistema de agua potable que dote a cada habitante ecuatoriano. Esta realidad cambia lentamente, ya que la incorporación del servicio se la realiza cuando el proyecto es viable desde el punto de vista de la localización, tamaño de la población y rentabilidad.

Debido a la problemática de la falta de abastecimiento de agua potable en ciertos sectores rurales de nuestro país, algunos habitantes optan por comprar el agua de tanqueros, mientras que otros obtienen el recurso de la fuente más cercana a su hogar, sin considerar que estas fuentes superficiales o subterráneas a menudo contienen contaminantes que no las hacen adecuadas para su consumo, incluso pueden llegar a representar un foco de enfermedades como cólera, gastroenteritis, fiebre tifoidea, etc. Solo durante el año 2013 se presentaron 4876 casos de fiebre tifoidea y cerca de 599 230 casos de enfermedades diarreicas en el país.

Cifras elevadas que demuestran como la mala calidad del agua afecta a la población (1).

Tomando en cuenta esta situación, nuestra investigación se centra en el estudio de un método sencillo y económico de filtración que podría llegar a adoptarse como una medida para mejorar la calidad del agua. Con la investigación se llega a establecer cuál es la remoción de sólidos totales en el agua cruda utilizando telas o materiales como el algodón, con la finalidad de que los resultados demuestren cuan eficientes pueden ser los filtros construidos. A pesar de la sencillez del uso de un material alternativo para remover contaminantes del agua, su incorporación puede marcar la diferencia entre el agua cruda y el agua después de pasar a través del medio poroso.

En investigaciones anteriores, como la publicada por la Universidad de Maryland se obtuvieron resultados favorables al emplear telas para filtrar el agua, teniendo como base esto se puede pensar en el logro de los objetivos planteados de esta tesis (2). El cambio en el tipo y disposición de las telas es un factor que afectará en la remoción obtenida. Por esto se desea cambiar el número de capas, o altura del material y comparar resultados.

1.3 Antecedentes

Debido a que aún en el siglo XXI existen zonas dentro de las cuales la población no cuenta con el servicio de agua potable, investigadores han realizado diversos estudios en los que se implementa algún material alternativo para la obtención de agua de mejor calidad. Estos estudios, han tenido como finalidad sugerir formas simples de filtrar el agua. A continuación se mencionan en orden cronológico dichas investigaciones.

En el año 1998 Colwell et al, siendo Colwell profesora de la Universidad de Maryland empezó un estudio del uso de telas como medios filtrantes, al notar que algunas mujeres residentes en el país asiático Bangladesh, utilizaban sus velos para filtrar el agua. Después de tres años de investigación, Colwell publicó: Reduction of cholera in Bangladeshi villages by simple filtration, en donde se detalla el uso de tela Sari y nylon como un procedimiento efectivo para la reducción de la *Vibrio cholerae*¹ del agua superficial consumida en Bangladesh.

¹ Agente etiológico del cólera epidémico

La investigación se realizó en 2 etapas: una de prueba y una definitiva. En ambas se trabajó con 3 grupos de características similares, siendo estas: altas tasas de cólera, gran cantidad de niños menores a 5 años, consumo de agua sin tratamiento obtenida en fuentes superficiales. El primer grupo usó nylon, el segundo tela Sari y el tercero continuó usando el agua sin tratamiento (2).

Debido a que el tamaño de poro del Sari es 100 a 150 micras y el del nylon de 150 micras, el primer material fue más eficaz en la reducción de la bacteria cuando estaba adherida al plancton (2). Se verificó que la filtración que realizan empíricamente algunas mujeres con el Sari era eficiente, ya que al utilizarlo se elimina todo el zooplancton, la mayor parte del fitoplancton y las partículas mayores a 20 micras. Si bien el nylon obtuvo buenas remociones, para la población de Bangladesh el material más accesible y económico resulta el Sari (2). En base a los resultados se recomendó que para disminuir la enfermedad del cólera en países donde no se dispone de instalaciones de tratamiento, es necesario aplicar un método de prevención como la filtración con telas y conocer las condiciones ecológicas, climáticas y ambientales, ya que estas inciden en la transmisión del cólera. Además con los resultados obtenidos se

puede tener como guía de que pensar en un filtrado simple con tela en el agua es posible.

En el artículo de Shipard. S (2006), correspondiente a la 69 va Conferencia Anual de Ingenieros de la Industria del Agua y Operadores, titulado Water Filtration- Advantages of fabric media, se presentan casos de estudio en los cuales las telas han sido utilizadas como medios filtrantes en el tratamiento del agua residual. Por medio del contraste de los casos se establecieron ventajas de estos filtros frente a los tradicionales como filtros de grava y membranas de microfiltración. Según Shipard, las ventajas de la aplicación de filtros de tela están relacionadas directamente con la naturaleza de las fibras, por tal razón, para su utilización en cualquier proceso de tratamiento, es necesario considerar la selección de un tejido acorde al contaminante que se desea remover, y a la calidad del filtrado requerido.

Al término de la investigación, el autor concluye que la tela podría usarse en un tratamiento del agua residual, ya que puede mejorar los procesos de forma eficiente y disminuir los costos de funcionamiento de la planta, al igual que los riesgos operativos y ambientales. Además comenta que el utilizar materiales nuevos en la filtración es

una forma de innovar los tratamientos tradicionales (3). Para la presente investigación determinar de forma experimental la remoción de sólidos totales empleando como medio filtrante la tela, será importante considerar la influencia del tipo de tejido en los resultados.

La OMS siendo el organismo especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial, en conjunto con la OPS (2009) realizaron una publicación titulada Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo. En este se detallan una serie de procesos para mejorar la calidad del agua a usarse en el consumo humano en un lugar donde ha sucedido una emergencia. El tratamiento está compuesto por cuatro etapas, las cuales son: tamizado, almacenamiento y decantación, filtración, y desinfección.

La primera etapa del tratamiento, el tamizado consiste en hacer pasar el agua a través de un medio filtrante con la finalidad de retener los sólidos. Se recomienda que el medio sea tela de algodón para remover partículas suspendidas y lodos; y tela de monofilamento en el caso que el agua contenga microorganismos. Por medio de este informe se demuestra la importancia que tienen las telas en el tratamiento del agua en condiciones emergentes, ya

que su utilización permite mejorar su calidad al disminuir contaminantes físicos y biológicos. Los contaminantes químicos no son removidos utilizando este tipo de procesos (4).

La investigación *Research on the Effectiveness of Using Cloth as a Filter to Remove Turbidity from water* realizada por Ramya Tammisetti (2010), se desarrolló con la finalidad de ayudar a las personas que viven en zonas donde no se realizan tratamientos al agua previo a su consumo. La hipótesis era que si se filtraba el agua cruda, muchas más personas podrían mantenerse saludables, ya que no serían afectadas por los patógenos. Como objetivos se planteaban determinar la efectividad de telas como medio filtrante para la remoción de la turbidez del agua cruda y obtener el número de capas adecuado en el que deben disponerse para disminuir los sólidos en suspensión, sin ocasionar demoras en el proceso (5).

El estudio se comprobó empleando una muestra obtenida de la laguna Dean Park, la cual simulaba al agua cruda usada en ciertas comunidades directamente desde la fuente. Entre las telas usadas en la parte experimental del proyecto se pueden mencionar: algodón, seda, poliéster, nylon, celulosa, arpillera, tejido plástico. Al finalizar los ensayos se pudo concluir que la arpillera plegada en 3 capas es

el mejor material filtrante entre los utilizados, al remover el 57.28 % de turbidez. El filtro de poliéster les resultó ineficiente, y el algodón la disminución de turbidez también fue alta, siendo 48.23%. La seda con 2 a 3 pliegues al igual que el poliéster no disminuyó la turbidez.

Al final de realizar la parte experimental, se demostró con resultados la eficiencia de la tela como material filtrante. Es decir, esta forma de filtrar se podría incorporar como un tratamiento en beneficio de las poblaciones de países en desarrollo que utilizan el agua obtenida de una fuente sin realizarle un tratamiento previo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar la remoción de sólidos totales en el agua cruda, empleando materiales alternativos como medios filtrantes.

1.4.2 Objetivos específicos

- Construir filtros utilizando materiales alternativos como telas y algodón.
- Determinar la capacidad de remoción de sólidos totales, sólidos suspendidos y turbidez de forma experimental empleando agua de una fuente superficial que actualmente sirva de abastecimiento para una comunidad.
- Establecer ventajas y desventajas de cada material al ser utilizado como medio filtrante.
- Relacionar el tamaño de poros del medio filtrante con la remoción obtenida.
- Determinar el mínimo tamaño de partículas que se pueden remover en el proceso de filtración.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El agua

El agua es un elemento esencial para el desarrollo de la vida en el planeta (6). Es de vital importancia para el nacimiento y existencia de cada especie dentro de un ecosistema; por este motivo es necesario protegerla y evitar en lo posible contaminarla. Además, es imprescindible crear conciencia social y aprender a valorar este recurso hídrico.

Si bien el total del agua presente en el planeta permanece constante en el tiempo, su contaminación representa un peligro para la salud humana y la calidad de la vida. La escasez de fuentes de agua de calidad tiene gran incidencia ecológica, ya que perjudica al medio acuático y terrestre, afectando a la flora y fauna, que padecen ya las repercusiones de la urbanización y el cambio climático (7). Sería necesario emprender planes de restauración de esteros, ríos y fuentes contaminadas con el fin de disponer de un recurso de calidad.

2.1.1 Distribución de agua en el planeta

El agua es un recurso abundante en nuestro planeta; forma ríos, lagos, lagunas, mares que son el hábitat de miles de seres vivos. Debido a que el agua es utilizada para diferentes actividades, se podría pensar erróneamente que su cantidad en el planeta ha disminuido; sin embargo su volumen siempre ha permanecido constante y en movimiento (8). En un artículo publicado por el USGS² se muestra la distribución porcentual del agua en el planeta, y el porcentaje

² Servicio Geológico de los Estados Unidos

correspondiente a cada fuente en donde se pueda encontrar este recurso (9).

Según el mismo organismo se establece que: el 97% del agua es salada y se encuentra en los océanos, sólo el 3% restante es dulce. Del porcentaje ocupado por el agua dulce; aproximadamente el 68.7% permanece en las capas de hielo glaciares, el 30.1% forma acuíferos, un 0.9% se encuentra como humedad de la tierra y la atmósfera, sólo el 0.3% representa el agua superficial de los lagos, ríos y pantanos. Lo mencionado se puede observar en la figura 2.1

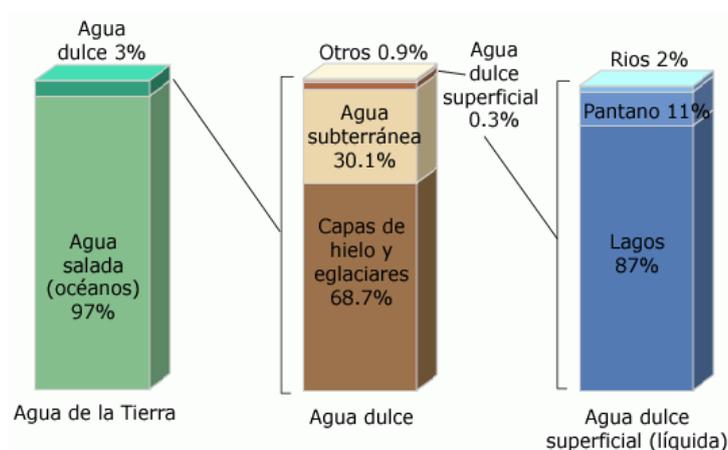


Figura 2.1 Distribución de agua en el planeta

Fuente: USGS, 2014

La disponibilidad del agua dulce es desigual en cada zona del planeta, es decir existen lugares donde puede considerarse un

recurso abundante, y otros lugares en donde su cantidad es muy limitada. Es interesante evaluar la disponibilidad del recurso hídrico de forma simultánea a la distribución de la población mundial. Asia tiene el 36% del recurso hídrico y el 60% de la población mundial, Europa dispone del 8 % del recurso hídrico y su población representa el 13% de la población mundial, el continente Africano posee el 11% del recurso hídrico y reside en su territorio un 13% de la población mundial, en América del Norte y Central disponen del 15% del recurso hídrico y su población representa 8% del total existente, finalmente América del Sur dispone del 26% del recurso hídrico con un 6% de la población mundial (10). En base a los datos presentados se puede notar que los países de América del Sur se caracterizan por tener los mayores porcentajes de agua dentro de su territorio.

2.1.2 Ciclo hidrológico

El agua circula y se distribuye en la hidrósfera en sus diferentes estados mediante el ciclo hidrológico, el mismo que consiste en una serie de procesos continuos que muestran los cambios de fase ³ del

³ Estados de una sustancia

agua entre la atmósfera, la corteza terrestre y los océanos. Como todo ciclo no tiene principio ni fin por tanto, su descripción puede comenzar en cualquier punto (11).

En el ciclo hidrológico, el sol produce la evaporación del agua de océanos y de la superficie terrestre hacia la atmósfera. Este vapor de agua se condensa formando nubes llenas de gotas de agua, cuando estas gotas son pesadas caen por efecto de la gravedad sucediendo lo que se conoce como precipitación. Consecuentemente el agua en forma de precipitación cae sobre la superficie terrestre y océanos (12). Cuando el agua cae sobre un terreno puede:

- Ser interceptada por la vegetación,
- Convertirse en un flujo superficial
- Infiltrarse en el suelo para volverse flujo sub superficial.

El líquido que ha sido interceptado y forma parte del flujo superficial puede evaporarse y regresar a la atmósfera, dando lugar a un nuevo comienzo del ciclo. En cambio el agua infiltrada puede percolar ⁴ en

⁴ Infiltración de un líquido a través de un medio poroso

el suelo y alimentar las fuentes subterráneas, que posteriormente pueden formar manantiales, fluir hacia el mar o evaporarse hacia la atmósfera (11). La figura 2.2 muestra los procesos que intervienen en ciclo de agua así como un balance hidrológico respecto al 100% del volumen de agua en forma de precipitación en la superficie terrestre. Se observa que del total del volumen de precipitación anual en el continente el 61% es debido a la evaporación del agua superficial en el mismo, y el 39% restante proviene de la evaporación oceánica.

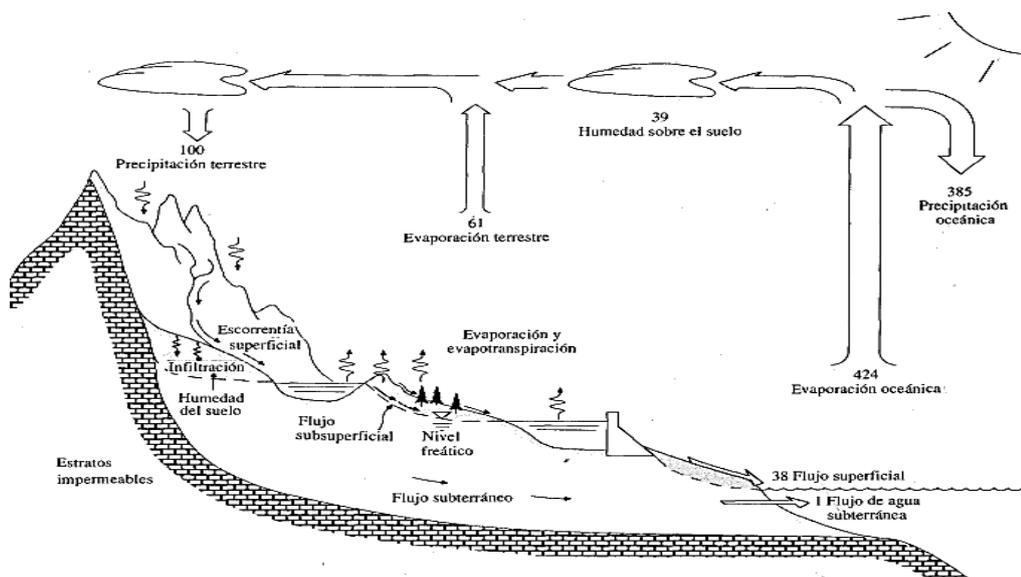


Figura 2.2 Ciclo Hidrológico del agua
Fuente: Chow V, Maidment D, Mays L, 1994

2.1.3 Fuentes de agua

Las fuentes de abastecimiento de agua consisten en puntos en los que se captan volúmenes de agua para su uso, y que finalmente regresan como agua de desecho a la naturaleza. Para el abastecimiento público de agua se han utilizado 2 fuentes principales: las aguas subterráneas y superficiales. Para seleccionar una fuente de agua adecuada se debe considerar:

- Calidad,
- Cantidad disponible,
- Seguridad de abastecimiento
- Costo tanto de construcción como de operación (13).

Frecuentemente el agua utilizada para actividades humanas es de fuentes superficiales, debido a que su obtención resulta más económica. El agua superficial es utilizada como fuente de abastecimiento de las grandes ciudades; sin embargo al estar expuesta al ambiente comúnmente contendrá mayor concentración de contaminantes que la subterránea, lo que implica que para cumplir con los parámetros establecidos en las normas de calidad del agua será necesario aplicar un mayor grado de tratamiento. Por el

contrario, en zonas donde es difícil obtener agua superficial de calidad, o no existen cuerpos de agua cercanos; se opta por usar la subterránea como suministro de agua potable. Las principales reservas de *agua* superficial se describen a continuación:

- **Ríos.**- La calidad del agua en ríos se ve afectada por factores variables como turbidez, contenido de minerales y contaminantes. La temperatura es otro factor que puede hacerla indeseable en meses calurosos de verano. El agua en movimiento puede conducir contaminantes como sedimentos en su cauce (13).

- **Lagos naturales.**- Se caracterizan por tener agua de buena calidad. Excepto cerca de sus márgenes y en la vecindad de drenajes y corrientes fuertes. En caso de decidir utilizar el agua de esta fuente, para su potabilización debe tenerse cuidado en la ubicación de la obra de toma así como las descargas de los drenajes.

- **Embalses.**- Cuando el caudal de una corriente de agua es cercano al consumo de una población puede ser necesario la construcción de una represa. En los embalses es posible acumular el agua en temporada de lluvias, garantizando una dotación permanente a la

población. Un aspecto positivo, es que almacenar el agua permite disminuir su turbidez, ya que los sólidos tienen suficiente tiempo para sedimentarse con lo que se clarifica el agua. Sin embargo esta alternativa puede contribuir a la producción de olores y sabores por el desarrollo de algas (13).

Fuentes subterráneas.- Para poder extraer el agua subterránea es necesaria la construcción de pozos cuya profundidad puede ser menor de 30 metros (poco profundos) o mayores (pozos profundos) según donde se localice el acuífero (13). Los manantiales aparecen cuando un estrato que transporta agua alcanza la superficie (origen local) ó en donde las fisuras de las rocas afloran forzando al agua a salir. En la figura 2.3 se muestran los tipos de fuentes subterráneas.

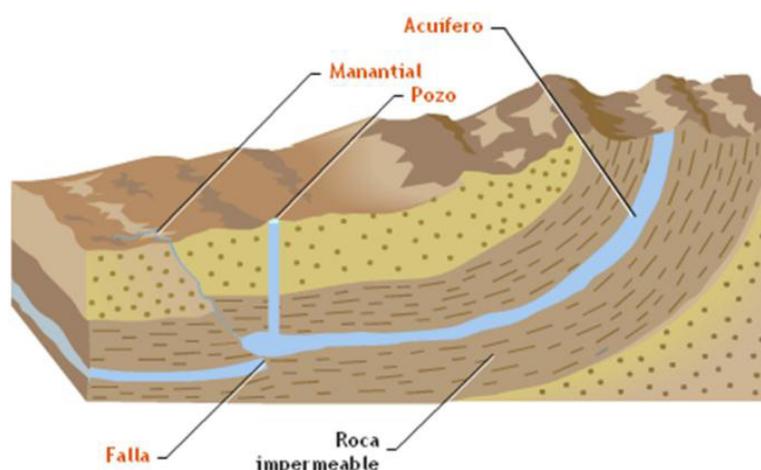


Figura 2.3 Fuentes de agua subterránea
Fuente Departamento de Sanidad de Nueva York, 2006

Es importante mencionar que el agua de mar también constituye una fuente de agua disponible de forma ilimitada. Puede transformarse en agua potable por diversos métodos, sin embargo los costos para su conversión son elevados, alrededor de 2 a 5 veces mayor que un tratamiento convencional del agua dulce. A pesar de los altos costos, en algunas zonas se ha optado por tratar el agua salada ya que es la única fuente a su disposición (14).

2.1.4 Usos de agua

Según datos de UNESCO, se estima que el total de agua dulce consumida al año es 4000 km³. Se ha establecido esta cantidad considerando los sectores agropecuario, doméstico e industrial (15). Los usos del agua pueden clasificarse en dos grandes grupos, usos extractivos o consuntivos y usos no consuntivos o no extractivos (16).

Usos consuntivos

Dentro de este grupo se incluyen los usos en los que se extrae o consume el agua de su fuente de origen (ríos, lagos y aguas subterráneas). Entre los usos consuntivos más frecuentes se pueden

mencionar: Doméstico y municipal, agricultura y ganadería, comercial, e industrial y minería (16). El uso doméstico y municipal incluye el agua empleada en residencias, comercios, instituciones y espacios recreacionales. El residencial se refiere al agua utilizada dentro y fuera de las residencias y el comercial como su nombre lo indica es la que se consume en locales o establecimientos comerciales, el uso institucional es la que se consume en hospitales, colegios y residencias (17). El uso del agua en agricultura y ganadería es el agua empleada en riego de cultivos y en actividades ganaderas. En el mundo aproximadamente, del 70 al 80 % del agua es consumida para actividades agrícolas (18).

Usos no consuntivos o no extractivos

Son los usos que ocurren en el ambiente natural de la fuente de agua sin extraer o consumir el recurso. Entre estos usos se incluye el uso de navegación (19). Dentro del grupo se incluyen además el uso del agua para pescar, y para la generación de energía eléctrica. Si bien no se consume agua en ambas, se obtiene un beneficio al emplear el recurso hídrico (8) y (19).

2.1.5 Agua potable

Según la OMS una fuente de agua potable mejorada: “Es una fuente que por el tipo de construcción protege apropiadamente el agua de la contaminación exterior, en particular de la materia fecal”. Una población tiene acceso al agua potable si se utilizan las mejores fuentes como: conexión domiciliaria, fuente pública, pozo excavado protegido, y aguas pluviales. Siempre el aumento de zonas que dispongan de este servicio, aportará el crecimiento económico de algún país, y consecuentemente la reducción de su pobreza. En el año 2010 se superó uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio ascendiendo a 89 el porcentaje de personas con acceso a una fuente de agua potable mejorada. Queda un 11% restante de la población mundial (768 millones) por acceder al agua potable. La mayoría de personas que no tienen acceso al agua habitan en zonas urbanas marginales y zonas rurales (20). Las consecuencias de la falta de agua y saneamiento básico en el mundo se han calculado con la finalidad de medir los efectos de no disponer del líquido vital. La OMS presenta los siguientes datos.

- 1.6 millones de personas mueren cada año por enfermedades diarreicas. De ellas 1.44 millones (90%) son menores de 5 años
- 133 millones sufren de parasitosis intestinales causadas por helmintos y 1.5 millones de personas padecen de hepatitis A clínica.

En el 2010, en la Asamblea General de las Naciones Unidas se estableció que el acceso al agua potable sea un derecho para todo ciudadano. El 75% de la población sin acceso a fuentes mejoradas de agua potable (11% de la población mundial) se centran en 10 países, donde China e India encabezan la lista. En la tabla I se muestra la cantidad de habitantes sin acceso al agua potable por país (20).

Tabla I Países con mayor población sin acceso al agua potable

País	Población sin servicio de agua potable (millones de habitantes)
<i>China</i>	<i>108</i>
<i>India</i>	<i>99</i>
<i>Nigeria</i>	<i>63</i>
<i>Etiopía</i>	<i>43</i>
<i>Indonesia</i>	<i>39</i>

País	Población sin servicio de agua potable (millones de habitantes)
<i>República Democrática del Congo</i>	37
<i>Bangladesh</i>	26
<i>República Unida de Tanzania</i>	22
<i>Kenia</i>	16
<i>Pakistan</i>	16

Fuente: OMS, 2014

2.1.6 Situación actual del agua potable en el Ecuador.

Ecuador es uno de los países en el mundo, que cuenta con gran cantidad de fuentes de agua. La disponibilidad del agua en el país puede evaluarse considerando las 2 vertientes principales:

- La vertiente del Pacífico con 5300 m³/hab/año.
- La vertiente del Amazonas con 91600 m³/hab/año (21).

El Banco Mundial y la ONU establecen que la disponibilidad del recurso hídrico es escasa cuando es menor a 2000 m³/hab/año. Por lo tanto ambas vertientes no corren peligro de escasez. La vertiente del Amazonas está disponible en mayor cantidad que la del Pacífico (21). En el gráfico 2.4 se muestra la distribución del agua a lo largo

de las regiones del país, observando que en la zona costera existe en menor cantidad.

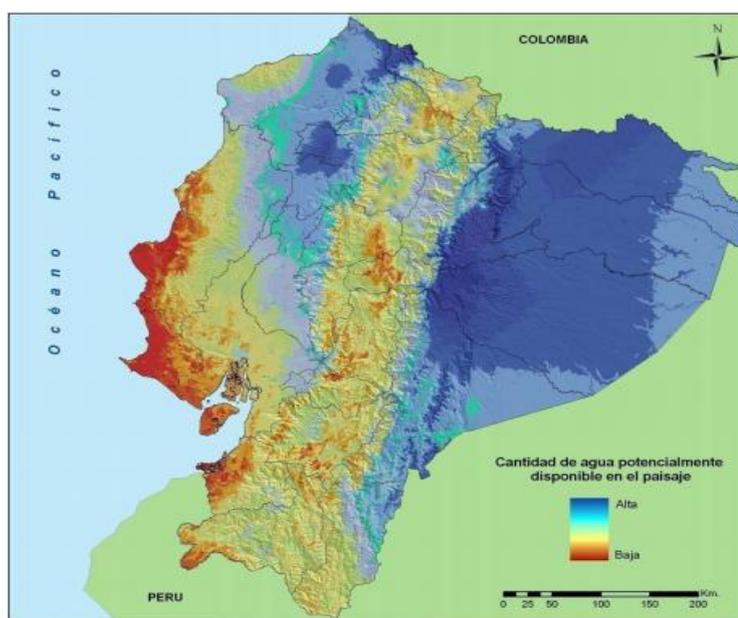


Figura 2. 4 Cantidad de potable en el Ecuador
Fuente: SENAGUA, 2014

De acuerdo a los resultados del censo realizado en el año 2010 por el INEC el 76.51% de los hogares a nivel nacional cuentan con el servicio de agua potable (11'081325), y existe todavía un 23.49% de la población sin acceso a una fuente de agua segura (4'302174 habitantes). En el área Urbana el 92.57% de los habitantes tiene acceso al agua potable, mientras que en la Rural sólo el 49.3%. Con esta información se puede concluir que más de la mitad de la población rural no cuenta con un abastecimiento de agua potable.

En la información presentada por el INEC, también se muestra los porcentajes correspondientes al tipo de tratamiento que realizan los ecuatorianos después de recibir el agua por tubería en sus casas antes de consumirla. La mayor parte de los hogares 40.33% hierve el agua, seguida de un 33.48% que la beben tal como llega al hogar, el 21.94% prefiere comprar agua purificada de botellón, sólo el 2.96% le ponen cloro y finalmente un pequeño porcentaje 1.29% la filtran. En el Ecuador, SENAGUA es la entidad encargada de administrar el patrimonio hídrico con un enfoque integral e integrado por cuenca hidrográfica, de aprovechamiento estratégico del Estado y de valoración sociocultural y ambiental (21).

La disponibilidad del agua no es un problema en el país, sin embargo no todos los ecuatorianos cuentan con el suministro de agua potable porque no existen sistemas de tratamiento y abastecimiento suficientes para dotar a toda la población con agua de calidad. En las zonas en las que no existe una red de distribución de agua potable, las personas tienen que comprar agua de tanqueros, o incluso usar el agua cruda obtenida en alguna fuente cercana (22). El mayor problema es cuando esta fuente cercana no es de calidad.

2.2 Contaminantes del agua

La calidad del agua está definida en función de sus características físicas, químicas y biológicas (23). Según la OMS la calidad físico-química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que puedan afectar a la salud, ya sea corto o largo el periodo de exposición (24); y la microbiológica se refiere a los microorganismos que puedan afectar al ser humano, o aquellos que son indicadores de la contaminación en el agua como los estreptococos fecales, coliformes totales, coliformes fecales, escherichia coli (23).

La condición de las fuentes de agua cruda es variable, ya que depende de la magnitud en la que sean afectadas por fenómenos naturales como el arrastre de sólidos insolubles, o de la cantidad de contaminantes procedentes de actividades humanas (25). Por lo general las fuentes subterráneas son de mejor calidad que las fuentes superficiales, ya que las primeras no están en contacto directo con aguas residuales o contaminantes. Además cuando las

partículas de agua que forman el acuífero⁵ atraviesan los estratos de suelo se remueven gran parte de sus contaminantes (26).

El agua destinada al consumo humano debe cumplir con las directrices establecidas por la OMS y que son tomadas como referencia a nivel internacional. Estas indican las concentraciones máximas permisibles que pueden existir según cada parámetro de calidad. En Ecuador el agua se considera potable si cumple con los requerimientos de la norma INEN 1108 para su control de calidad.

Las entidades encargadas del suministro del agua, verifican regularmente que el agua cumpla con dichos rangos previo a ser consumida en las zonas donde se provee de agua potable. En cambio, en aquellos lugares donde el agua potable no es un servicio básico, el control de la calidad del agua de consumo es escaso o nulo, razón por la cual no se puede asegurar su calidad. De todas maneras siempre es adecuado conocer las características del agua, a fin de que reciba un tratamiento adecuado y, que no represente un peligro para la salud o la vida de los consumidores (27).

⁵ Formación geológica permeable que permite el almacenamiento de volúmenes de agua en espacios subterráneos.

2.2.1 Características físicas

Estas características se relacionan con las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua (27). Dentro de este grupo se encuentran: sabor y olor, color, turbidez, temperatura y sólidos (28).

Sabor y olor.- El sabor y el olor constituyen una característica del agua, que el usuario asocia como indicador del grado de su contaminación. Estos parámetros no pueden usarse siempre para evaluar si el agua cruda es o no apta para el consumo humano, ya que un cuerpo de agua puede no tener olor ni sabor, pero si contener contaminantes químicos dañinos. Para la caracterización completa del olor se sugiere considerar cuatro factores: La intensidad, el carácter, la sensación de desagrado y la detectabilidad. En ocasiones a partir de la percepción del olor, un observador puede llegar a determinar la causa de la contaminación, aunque con un rango de imprecisión debido a que la capacidad olfativa de cada persona es diferente (25).

El olor o sabor en el agua pueden deberse a una gran variedad de sustancias, como los minerales, metales y sales del suelo, constituyentes de aguas residuales, vegetación, materia orgánica en descomposición, y productos finales de reacciones biológicas.

(29).En la depuración de aguas contaminadas, los métodos más comunes para eliminar el sabor y el olor consisten en:

- Añadir carbón activado en polvo antes de pasar el agua por un filtro.
- Filtrar el agua con el carbón activado.
- Oxidar los materiales causantes del problema con sustancias oxidantes, como el permanganato de potasio y el cloro.
- Luz ultravioleta (30)

El olor se mide en términos del índice de umbral de olor, el mismo que se basa en la persistencia de un olor después de su dilución. Para determinar el umbral de olor (TON), se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{TON}=\text{A}+\text{B}$$

Dónde

A= es el volumen de la muestra (ml)

B= es el volumen de dilución (ml) (30).

Color

El color puede definirse como la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible, puede estar ligada a la turbiedad o ser independiente de ella. Por lo general en el agua de fuentes superficiales se puede observar color a diferencia de las subterráneas. Esta propiedad es importante por razones estéticas y porque puede considerarse como un factor indicador de posible contaminación (natural o no). El color en el agua puede deberse a los residuos municipales e industriales; o a la materia orgánica del suelo, vegetación; los colores varían desde el amarillo muy pálido hasta el café amarillento y el café oscuro (29).

Existen dos tipos de colores, el verdadero y el aparente; su intensidad dependerá de la cantidad de sólidos suspendidos o disueltos en el agua. El color verdadero se debe a los sólidos en solución en el agua natural, es decir, es el color del agua una vez que se ha removido los sólidos en suspensión. El aparente en cambio es el color del agua cruda debido a la presencia de sólidos en suspensión. El color que se llega a determinar en una muestra de agua es el verdadero y no el aparente, la evaluación precisa del color debido a los sólidos en suspensión es imposible (25).

Turbidez

Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, pudiendo ser arcillas, arenas, partículas orgánicas o microorganismos (30). En la figura 2.5 se observa la distribución de partículas en el agua de acuerdo a su tamaño. Esta característica es una de las propiedades que primero se percibe en el agua, relacionando su presencia a la cantidad de materia orgánica existente en una fuente. (28)

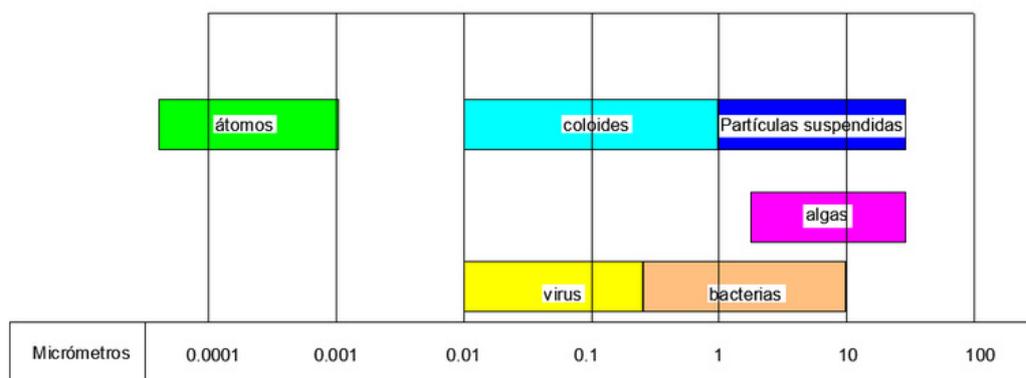


Figura 2.5 Distribución del tamaño de partículas en el agua

Fuente: OMS y CEPIS, 2004

Para determinar la turbidez se utiliza el nefelómetro que mide la intensidad de luz dispersada a 90° cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. La unidad con la que se representa la turbidez es NTU (30). Su remoción no involucra tratamientos avanzados, pero si pueden llegar a ser costosos por el empleo de

coagulantes. Las condiciones de turbidez incrementan la posibilidad de una enfermedad de transmisión hídrica. Una turbidez alta incluso puede:

- Proteger a los microorganismos de la acción de los desinfectantes.
- Estimular el crecimiento de bacterias en el agua
- Demandar mayor cantidad de cloro para desinfección (31).

Temperatura

La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, ya que al incrementarse su valor en un cuerpo de agua la concentración de oxígeno disuelto disminuye, tras lo cual se genera la muerte de especies acuáticas, principalmente peces. Una causa por la cual aumenta la temperatura del agua cruda es el vertido de agua residual en la fuente (26). Una temperatura alta ocasiona un mal gusto al agua, aumento en la corrosión de tuberías e influye en procesos de tratamiento como la sedimentación y filtración (28).

Sólidos

El contenido total de sólidos engloba materia en suspensión, materia sedimentable, coloidal y disuelta. La materia orgánica como fibras de plantas, sólidos biológicos; y la materia inorgánica como arcilla, limo, o los constituyentes del suelo pueden formar parte de los sólidos en un cuerpo de agua superficial (30). En la figura 2.5 se observan el tamaño de algunas de las partículas que pueden estar presentes en el agua.

Sólidos totales

Es la materia que se obtiene como resultado de la evaporación de una muestra de agua a una temperatura de 103- 105 °C. Su presencia en un cuerpo de agua es desagradable a la vista, e incluso los elementos biológicamente activos pueden ser agentes tóxicos causantes de enfermedades (32). Los sólidos totales equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido.

Sólidos totales= Sólidos suspendidos + sólidos disueltos (26).

Estos sólidos totales se clasifican en: sólidos filtrables y sólidos no filtrables. Los sólidos filtrables y no filtrables suelen separarse

utilizando un filtro de fibra de vidrio (Filtro Whatman), con un tamaño nominal de poro de 1,2 micrómetros (28).

Sólidos filtrables

Los sólidos filtrables lo constituyen los *sólidos coloidales y disueltos* presentes en el agua, estos no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, como la sedimentación, filtración, etc. Los sólidos coloidales, se pueden remover mediante coagulación, debido a que son de mayor tamaño que los disueltos. Es decir se los remueve en un tratamiento convencional. En cambio, los sólidos disueltos son difíciles de remover, para poder eliminarlos debe realizarse algún tratamiento avanzado como por ejemplo utilizar membranas ya que al ser su tamaño de poro muy pequeño las partículas quedan atrapadas (30).

Sólidos en suspensión (No filtrables)

Cuanto mayor es el contenido de sólidos en suspensión, mayor será el grado de turbidez en el agua. A diferencia de los sólidos disueltos, estos pueden separarse con menor grado de dificultad por procesos mecánicos como son la sedimentación y la filtración. Las partículas o

sólidos suspendidos se componen de material orgánico e inorgánico. Entre las partículas orgánicas están principalmente microorganismos y entre las partículas inorgánicas se pueden tener: arcillas, etc.

Cada una de las categorías mencionadas de sólidos, sean sólidos totales, suspendidos o disueltos pueden dividirse en función de su volatilidad a 550 °C. Los sólidos que desaparecen al calentar la muestra a esta temperatura toman el nombre de sólidos volátiles y corresponden al material orgánico, mientras que los que permanecen son los sólidos fijos siendo estos el material inorgánico.

Sólidos sedimentables

Son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en un tiempo de 60 minutos (30).

2.2.2 Características químicas

Las características químicas en el agua se clasifican según su composición en componentes orgánicos e inorgánicos (30).

Componentes orgánicos

Son componentes de origen animal, vegetal o de actividades humanas involucradas en la síntesis de compuestos orgánicos. Se forman a partir de carbono, hidrógeno, oxígeno y en ocasiones de nitrógeno. Entre los compuestos orgánicos que se presentan en la mayoría de las aguas como contaminantes se tienen: las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites. Adicional a los componentes ya mencionados, se tienen otros conformados por moléculas sintéticas como: agentes tensoactivos, contaminantes orgánicos prioritarios, compuestos orgánicos volátiles y pesticidas (30). En la tabla II se describen los principales compuestos orgánicos en el agua superficial.

Tabla II Principales compuestos orgánicos

Compuesto	Descripción	Importancia en el agua
Proteínas	Compuesto de origen animal y vegetal	Provocan olores desagradables por su descomposición.
Hidratos de Carbono	Abundantes en el medio ambiente.	En el agua residual son sintetizados por la actividad bacteriana.
Grasas y aceites	Glicéridos a temperatura ambiente, en estado líquido son aceites pero en estado sólido grasas.	Provocan sabores y olores desagradables.
Agentes Tensoactivos	Se deben a residuos de detergentes.	Producen espumas en el interface agua- aire.

Compuesto	Descripción	Importancia en el agua
Compuestos orgánicos volátiles	Su punto de ebullición es inferior a 100°C y su presión de vapor mayor a 1 mm de mercurio a 25°C.	Estando en el agua pueden liberarse hacia la atmósfera en forma de gas, afectando a la salud de la población.
Pesticidas	Compuestos utilizados en labores agrícolas.	Son tóxicos para las formas de vida. Pueden ser órganoclorados, organofosforados y carbamatos.

Fuente: Marín R, 2003

El contenido de materia orgánica en el agua puede generar diversos problemas como la formación de color, sabor y olor, disminución del oxígeno, interferencia en los procesos de tratamiento del agua y formación de compuestos halogenados en los procesos de desinfección con cloro. Puede medirse el contenido de materia orgánica en el agua con varios métodos, entre ellos DBO y el DQO (29).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es un parámetro cuyo valor indica la cantidad de oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Normalmente se utilizan los resultados de la DBO a los 5 días (DBO5) (30).

Demanda química de oxígeno (DQO)

Con el uso de un agente oxidante en medio ácido puede determinarse el equivalente de oxígeno en materia orgánica capaz de oxidarse, que equivale al DQO. Los valores de DQO son superiores a los de DBO debido a la mayor cantidad de compuestos que pueden oxidarse por medio químico que biológico (30).

Componentes inorgánicos

Los compuestos inorgánicos presentes en las fuentes de agua tienen como origen la disolución de suelos y rocas, o la descarga de efluentes domésticos, comerciales e industriales. La importancia de estos compuestos en el agua obedece a criterios de calidad, ya que su presencia puede: causar modificaciones en las propiedades organolépticas, influir en procesos de tratamiento del agua o incluso afectar la salud de los consumidores. La existencia de estos compuestos en un cuerpo de agua tiene mayor relevancia debido a que se conoce que varios de ellos no pueden ser removidos con un tratamiento convencional. La tabla III muestra los principales componentes inorgánicos del agua.

Tabla III Principales componente inorgánicos en el agua

Componente	Descripción	Importancia en el agua
Potencial de Hidrógeno pH	Expresa la concentración de hidrógeno. Indica grado de acidez o basicidad del agua.	Parámetro importante de la calidad del agua.
Alcalinidad	Se debe a presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio o amoniaco.	Necesaria para realizarse la floculación. En concentraciones altas causa problemas de corrosión y le da sabor al agua.
Dureza	Se debe a la presencia de calcio y magnesio, expresado en concentración de carbonato cálcico.	Se limita su concentración para evitar que proporcione sabor y formación de incrustaciones.
Nitrógeno y fósforo	Se encuentra en la naturaleza en forma de nitrógeno orgánico, amoniaco, nitrito, nitrito. El fósforo como ortofosfato, polifosfato y fosfatos orgánicos.	Nitrito y nitrato pueden provocar la enfermedad de metahemoglobinemia ⁶ . Causan proliferación de algas en las fuentes de agua.
Cloruros	Se originan de la disolución de suelos y rocas, intrusiones de agua salada y vertidos de aguas residuales.	Generan problemas de corrosión en elementos metálicos en sistema de distribución. Pueden darle sabor al agua.
Oxígeno disuelto	Debido al intercambio gaseoso entre la atmósfera y el agua, estas son oxigenadas	El exceso de oxígeno disuelto puede causar corrosión en las tuberías metálicas.

⁶ Síndrome del recién nacido cianótico

Componente	Descripción	Importancia en el agua
Fluoruros	En aguas superficiales se presenta en bajas concentraciones, vertidos de industria de vidrio pueden incrementar la concentración.	Agua con concentraciones moderadas de flúor (1.5mg/L), previene caries. Altas concentraciones causa fluorosis, problemas renales y descalcificación de los huesos.

Fuente: Marín R, 2003

2.2.3 Características biológicas de las aguas superficiales

La calidad biológica del agua superficial puede variar debido a factores de origen natural o antropogénico. El vertido de aguas residuales representa una de las mayores fuentes contaminantes que afectan los factores bióticos y abióticos. La contaminación fecal en un cuerpo de agua debido al vertido de efluentes domésticos, o al contacto con excretas de animales afecta el hábitat de especies que interactúan con el agua, y deterioran la calidad de la misma.

Si el agua superficial contiene agentes patógenos como bacterias, virus, protozoarios, helmintos o cyanobacterias existe el riesgo de contraer alguna enfermedad hídrica en caso de utilizarla sin realizarse un tratamiento previo (24).

En una fuente de agua hay organismos que no causan enfermedades, ni son perjudiciales, su supervivencia depende de factores como temperatura, nutrientes, contaminación, luz entre otras. Por ejemplo los hongos y ciertas bacterias realizan procesos de biodegradación de la materia orgánica, con lo cual ayudan a la autodepuración de una fuente de agua (28). Los organismos que se pueden encontrar en aguas superficiales son algas, bacterias, hongos, protozoarios e insectos.

Las algas son plantas fotosintéticas, cuya importancia radica en que producen oxígeno, el que es aprovechado por especies del ecosistema acuático para su subsistencia. A pesar de esta ventaja, un incremento anormal de algas debido a un exceso de nutrientes y cambios de temperatura se conoce como eutrofización. En el tratamiento un exceso de algas puede producir olor, sabor, color y ocasionar problemas de colmatación acelerada en filtros, si no se realiza una sedimentación. Las bacterias en cambio son seres de organización simple, unicelulares, de tamaños *variables entre uno y diez micrómetros*. Están presentes en agua, suelo o polvo atmosférico (28).

Los hongos son saprófitos, es decir se alimentan de materia orgánica muerta. Son importantes en tratamientos biológicos de aguas residuales, ya que en caso de que exista materia orgánica muerta en un cuerpo de agua estos reducirán su cantidad (30). Los protozoarios son organismos unicelulares, que se alimentan de bacterias u otros protozoarios. La mayor parte son beneficiosos, pues contribuyen a mantener el equilibrio de los ecosistemas acuáticos (29). Son importantes en tratamientos biológicos y en la purificación de efluentes. Los Rotíferos, Copépodos y otros crustáceos conforman los grupos predominantes del zooplancton de aguas superficiales, forman parte de la cadena alimenticia (28).

Organismos patógenos

Al hablar del término patógeno se hace referencia a aquel organismo que puede provocar una enfermedad, estos llegan a los cursos de agua principalmente a través de descargas de efluentes sin tratar o con un tratamiento inadecuado, también pueden existir por la presencia de heces animales en la zona (28). En la tabla IV se muestran algunos organismos patógenos junto con su descripción, y ejemplo.

Tabla IV Organismos patógenos que pueden estar presentes en el agua cruda

Contaminantes biológicos	Descripción	Organismo	Enfermedades
Virus	Invaden las células del cuerpo vivo que los acoge. Se eliminan con la filtración.	Rotavirus <i>Tamaño: 0.08 um</i>	Diarrea
Protozoarios	Están presentes en el agua por contaminación fecal.	Giardia Lambliia <i>Tamaño: 8-12 um</i>	Giardiasis (Infección intestinal)
Bacterias	Son resultado de la contaminación de animales de sangre caliente. Uno de los factores que aumenta la propagación de estas enfermedades es el alto número de bacterias que elimina un individuo enfermo.	Vibrio Cholerae <i>Tamaño: 0.3 a 0.4 um de ancho</i>	Cólera
		Salmonella typhi <i>Tamaño: 0.6 um de ancho</i>	Fiebre tifoidea
Helmintos	Animales invertebrados, comúnmente llamados gusanos	Dracunculus medinensis Asociados a copépodos con <i>Tamaño: 0.5 -2 mm de ancho</i>	Dracunculiasis
Cianobacterias	Su acumulación es común en lagos, embalses, ríos, esteros, y demás reservorios de agua.	Algas azules y verdes producen hepatoxinas que afectan al hígado y neurotoxinas al sistema nervioso.	

Fuente: OMS, CEPIS, 2004

2.2.4 Fuentes contaminantes

Gran parte de la contaminación de las aguas puede provenir de diferentes fuentes, siendo la mayor parte resultado de actividades humanas. Uno de los factores que ha producido un incremento en la cantidad de contaminantes es el crecimiento poblacional e industrial en los últimos años. Las principales fuentes de contaminación se agrupan en fuentes urbanas, industriales y agropecuarias.

a) Fuentes Urbanas

Estas fuentes corresponden a las cargas de residuos de origen doméstico y público que forman las aguas residuales municipales. Estos efluentes caracterizados por contener un alto porcentaje de materia orgánica son derivados a redes de alcantarillado hasta llegar a una planta de tratamiento o ser descargados. Cuando no hay un proceso de tratamiento, los efluentes líquidos son un problema de salubridad en la zona (34).

b) Fuentes Industriales

Son las descargas originadas por el desarrollo de actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo para la población. La actividad industrial está relacionada a una variedad de procesos, entre los principales se pueden mencionar los de la industria química, la petroquímica, metalúrgica, textil, minera. Cada una de estas industrias genera volúmenes considerables de aguas residuales, cuya naturaleza fisicoquímica va a depender tanto del proceso industrial, como de la materia prima utilizada. Los desechos pueden ser materia orgánica, nutrientes, metales pesados, ácidos, bases, sustancias inorgánicas, aceites, etc. Ecuador al ser un país rico en minerales, gran cantidad de agua residual proviene de industrias mineras y petroquímicas. En ciudades en las que el ser humano explota la riqueza mineral, en gran o pequeña escala se está contaminando el medio ambiente (34).

c) Fuentes agropecuarias

Durante muchos años las actividades agropecuarias no representaban una fuente de contaminación al medio ambiente. Con el paso de los años, la forma tradicional y orgánica de cultivar los

alimentos ha cambiado; a tal grado que en la agricultura moderna, es común el uso de fertilizantes y pesticidas para lograr un rendimiento superior en la producción de alimentos (35).

La primera fuente de contaminación agrícola han sido los pesticidas y fertilizantes, al tener un alto contenido de nitrógeno y fósforo, causan eutrofización en el agua. Los sedimentos, arena, arcilla, limo y otras partículas sueltas que se depositan en el fondo de un cuerpo de agua la tornan turbia, impidiendo: el crecimiento de vegetación natural en el agua, destruyendo el hábitat de los animales y contaminando el agua para el consumo humano, etc. Las actividades humanas han aumentado la tasa de erosión natural, debido a la tala o quema de bosques, lo que tiene como resultado mayor contaminación por sedimentos (36).

El campo de la ganadería también ha variado. Una investigación de la Organización de la agricultura y la alimentación señala que la ganadería es una de las actividades responsables de varios problemas medioambientales al contaminan el aire, suelo y agua (37).

2.3 Tratamiento del agua

El primer paso para obtener agua potable, es determinar la calidad inicial del agua cruda, ya que en función de sus características físicas, químicas y biológicas se va a determinar hasta qué punto el tratamiento aplicado removerá los contaminantes presentes (38). Un tratamiento convencional del agua está formado por procesos como desbaste, sedimentación, coagulación - floculación, filtración y desinfección. Este tipo de tratamiento remueve sólidos suspendidos, no disueltos.

En la primera operación, el desbaste, el agua pasa a través de un conjunto de rejas y tamices que retienen los sólidos de mayor tamaño como troncos, ramas, hojas, piedras, pequeños peces etc, de este modo se evitan daños en bombas o tuberías. Seguido a esto el agua pasa a sedimentadores dentro de los cuales los sólidos se depositan por gravedad durante un tiempo de retención considerado en el diseño. El tratamiento continúa con un proceso de coagulación - floculación, en el cual se añade un coagulante como sulfato de aluminio y se mezcla primero rápido para esparcir el coagulante, y luego lento para favorecer el contacto entre las partículas pequeñas

que al formar partículas de mayor tamaño, se sedimentan por su peso (39).

Después de esta fase el agua sobrenadante pasa a través de un filtro construido con capas de materiales granulares que actúan como medio filtrante en las cuales quedan retenidos sólidos suspendidos y también algunas bacterias. La etapa final del proceso de potabilización del agua es la desinfección, fase en la cual se eliminan microorganismos patógenos causantes de enfermedades como cólera, hepatitis, gastroenteritis (40). Después de realizar este conjunto de procesos el agua es distribuida por tuberías hacia la población. En la figura 2.6 se muestra un esquema de un tratamiento convencional.

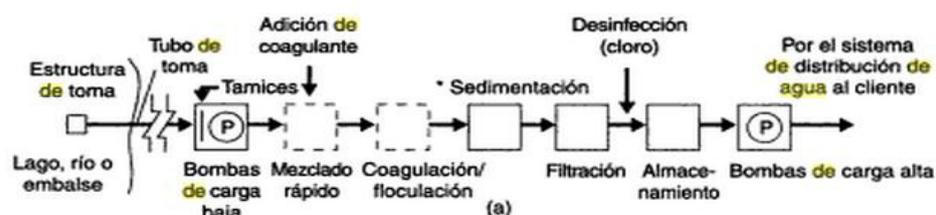


Figura 2. 6 Tratamiento del agua potable

Fuente: Glynn, H. Gary, H. Escalona y García, H. Filtración, 1999

2.4 Filtración

La filtración es un proceso físico empleado en el tratamiento del agua con el fin de eliminar sólidos suspendidos, partículas coloidales y

microorganismos. Generalmente es la última etapa de clarificación. En la filtración mecánica se remueven partículas suspendidas por diferentes mecanismos, ya que estas quedan atrapadas entre los granos del material filtrante.

2.4.1 Tipos de filtración

Se conocen los siguientes tipos de filtración: filtración profunda, de superficie, o tangencial. Su diferencia es marcada por la forma en la que quedan retenidos los contaminantes en el medio filtrante. A continuación se muestra una descripción de cada tipo.

Filtración de superficie (en torta, sobre soporte)

En este tipo de filtración el líquido pasa a través de una superficie filtrante porosa, en la cual se retienen los sólidos de tamaño mayor al poro. Los sólidos removidos se van acumulando sobre la superficie del medio filtrante formando una capa llamada torta que se debe remover cada cierto tiempo. El paso del agua es perpendicular a la superficie del filtro (41).

Filtración de lecho profundo (en volumen, sobre lecho filtrante)

Es llamada también medio filtrante. Se pretende obtener un efluente clarificado sin partículas finas, removiéndolas por diferentes mecanismos de remoción, durante la circulación del líquido a través de un lecho granular con sólidos medios o gruesos. Habitualmente el lecho es de arena, el ejemplo más común es la eliminación de los sólidos en suspensión en el tratamiento de agua potable, tras la floculación y sedimentación. En los filtros de este tipo, no se forma una capa sobre el medio, sino que los sólidos quedan entre las partículas. El lecho filtrante tendrá que limpiarse periódicamente mediante circulación inversa del fluido (42).

Filtración tangencial

El funcionamiento de estos filtros es similar a los de superficie, con la diferencia de que el agua circula en sentido paralelo a la superficie de filtración (41). Los sólidos son separados en flujo tangencial a los medios filtrantes, removiéndose continuamente sin acumulación sobre el medio filtrante, que son membranas. En este tipo de filtración, no todo el caudal de líquido pasa a través del medio filtrante, sino que existirá un caudal de salida tanto de un líquido

filtrado (sin solutos) como de una corriente de rechazo, más concentrada en solutos (42). En la figura 2.7 se muestra un esquema de los tipos de filtración descritos. De izquierda a derecha se observan: una filtración de superficie, filtración de profundidad, y filtración tangencial.

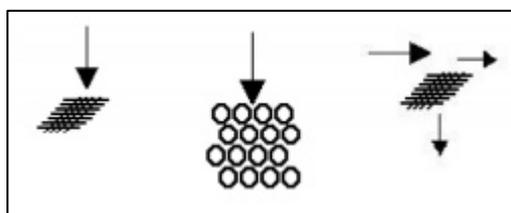


Figura 2. 7 Representación de los filtros de filtración

Fuente: Bermejo, J. Pérez, F. Urrea, M. 2011.

2.4.2 Tipos de filtros

De acuerdo al tipo de material del medio filtrante los filtros utilizados en la potabilización del agua pueden clasificarse en: filtros de medio granular, filtros de membranas, filtros de cartucho y bolsas. **Los filtros de medio granular** son los más utilizados en las plantas de tratamiento, se conforman de una o varias capas de materiales como arena, o antracita colocadas sobre un medio de soporte (generalmente grava). De acuerdo al espesor de las capas y a la

velocidad de filtración se clasifican en filtros rápidos y lentos. Los filtros lentos se empezaron a utilizar en el siglo XIX, en su funcionamiento el agua que ingresa puede o no haber pasado por la sedimentación previa. Los filtros rápidos tienen capacidades de filtración alrededor de 40 veces la de los lentos, su construcción y operación son más económicas. Actualmente con el desarrollo de la filtración rápida se han dejado de utilizar filtros lentos para potabilizar el agua en las ciudades grandes (39).

Las **membranas filtrantes** se fabrican a partir de varios polímeros, entre ellos acetato de celulosa. De acuerdo al tamaño de los contaminantes que pueden remover la membranas, en orden descendente pueden ser: microfiltración (0.3 a 10.0 μm), ultrafiltración (0.002 a 1 μm), nanofiltración (0.001-0.01 μm) y ósmosis inversa (0.0001-0.001). Además de los contaminantes que podría eliminar un filtro de arena, las membranas son capaces de remover sólidos disueltos (38).

Los **filtros de cartucho** se componen de un agente filtrante de polipropileno o poliéster y un centro rígido de PVC. El tamaño de los poros en los filtros de cartuchos varía de acuerdo a la calidad del

agua que se desea obtener, de 100, 50, 25, 10, 5 y 1 micrómetro. Son fáciles de operar, su tiempo de funcionamiento puede ser de hasta un mes y deben ser reemplazados cuando se hayan obstruido (43).

Los **filtros de bolsa** son manufacturados con fibras sintéticas cuyo tamaño de poro es menor que los contaminantes que se desean remover. Pueden utilizarse como filtro primario o secundario cuando se incorpora primero un filtro de arena. El filtro de bolsa puede eliminar partículas hasta de un micrómetro de tamaño y funcionar con aguas cuya turbidez esté entre 1 NTU y 10 NTU (43).

2.4.3 Mecanismos de transporte y adhesión.

Cuando el agua atraviesa un medio filtrante granular, la eliminación del material en suspensión se realiza mediante diferentes procesos físicos, químicos y biológicos llamados mecanismos de transporte y adhesión. Durante la filtración, las partículas suspendidas serán transportadas hacia la superficie del medio filtrante para entrar en contacto con los granos y ser removidos. Entre los mecanismos de transporte y adhesión se tienen los siguientes:

- Retención
- Sedimentación
- Impacto
- Adhesión.
- Adsorción química: Enlace e interacción química.
- Adsorción física: Fuerzas electrostáticas, fuerzas electrocinéticas y fuerzas de Van der Waals
- Floculación
- Crecimiento Biológico. (44)

2.4.4 Variables que afectan el diseño de los filtros

El proceso de filtración se ve afectado principalmente por la naturaleza del afluente, las características del medio filtrante y el caudal de filtración. La descripción de cada variable junto con su descripción se indica en la tabla V.

2.4.5 Filtración con materiales alternativos

Comúnmente la filtración del agua se la realiza empleando medios filtrantes granulares. La filtración con materiales alternativos hace referencia a la utilización de materiales poco comunes en la filtración como por ejemplo telas, algodón, u otra clase siempre que ofrezcan resistencia al paso libre del agua. En este tipo de filtración, las partículas no quedarán atrapadas entre los granos del material filtrante como sucede en los filtros de materiales granulares, sino que se retendrán entre los espacios o poros del material.

Tabla V Variables que afectan el proceso de filtración en un filtro específico

Variables	Descripción
<p><i>Naturaleza del afluente</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Concentración de sólidos en suspensión. - Distribución y tamaño de partícula. - Carga del flóculo o partícula - Propiedades del fluido 	<p>Influye en la actuación de los diferentes mecanismos de remoción.</p>
<p><i>Características del medio filtrante</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Tamaño del grano - Distribución del tamaño del grano. - Forma, densidad y composición del grano. - Carga del medio. 	<p>Afectan la eficiencia de remoción de las partículas en suspensión y al incremento de pérdida de carga.</p>
<p><i>Velocidad de filtración</i></p>	<p>Necesaria para calcular la pérdida de carga</p>
<p><i>Porosidad del lecho filtrante</i></p>	<p>Afecta a la capacidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro</p>

Variables	Descripción
<i>Profundidad del lecho filtrante</i>	Influye tanto en la pérdida de carga como en la duración del ciclo.
<i>Pérdidas de carga admisibles</i>	Variable de proyecto.

Fuente: Tchobanoglous y Schroeder, 1985

2.4.6 Medio filtrante

La calidad del efluente obtenido después de la filtración depende del medio filtrante, es por esto que es necesario conocer sus características. En esta sección se va a mostrar información de los materiales a emplearse como las telas: seda, poliéster, algodón y fieltro. El último material es el algodón.

2.4.7 Medio filtrante: Telas (Fibras Textiles)

Una tela es una lámina flexible compuesta por muchos hilos que se entrecruzan de manera regular y alternada en toda la longitud. Los hilos a su vez están compuestos por fibras, que según sus tejidos forman la estructura de la tela. Considerando el origen de las fibras las telas pueden ser de fibras naturales, o manufacturadas. El primer

grupo, las naturales provienen como su nombre lo indica de la naturaleza y se dividen en vegetales, animales o minerales. Las vegetales son aquellas que tienen como sustancia fundamental la celulosa, ejemplos de este tipo de telas son el lino y el algodón (45).

Las fibras animales en cambio se caracterizan por tener como sustancia básica la proteína, estas provienen de un animal, dentro de este grupo está la lana. La seda también es considerada como fibra animal. Las fibras minerales se usan para telas con propiedades aislantes (46).

Las fibras manufacturadas son las creadas por el hombre. Se denominan artificiales, si resultan de una alteración física o química de productos de base natural no profunda. Si son un material nuevo son sintéticas, ejemplos de fibras sintéticas son el poliéster, nylon (47).

Otra división de los textiles hace referencia al tipo de tejido de las fibras, según esta división las telas pueden ser tejidas o sin tejer. La identificación de un textil en un tipo u otro se consigue por medio de observación microscópica del tejido. Si en la observación se evidencia que los hilos se entrelazan de forma muy parecida al

proceso utilizado en la elaboración de una cesta el textil observado es tejido (48). En la figura 2.8 se muestran algunos tipos de tejidos usados para la fabricación de las telas.



Figura 2. 8 Tipos de tejido plano
Fuente Estur, G. Knappe, M. 2015.

Ligamento tafetán

Tejedura del raso

Ligamento diagonal

Los

textiles sin

tejer en cambio son estructuras que han sido resultado de la elaboración de la tela directamente a partir de la fibra mediante una serie de procesos. La adhesión de las fibras ya no es por tejido, sino por adhesión térmica, química o afieltrado mecánico. En el microscopio la estructura de estos textiles se observa desordenada, en la figura 2.9 se observa lo mencionado (48).

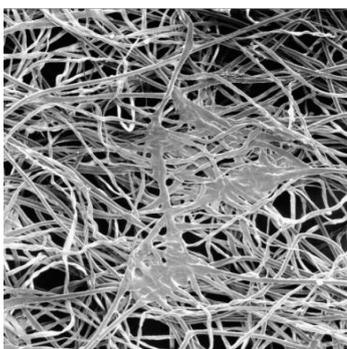


Figura 2. 9 Imagen microscópica de un fieltro

Fuente: Estur, G. Knappe, M. 2015

2.4.8 Tela: Algodón

El algodón constituye una de las fibras textiles más comercializadas en nuestro medio, este tipo de tela está conformada por fibras tejidas donde la materia prima son las bellotas de las plantas de algodón. Las principales características de este tipo de tela se mencionan a continuación:

- Su resistencia no se ve afectada por el agua o la humedad, más bien en estas condiciones esta propiedad puede aumentar en un 20% (46).
- Al estar tejida con fibra natural no se ve afectada por el moho.
- Sus fibras están ordenadas más o menos de forma paralela, y su diámetro oscila entre 15 y 25 micras
- Es capaz de resistir altas temperaturas (85°C) por un largo tiempo y no destruirse.
- Es más pesado (densidad 1.54) que el poliéster.
- Muy poco flexible y elástico (49).

Las fibras son alargadas en forma de cinta plana con bordes redondeados de acuerdo a la calidad de la fibra. Químicamente se compone de celulosa (91.2%), agua (7.6%), materia nitrogenada

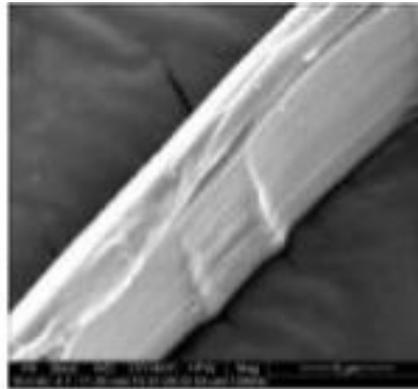
(0.6%), minerales (0.2%), ceras y grasas (0.4%). Debido a las grasas las fibras desarrollan cierta impermeabilidad.

2.4.9 Tela: Seda

Las fibras de seda son de origen natural, elaboradas por algunos gusanos de mariposas durante el proceso de formación de su capullo. Los filamentos en su sección transversal tienen forma triangular y su diámetro es variable con la longitud (46). Entre las propiedades de esta tela se pueden mencionar:

- Buena absorción de la humedad
- Alta resistencia
- Es una tela muy liviana, fina y lisa.
- Muy poco elástica

Las fibras de seda no se encogen, más bien se pueden hinchar al mojarse tras lo cual pueden perder algo de su resistencia. El hinchamiento del textil en estas condiciones, o la luz solar son factores que contribuyen a la reducción de su resistencia (46). En la imagen 2.10 se observan la fibra de la seda.



Seda vista a 43 x, 1500 x and 12.000 x

Figura 2. 10 Vista microscópica de la fibra de seda

Fuente: Gil, A. s.f.

2.4.10 Tela: Poliéster

El poliéster forma parte del grupo de textiles sintéticos. Las fibras individuales que conforman al poliéster son muy finas (39). Entre sus principales características se pueden mencionar:

- Muy liviano
- Conformado por fibras sintéticas muy resistentes y poco higroscópicas
- Su fibra puede resistir periodos de humedad repetitivos.
- Es bastante resistente a la presencia de moho y hongos.
- Su resistencia húmeda es igual que la seca.
- Adquieren electricidad estática con lo cual atraen a partículas de suciedad, aceites y grasas (46).

2.4.11 Tela no tejida: Fieltro

Es un tejido fabricado con fibras de lana sin hilar a veces mezcladas con fibras vegetales (como algodón, yute) o sintéticas (como rayón, nylon). El fieltro se obtiene de la unión de fibras mediante un proceso de efecto direccional de fricción, que consiste en el entrelazado de las fibras cuando se aprietan y se aflojan de forma intermitente hasta su compactación (38). Las fibras que constituyen el fieltro están colocadas al azar por lo que sus agujeros no son regulares, además presenta una pelusa superficial que incrementa la superficie de filtración (49). Entre las propiedades del fieltro se tienen las siguientes:

- Puede resistir la temperatura hasta 120 °C.
- Debido a la estructura escamosa de la lana, le permite retener partículas microscópicas en su superficie. Además ayuda a la separación de hidrocarburos del agua.
- Pueden ser cortados sin que la tela se desfibre o deshilache.
- Puede resistir a los efectos de sustancias ácidas, pero sufre daño con las alcalinas (50).

2.4.12 Material: Algodón

La lana del algodón proviene de las cápsulas de la planta, sus fibras en la industria textil son reconocidas porque son blandas. Las fibras tienen forma de cinta plana con bordes redondeados, retorcida, con una longitud que varía entre 13 y 45 mm y diámetro de 20 a 40 micras (46). En la figura 2.11 se muestran la planta de la que se extrae el material.



Figura 2. 11 Algodón natural

Fuente: Gil, A. s.f.

2.5 Tratamientos avanzados de agua

Un tratamiento avanzado de potabilización en el agua es capaz de remover al menos el 90 % de las sustancias peligrosas presentes en

el agua sin generar compuestos tóxicos. Con este tipo de tratamiento se pueden remover partículas tan pequeñas como las disueltas (51). El inconveniente de estos métodos de tratamiento es el factor costo ya que su incorporación en una planta requiere de una gran inversión. Se consideran tratamientos avanzados los siguientes:

- Carbón activado
- Tratamiento con membranas
- Intercambio iónico

2.5.1 Carbón activado

El carbón activado es un material empleado para remover sustancias químicas del agua. Está compuesto de gránulos negros, los mismos que pueden ser de carbón, madera, cáscara de nuez y otros materiales ricos en carbón. Cuando el agua pasa a través de un filtro de carbón activado los contaminantes se adhieren a las caras internas y externas de los gránulos, obteniéndose un efluente más limpio. El material filtrante se puede regenerar una vez que ya se encuentre saturado de contaminantes mediante la aplicación de elevadas temperaturas (52).

2.5.2 Membranas

Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Mediante la adición de presión, en un tratamiento con membranas se permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente depurado. Las membranas se disponen en diferentes configuraciones, en forma de láminas, tubulares o del tipo fibra hueca (53).

2.5.3 Intercambio iónico

Es una operación en la cual se produce un intercambio de iones, es decir los iones de un sólido son intercambiados por iones de igual carga de un fluido (54). En el tratamiento se usan sustancias granuladas insolubles en el agua llamadas resinas, un ejemplo son las zeolitas. Las resinas además tienen la propiedad de poder regenerarse, ya que si se usa una solución ácida, base o sal desplaza los iones retenidos y los reemplaza por iones deseados permitiendo reutilizarla (55).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

Para determinar la capacidad de remoción de partículas de los filtros se emplea agua proveniente del río Zapan. Se tienen como medios filtrantes las telas: seda, algodón, poliéster y fieltro, y el material algodón. La eficiencia de los filtros construidos se determina desde el punto de vista de la reducción en las concentraciones de sólidos totales, sólidos suspendidos, y turbidez. Finalmente por medio de un ensayo de la determinación del tamaño de las partículas se busca establecer el tamaño mínimo de partícula que se remueve al emplear los 4 mejores filtros analizados.

3.1 Descripción de la unidad filtrante

La unidad de filtración se compone del material filtrante ajustado en su parte superior e inferior por anillos de 1 cm de altura de manguera de 1 pulgada de diámetro. Tanto el material filtrante como los anillos se encuentran en el interior de un tramo de manguera de vinil transparente de longitud igual a 10 cm, con diámetro exterior de 1 1/4 de pulgada e interior 1 pulgada. En el ingreso y salida de filtro se colocan reductores de 1 1/4" a 1/2", el primero de estos se conecta a una manguera de 1/2 pulgada que conduce el agua cruda desde el vaso de precipitación hacia el filtro, y el reductor de la salida permitirá la descarga del agua filtrada hacia el interior de los recipientes plásticos de muestreo.

El paso del agua cruda a través del filtro se logra mediante la aplicación de presión con una bomba de 47 watts de potencia, capaz de elevar el agua hasta 3 metros, con lo cual es posible vencer la resistencia de los materiales filtrantes al flujo del agua. Los anillos de tubería de 1 pulgada evitan que la presión del agua produzca el plegamiento del medio filtrante. Además de mantenerlo confinado.



Figura 3.1 Unidad de filtración

Fuente: Autor

3.2 Medio filtrante

Los materiales empleados como medios filtrantes son: el algodón y las telas algodón, seda, poliéster y fieltro. Es necesario que todos estos materiales estén limpios por lo que se debe tener cuidado de

no contaminarlos durante su manejo. Si el medio es un textil se los dispone en capas, mientras que si es algodón se fija la altura ocupada por el material.

En cuanto a las dimensiones de las capas de las telas estas deben ser tales que ocupen completamente la sección transversal del filtro. La elección de los materiales se basó en la facilidad con la que se los puede adquirir y en el tamaño pequeño de los poros apreciable a simple vista. Para conocer el tamaño de poros que pueden tener los medios filtrantes se realizó una microscopia, la misma que se detalla más adelante.

3.2.1 Determinación del tamaño del poro

Si se desea tener una idea del tamaño de partículas que puede remover un textil como material filtrante, es necesario determinar el tamaño de poro entre sus fibras. Para conseguir tal objetivo se realizaron observaciones empleando un microscopio Leica DMLS. Las observaciones se hicieron con un aumento de 10 x para el material tejido (telas seda, algodón, y poliéster) dispuesto en 1, 3 y 5 capas y para el no tejido (fieltro) en 1 y 3 capas. No se dispusieron

en mayor número debido a que no se diferenciaba el tamaño del poro.

El tamaño de los espacios vacíos varía acorde al número de capas en que se disponga la tela, de la finura del hilo y del tipo de tejido. A pesar de que en la construcción de los filtros el número de capas fue mayor al observado, se puede comprobar visualmente como a mayor número de capas disminuye el tamaño de poros. A continuación se detalla la descripción de las imágenes observadas, junto con el tamaño máximo del poro, tamaño mínimo y un tamaño promedio. El promedio se lo obtuvo de varias mediciones tomadas, no solo del valor mínimo y máximo.

Algodón 10x

Al observar el textil en el microscopio se evidencia que su estructura está compuesta por un conjunto de fibras entrelazadas que forman un tejido tipo tafetán. La disposición de estas fibras no es recta sino algo ondulada, existiendo unos pequeños agujeros entre cada grupo de fibras. Estos agujeros tienen forma no geométrica y tamaño variado. Siendo en promedio de 65 μm cuando existe una sola capa, 47 μm para tres y 26 μm para 5 capas. El área ocupada por los

orificios es pequeña en comparación con la de las fibras. En la figura 3.2 se observa la tela algodón vista a través del microscopio.

	<p>1 CAPA</p> <p>Tamaño max: 140 um Tamaño min: 25 um Tamaño promedio del poro: 65um</p>
	<p>3 CAPAS</p> <p>Tamaño max: 120 um Tamaño min: 20 um Tamaño promedio del poro: 47 um</p>
	<p>5 CAPAS</p> <p>Tamaño max: 50 um Tamaño min: 10 um Tamaño promedio del poro: 26 um</p>

Figura 3. 2 *Microscopia de tela algodón con aumento 10 x*

Poliéster 10 x

Se observan en el tejido orificios no uniformes. Cuando el poliéster se dispone en una sola capa el tamaño promedio es de 42 um, en 3

capas 30 μm y en 5 capas 28 μm . . Además, en este tipo de tela el número de orificios es mayor que en la tela algodón. En la figura 3.3 se muestran las imágenes observadas a través del microscopio, y las dimensiones de los poros.

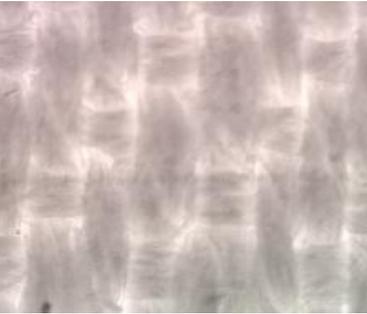
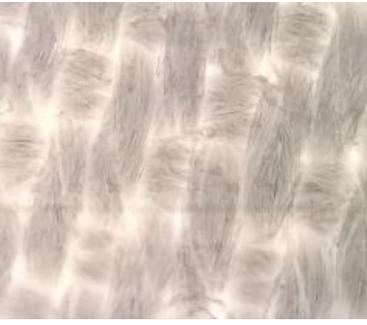
	<p>1 CAPA</p> <p>Tamaño max: 80 μm Tamaño min: 20 μm Tamaño promedio del poro: 42 μm</p>
	<p>3 CAPAS</p> <p>Tamaño max: 60 μm Tamaño min: 20 μm Tamaño promedio del poro: 30 μm</p>
	<p>5 CAPAS</p> <p>Tamaño max: 40 μm Tamaño min: 20 μm Tamaño promedio del poro: 28 μm</p>

Figura 3. 3 Microscopia de tela poliéster con aumento 10 x

Seda

Los espacios entre los hilos tienen forma regular: unos rectangulares y otros cuadrados. Las fibras que conforman los hilos son paralelas entre si y están separadas a una distancia aproximada a su diámetro. Conforme se incrementan las capas de 1 a 3 y de 3 a 5, se aprecia como los orificios van quedando cubiertos. Cuando es una sola capa el tamaño promedio de los orificios es de 65 μm , si son tres capas es 48 μm y si son cinco es 34 μm . En la figura 3.4 se muestran las observaciones realizadas a través del microscopio de la seda.

Filtro 10x

Se corrobora que el fieltro es un textil no tejido. Por ser su estructura desordenada no es posible definir un tamaño de poro. En la figura 3.5 se ven las fibras que componen este material.

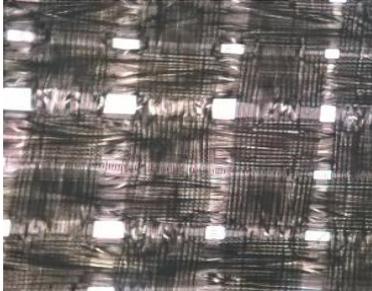
	<p>1 CAPA</p> <p>Tamaño max: 100 μm Tamaño min: 40 μm Tamaño promedio del poro: 65 μm</p>
	<p>3 CAPAS</p> <p>Tamaño max: 60 μm Tamaño min: 30 μm Tamaño promedio del poro: 48 μm</p>
	<p>5 CAPAS</p> <p>Tamaño max: 50 μm Tamaño min: 20 μm Tamaño promedio del poro: 34 μm</p>

Figura 3.4 Microscopia de tela seda con aumento 10 x

	1 CAPA
	3 CAPAS
No se pudo observar	5 capas

Figura 3.5 Microscopia de fieltro con aumento 10 x

3.3 Construcción de la unidad de filtración.

Se construyen 15 unidades de filtración siguiendo el procedimiento mostrado más adelante, cada unidad se distingue tanto por el material filtrante como por el número de capas. Siendo los materiales

filtrantes el algodón y las telas: algodón, seda, poliéster, y fieltro. Cada tela se dispone en 10, 25 y 40 capas a excepción del algodón en el que se controla su altura con valores de 1.5, 2 y 2.5 cm. Para evaluar la remoción obtenida con los filtros de materiales alternativos, se construyeron las unidades de filtración empleando los siguientes materiales:

- Manguera transparente de vinil de 1 ¼ pulgada
- Manguera transparente de vinil de 1 pulgada
- Accesorios reductores de 1 ¼ a ½ pulgada.
- Abrazaderas

El procedimiento de construcción del filtro se describe a continuación:

1. Cortar un tramo de 10 cm de manguera transparente de diámetro 1 ¼ pulgada, esta será la parte exterior del filtro, es decir aquella que confina los materiales filtrantes. Se eligió trabajar con manguera transparente para poder visualizar el cambio de color entre el agua cruda que ingresa y el agua que ha pasado a través del material filtrante.

2. Colocar un accesorio reductor a la salida del filtro.
3. Colocar en el interior de la manguera de 1 ¼ pulgada, un tramo que mida 1 cm de la manguera de diámetro 1 pulgada. Esta última queda ajustada completamente debido a la coincidencia de su diámetro externo con el interno de la manguera de 1 ¼ pulgada. La finalidad de colocar esta sección es usarla como medio de soporte para los materiales alternativos.
4. Cortar cada material filtrante en forma circular, su diámetro tiene que ser el mismo que el diámetro interior de la manguera externa, es decir 1 pulgada.
5. Ubicar el material alternativo a emplear en capas, sobre la fracción de la manguera interior colocada para soporte. Procurar que los materiales no presenten pliegues. Una vez dispuestas las capas de material filtrante, o colocado el algodón ajustar el medio filtrante con un tramo similar al utilizado en el paso 3 para soporte. De esta forma se evita su movimiento en el interior de la unidad de filtración.

6. En el extremo por el que ingresará el agua en el filtro, colocar otro accesorio reductor.

Siguiendo los pasos del 1 al 6 se completa la construcción de la unidad de filtración, pero debido a la oposición que ofrece el material filtrante al paso del agua es necesario incorporar presión al sistema. A continuación se detallan tanto el procedimiento como los materiales empleados para conseguir el modelo del sistema de filtración:

- Manguera transparente de vinil de $\frac{1}{2}$ pulgada
 - Abrazaderas uña para tuberías
 - Bomba de 3 m.c.a y potencia 47 watts.
 - Plancha de plywood de 45 x 45 cm.
7. Cortar un pedazo de 1 metro de manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada y conectarlo con el accesorio reductor en el ingreso del filtro.
 8. Conectar el otro extremo de la manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada a la bomba.
 9. Fijar el filtro y la manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada en una plancha de plywood para mantenerlos estables durante el proceso de

filtrado. Esta manguera debe unir los puntos A y B indicados en la figura 3.6.

Nota: Para no tener fugas es necesario colocar abrazaderas en cada unión entre la manguera y accesorio reductor, y la de manguera con la bomba. Conforme varía el material filtrante, se cambia el filtro conectado en el extremo de la tubería de ½ pulgada (punto B).



Figura 3. 6 Sistema de filtración construido

3.4 Descripción del experimento

3.4.1 Filtración

Después de terminar la fase de construcción del filtro, se procede a realizar las pruebas del proceso de filtración. En cada prueba las

condiciones en el sistema de filtración fueron las mismas, la única variación era el cambio del filtro (cambiaba el material o el número de capas). El desarrollo del experimento se lleva a cabo en el orden que se explica a continuación:

- 1.** Verter un volumen de dos litros en un balde, de este se obtendrá la muestra inicial a emplearse.
- 2.** Extraer un volumen de 300 ml de agua previo a la filtración, para determinar la concentración de sólidos totales y turbidez del agua cruda inicial. Únicamente cuando el número de capas de material filtrante sea igual a 40 (para las telas algodón, poliéster y fieltro), y la altura del algodón 2.5 cm tomar 500 ml adicionales para los ensayos de sólidos suspendidos. Esta información será la que caracterice a la muestra inicial utilizada.
- 3.** El resto del agua se empleará en el proceso de filtración, verter parte del volumen en un vaso de precipitación (o algún otro recipiente), e introducir la bomba sumergible en el fondo. Considerar que conforme se vaya reduciendo la cantidad de agua en el vaso será necesario ir añadiendo más para que la bomba funcione correctamente.

4. Encender la bomba sumergible que impulsará el agua a circular a través del filtro. Tomar una muestra de 300 ml para realizar el ensayo de sólidos totales y turbidez al agua luego de la filtración.

5. Tomar una muestra de 500 ml a la salida del filtro cuando el número de capas sea igual a 40 para las telas poliéster, algodón y fieltro, y también cuando la altura del algodón sea de 2.5 cm. La muestra de 500 ml fue llevada al laboratorio de Ciencias Químicas y Ambientales para determinar la concentración de sólidos suspendidos.

6. Al ser uno de los objetivos determinar el caudal que se puede filtrar con cada material alternativo, tomar el tiempo que demora en filtrarse un volumen de 500 ml de agua, medido en el vaso de precipitación a la salida; cuando se haya alcanzado a llenar tal volumen la bomba debe ser apagada y finalizado el conteo del tiempo.

Nota: La muestra inicial se toma cada vez que se va a realizar un ensayo de filtración. Se obtiene un volumen de 300 ml en la entrada, y 300 ml a la salida del filtro para determinar eficiencia en la

remoción de sólidos totales y cambio en la turbidez al usar cada uno de los 15 filtros; solo en el caso en que el número de capas es igual a 40 se requiere un volumen adicional para analizar la concentración de sólidos suspendidos. Considerar que el agua que sale inmediatamente del filtro no debe ser tomada como volumen de muestra, sino que es necesario esperar unos minutos para empezar a almacenarla.

3.4.2 Determinación del tamaño de la partícula

El ensayo para determinar el tamaño de partículas sólo se realiza a los elementos que son retenidos en los filtros que tienen como material filtrante el algodón de 2.5 cm, y las telas algodón, poliéster, fieltro en 40 capas. Por la cantidad excesiva de agua proveniente del Río Zapán que se necesitaría filtrar para obtener 10 gramos de sólidos, se prepara una mezcla de suelo fino pasante del tamiz número 200 (abertura de 0.074 mm) con agua destilada. Para obtener la muestra se siguió el siguiente procedimiento:

- 1.** Secar en el horno una muestra de suelo que contenga partículas cuyo tamaño sea semejante al de las arcillas.

2. Tamizar la muestra y obtener 50 gramos de suelo pasante del tamiz 200. La figura 3.7 muestra cómo se tamizó la muestra.
3. Medir un litro de agua destilada y mezclarla con los 50 gramos de suelo pasante del tamiz 200.
4. Verter el contenido en un recipiente en donde pueda introducirse la bomba sumergible.
5. Filtrar el agua, en la unidad de filtración.
6. Dentro de un recipiente lavar las capas, para retirar las partículas adheridas en el medio filtrante.
7. Secar en el horno el contenido del recipiente.
8. Pesar 10 gramos del suelo secado al horno (siendo este el residuo que ha quedado en el recipiente) y almacenarlo en un envase.
9. Los 10 gramos obtenidos se llevan al Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales de ESPOL, en donde con un equipo llamado master sizer es posible obtener los diámetros de

partículas, y por lo tanto establecer el tamaño más pequeño de partícula que puede retenerse usando cada material alternativo.



Figura 3.7 Tamizado de la muestra

3.5 Descripción del área de muestreo

La elección del sitio de muestreo se la hizo con el fin de ubicar una población que use agua del río como fuente de abastecimiento. En correspondencia a esta condición se determinaría la eficiencia que tendrían los filtros de materiales alternativos en caso de emplearse por alguna persona para mejorar la calidad del agua a usar. Buscando información sobre sectores que no tengan el servicio básico de agua potable se encontró el Recinto La Alianza.

El Recinto La Alianza está localizado en el cantón Samborondón, de la provincia del Guayas. Se puede acceder al lugar si se toma un desvío ubicado a la salida de la parroquia Tarifa, el camino vecinal conecta al recinto con la vía Samborondón-Guayaquil. En el Recinto habitan 500 personas aproximadamente, su principal fuente de ingreso económico resulta de actividades agrícolas y ganaderas, o de trabajos como jornaleros. Tanto la agricultura como ganadería la practican a pequeña escala, por lo que son familias de bajos recursos. En la figura 3.8 se muestra una imagen de Google Earth en la que se indica la ubicación del Recinto La Alianza.



Figura 3. 8 Ubicación del Recinto La Alianza

Los pobladores no cuentan con servicios básicos de agua potable o de alcantarillado, motivo por el cual se ven obligados a adquirir el líquido vital de fuentes como el río o captarlo durante la lluvia. Según información proporcionada por los moradores también obtienen agua de tanqueros, la que usan únicamente para actividades de limpieza ya que no les parece que sea de buena calidad para su consumo por su sabor salobre y porque en el lavado se gasta mayor cantidad de detergente. Por lo mencionado y porque la dotación por tanqueros no es frecuente, el agua del río resulta ser la mejor opción sea en verano o en invierno. Actualmente, antes de consumir el agua la dejan sedimentar por varios días en tanques, y le añaden cloro para desinfectarla.



Figura 3. 9 Imagen de viviendas ubicadas en el Recinto

3.6 Descripción de la fuente

El sitio de muestreo es el río Zapan, que cruza el Recinto La Alianza y es una de las fuentes de abastecimiento para su población. Las coordenadas del punto de muestreo son: Latitud $1^{\circ} 57' 18.7''$ S y longitud $79^{\circ} 46' 37.2''$ W. En la figura 3.10 se indica la localización del punto de muestreo.



Figura 3. 10 Ubicación del punto de muestreo en el Río Zapan

El agua del río se observa turbia, de color oscuro, no se evidencian olores desagradables. En sus alrededores existen ganado, y cultivos, factores que contribuyen a la contaminación del agua. Los habitantes por evitar el daño de los cultivos por plagas, utilizan pesticidas que contaminan el río.



Figura 3. 11 Sitio de muestreo

3.7 Manejo de las muestras

La Norma Técnica Ecuatoriana *INEN 2176 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO* constituye una guía necesaria para el muestreo del agua previo a su análisis físico en el laboratorio. Información relacionada a la clase de recipientes, y las condiciones de conservación de la muestra se obtuvo de la norma mencionada. Para el desarrollo de la investigación fue necesario realizar muestreo in situ y en laboratorio.

De manera general en un muestreo sea de laboratorio o in situ, es necesario que los envases a emplearse estén limpios; es decir libres de contaminantes para que no se altere la calidad del agua y por consiguiente los resultados. Así mismo en la toma de muestras se debe registrar información sobre la ubicación del lugar. Durante el transporte hacia el laboratorio las muestras tienen que conservarse de acuerdo al método correspondiente del parámetro a analizarse.

3.7.1 Muestreo in situ: Fuente Río Zapan

Se selecciona un punto del río en el que no exista turbulencia excesiva, para que la muestra sea representativa y homogénea. Del Río Zapan se tomaron aproximadamente 50 litros de agua, los cuales fueron almacenados en galones de plástico. El procedimiento para tomar la muestra consistió en introducir el galón en el cauce del río hasta captar un poco de agua, sólo la necesaria para purgar el envase, ya que esta agua se vacía y no forma parte de la muestra. Se vuelve a introducir el galón y se espera que esté prácticamente lleno. Posteriormente, la muestra se transportó al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas de la Facultad de Ciencias de la Tierra de ESPOL, en el que se realizaron las pruebas de filtración. Cabe

mencionar que en este laboratorio no se realizaron los ensayos de sólidos suspendidos. En la figura 3.12 se muestra una imagen tomada en el momento de muestreo.



Figura 3. 12 Toma de muestras

3.7.2 Muestreo en laboratorio

Para probar la eficiencia de los filtros de materiales alternativos se extrajeron muestras de agua al ingreso y a la salida del mismo, de 300 ml para el análisis de sólidos totales y turbidez, mientras que para sólidos suspendidos fueron de 500ml. Todas las muestras deben de marcarse de forma clara y permanente, para llevar un control de los ensayos ordenada y evitar confusiones.

Los 2 tipos de muestras son puntuales, ya que sólo buscan conocer la calidad del agua en una condición específica. En la tabla VI se muestran los requerimientos establecidos por la norma *INEN 2169 AGUA CALIDAD DEL AGUA.MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS* para garantizar la conservación de la muestras tanto en el análisis de sólidos suspendidos como para sólidos totales. A pesar de que en la tabla no hay una exigencia que especifique conservar la muestra de sólidos suspendidos en refrigeración, para el ingreso de las mismas en el Laboratorio de Ciencias Químicas y Ambientales esto si fue un requisito.

Tabla VI Técnicas generales para la conservación de muestras

Parámetros	Tipo de recipiente P= Plástico V= Vidrio	Técnica de conservación	Lugar de análisis	Tiempo máximo de conservación recomendado antes del análisis
Sólidos en suspensión y sedimentables	P o V	-	Laboratorio	24 horas
Sólidos totales (extracto seco)	P o V	Refrigerar entre 2°Cy 5°C	Laboratorio	24 horas

Fuente: INEN 2169,

3.8 Análisis de laboratorio

Las pruebas de filtración con las que se obtuvo las muestras para los ensayos de sólidos totales, suspendidos y tamaño de partícula se

realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Rocas de ESPOL. El procedimiento de muestreo obedece a lo mencionado en el literal 3.7.2. Muestreo en laboratorio. Después de obtener las muestras estas fueron trasladadas a cada laboratorio en el que se contrató la realización de los análisis.

3.8.1 Sólidos totales

Los ensayos de sólidos totales fueron realizados en el Laboratorio de Análisis Técnicos Aguas de ESPOCH. El número de muestras a las que se realiza este ensayo es de 30, estas incluyen las muestras inicial y final de los filtros que tienen como medio filtrante las 4 telas dispuestas en 10, 25 y 40 capas y el algodón en 1.5, 2 y 2.5 cm. Los resultados reflejan las concentraciones de sólidos totales en cada muestra.

3.8.2 Sólidos suspendidos

Para los análisis de sólidos suspendidos se contrata los servicios del Laboratorio de Ciencias Químicas y Ambientales de ESPOL. Se llevaron un total de 8 muestras (4 en la entrada y 4 en la salida del

filtro), correspondientes a los medios filtrantes las telas algodón, poliéster, fieltro y el material algodón, los tres primeros dispuestos en 40 capas y el último a una altura de 2.5 cm. El método usado por el analista fue el gravimétrico. En la presentación de los resultados se muestran las concentraciones de sólidos suspendidos de cada muestra.

3.8.3 Tamaño de partículas

Para estos ensayos se contrata los servicios del LEMAT de ESPOL. Fue necesario llevar 10 gramos de muestra seca para cada ensayo. Las muestras a analizarse son las obtenidas al utilizar el mismo tipo de unidades de filtración mencionadas en el literal anterior. En la presentación de los resultados del ensayo se muestra el volumen de partículas de cada tamaño en la muestra.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al culminar la parte experimental, y teniendo los resultados de cada ensayo es posible proceder a su análisis e interpretación. La información recibida de los laboratorios se presenta en el Apéndice B. En esta sección para facilitar su apreciación se los han agrupado en tablas, en las que se detallan tanto el material filtrante, como los parámetros considerados. Para observar las remociones obtenidas al disponer cada material en diferente número de capas (o altura), se han construido gráficas de dispersión. Así mismo, se han elaborado gráficos de barras para comparar los valores de eficiencia máximos alcanzados.

4.1 Funcionamiento del filtro

En la sección 2.4.1 se había mencionado que hay diferentes clases de filtración, dependiendo de la forma en que se remuevan los contaminantes. Al fijarse en el funcionamiento de los filtros construidos con los materiales alternativos se puede notar que una fracción de las partículas quedan retenidas en la superficie, y otra es capaz de pasar por ser de menor tamaño que los poros. De la fracción que pasa, algunas quedan retenidas conforme llegan a las capas sucesivas, mientras que otras muy pequeñas no se pueden eliminar y salen del filtro, siendo estas las que al final aportan turbidez al efluente. En la figura 4.1 se observan como las capas superiores del filtro son las que acumulan la mayor parte de los contaminantes.

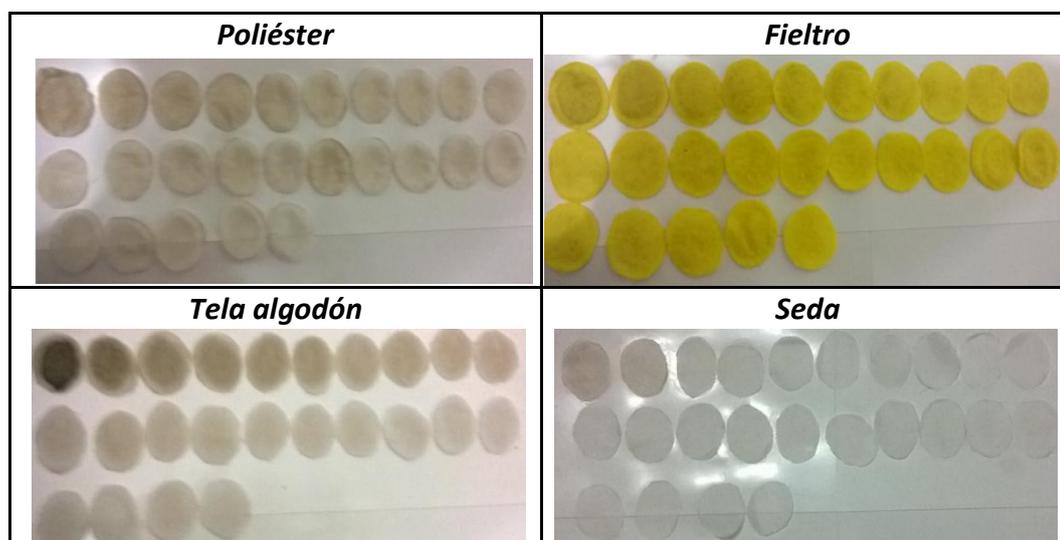


Figura 4.1 Medio filtrante después de la filtración

En el agua filtrada se evidenció un cambio del color, tal como se enuncia en el marco teórico, esta propiedad depende de la cantidad de sólidos suspendidos y coloidales presentes, por lo que su cambio se atribuye a la reducción de dichas partículas. En la figura 4.2 se muestran algunas de las imágenes donde se aprecia la diferencia en el color del agua antes y después de haberse filtrado a través de los textiles dispuestos en 40 capas y el algodón con 2.5 cm de profundidad.

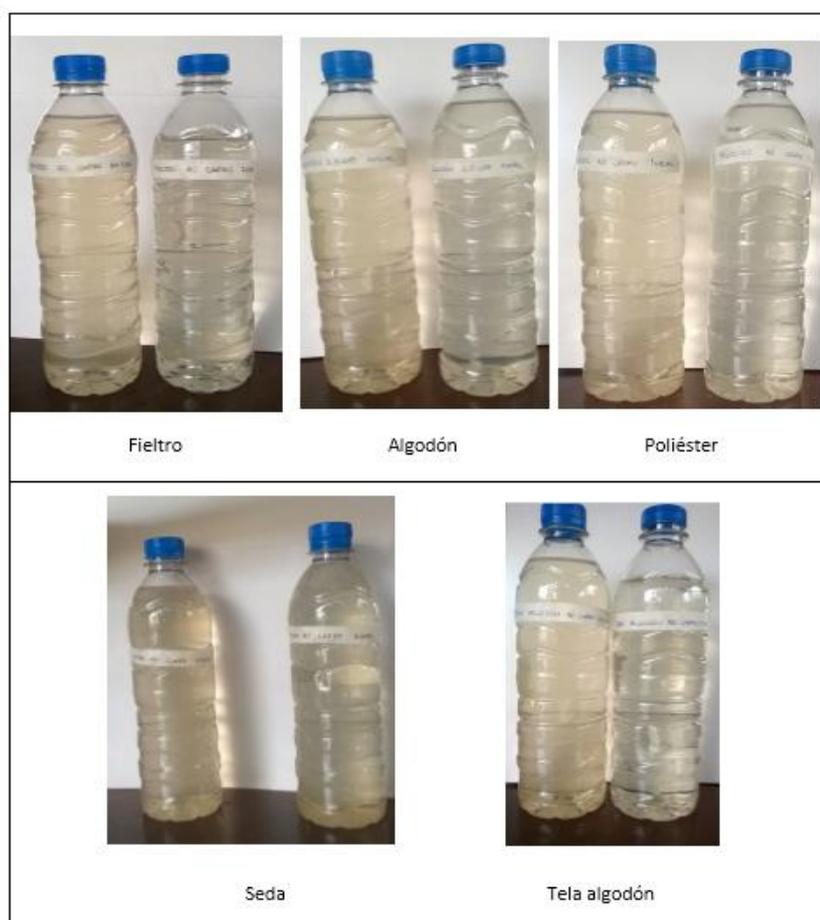


Figura 4.2 Comparación del agua antes y después de la filtración

4.2 Determinación de la Eficiencia del Proceso

Para representar la eficiencia de cada material filtrante, se emplea el término porcentaje de remoción. Este porcentaje es un valor que expresa la fracción de contaminantes que se han removido debido al proceso de filtración. La ecuación empleada para determinar el porcentaje de remoción es la siguiente:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100$$

Dónde:

C₀ = Concentración inicial

C_f = Concentración final

4.3 Resultados

Antes de la presentación de los resultados cabe recalcar que los ensayos: sólidos totales, suspendidos y turbidez fueron realizados con la muestra obtenida del río Zapan; mientras que en el ensayo tamaño de partícula se utilizó una muestra preparada con suelo pasante de la malla N° 200 (abertura 0.074mm) y agua destilada, tal

como se indica en la sección 3.4.2. Para el algodón y los textiles fieltro, algodón, poliéster se realizaron los ensayos de turbidez, sólidos totales, suspendidos, y tamaño de partícula; para la seda solo los dos primeros, debido a que las eficiencias obtenidas en estas pruebas no fueron significativas. A continuación se muestran los resultados ordenados según el tipo de material filtrante.

4.3.1 Material filtrante: Textil algodón

Tabla VII Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante tela algodón

RESULTADOS									
Material	Tela Algodón								
Parámetro	Sólidos totales (mg/L)			Turbidez NTU			Sólidos Suspendidos (mg/L)		
Numero de capas	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción
10	232	196	15.52%	58.1	51.6	11.19%	-	-	-
25	260	180	30.77%	75.6	39.4	47.78%	-	-	-
40	220	136	38.18%	75.6	29.5	60.98%	29.6	3.3	88.85%

4.3.2 Material filtrante: Textil Fieltro

Tabla VIII Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante el fieltro

RESULTADOS									
Material	Fieltro								
Parámetro	Sólidos totales (mg/L)			Turbidez NTU			Sólidos Suspendidos(mg/L)		
Numero de capas	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción
10	320	308	3.75%	61.5	58	5.69%			
25	228	212	7.02%	68.7	48.7	29.11%			
40	312	224	28.21%	66.2	31.7	52.11%	35.9	2.8	92.20%

4.3.3 Material Filtrante: Textil Poliéster

Tabla IX Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante el poliéster

RESULTADOS									
Material	Poliéster								
Parámetro	Sólidos totales (mg/L)			Turbidez NTU			Sólidos Suspendidos (mg/L)		
Numero de capas	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción
10	232	216	6.90%	55.6	52.5	5.58%			
25	260	236	9.23%	71.9	46.2	35.74%			
40	272	184	32.35%	77	33.3	56.75%	38.7	3.0	92.25%

4.3.4 Material Filtrante: Textil seda

Tabla X Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante la seda

RESULTADOS						
Material	Seda					
Parámetro	Sólidos totales (mg/L)			Turbidez NTU		
Numero de capas	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción
10	212	208	1.89%	58	61.9	0.00%
25	272	264	2.94%	56.9	62.8	0.00%
40	388	360	7.22%	74.4	63.9	14.11%

4.3.5 Material Filtrante: Algodón

Tabla XI Resultados de los ensayos al emplear como medio filtrante el material algodón

RESULTADOS									
Material	Algodón								
Parámetro	Sólidos totales (mg/L)			Turbidez NTU			Sólidos Suspendidos (mg/L)		
Profundidad	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción	Inicial	Final	% Remoción
1.5 cm	240	212	11.67%	67.10	38.3	42.92%			
2.0 cm	260	220	15.38%	68.60	38.7	43.59%			
2.5 cm	300	236	21.33%	78.40	32.9	58.04%	21.8	1.2	94.50%

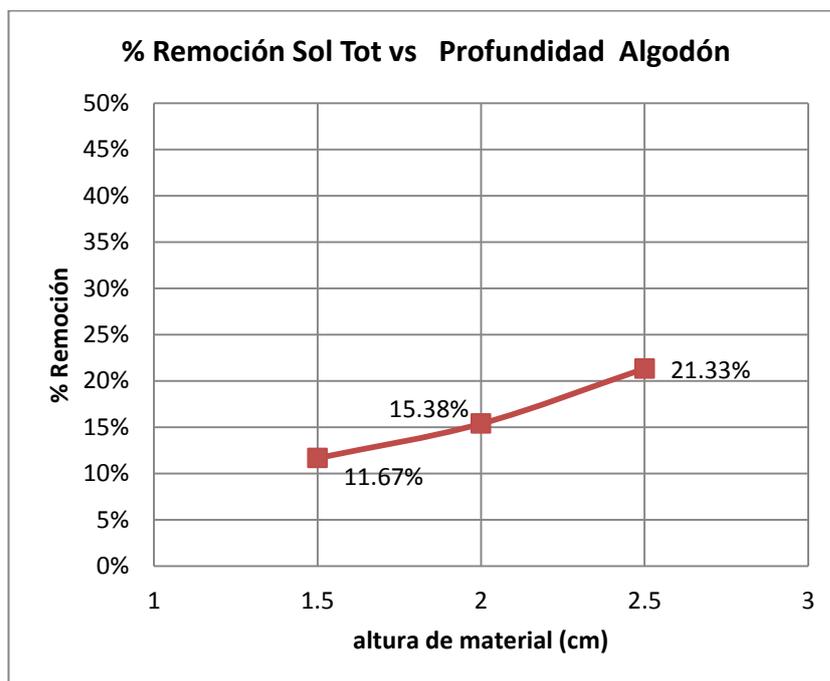


Gráfico 1 Curva de remoción de sólidos totales obtenida con el material algodón

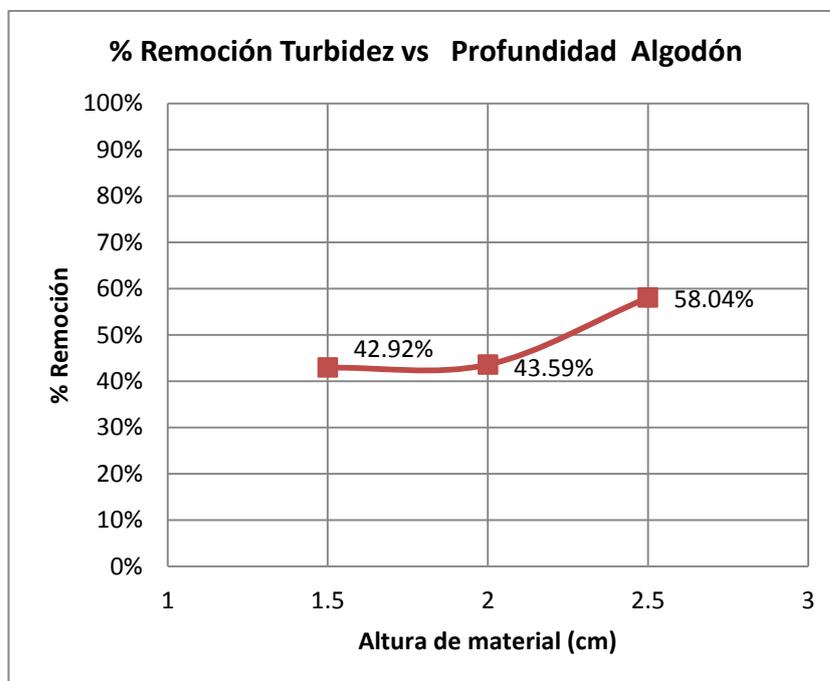


Gráfico 2 Curva de remoción de turbidez obtenida con el material algodón

4.4 Discusión de los resultados

4.4.1 Sólidos totales

En el gráfico 3 se muestran las curvas que indican que los valores de eficiencia varían de forma creciente a medida que se incrementan las capas o altura del material, alcanzándose la mayor remoción de sólidos totales (38.18 %) con la tela algodón, resultando ser el más eficiente. Seguido al algodón están el poliéster y el fieltro, con los que se alcanzó un máximo de 32.35 y 28.21 % cuando se dispusieron en 40 capas. Para 10 y 25 capas mostraron eficiencias bajas siendo de: 6.90 y 9.23 % para el poliéster, 3.75 y 7.02 % en el caso del fieltro.

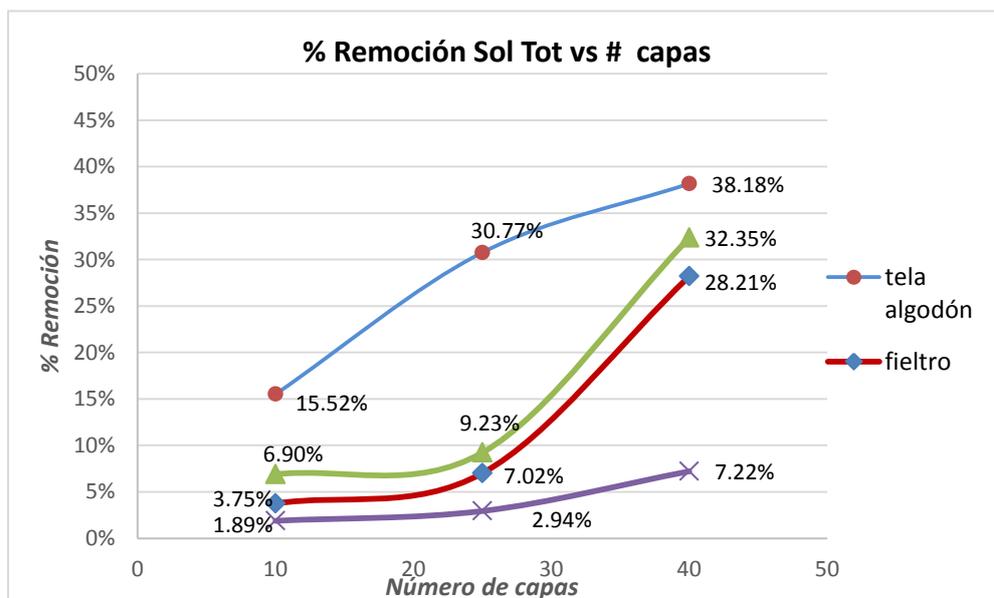


Gráfico 3 Comparación de curvas de remoción de sólidos totales

Así mismo, en la gráfica 1 se observan las eficiencias obtenidas con el algodón como medio filtrante, teniendo que su valor máximo bordea el 21 % cuando la altura es 2.5 cm. Los resultados de la seda en cambio están muy por debajo de los obtenidos con los otros materiales. Dado que la máxima eficiencia para la seda fue de 7.22 % no se consideró conveniente realizar el análisis de sólidos suspendidos al agua con el textil. La deficiente remoción de la seda puede atribuirse al mayor tamaño de sus poros, y a la facilidad con que pueden deformarse cuando la humedad reduce su resistencia. En el gráfico 4 se compara con un diagrama de barras, los valores máximos de remoción de sólidos totales conseguidos con el uso de los materiales alternativos.

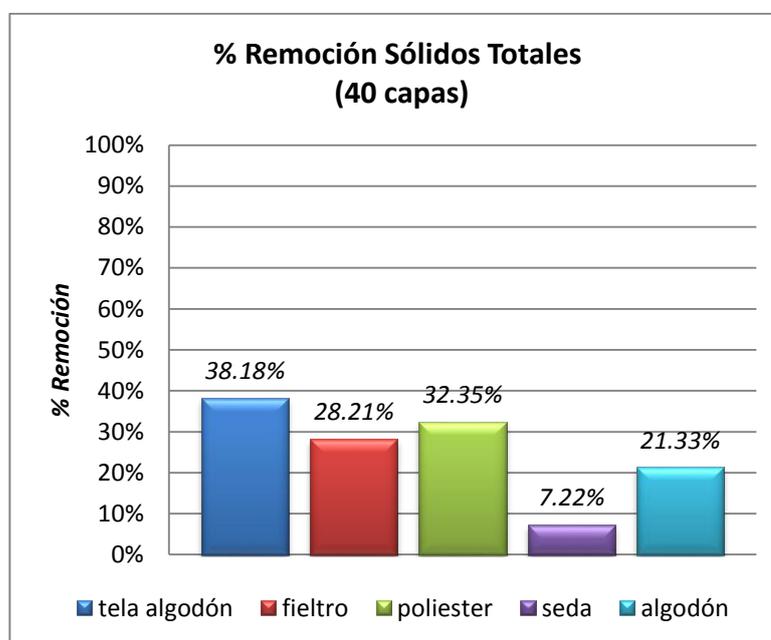


Gráfico 4 Comparación entre las remociones máximas de sólidos totales alcanzadas con los materiales filtrantes

4.4.2 Sólidos suspendidos

Se muestra en la gráfica 5 los porcentajes de remoción de sólidos suspendidos obtenidos únicamente cuando las telas algodón, fieltro y poliéster se disponen en 40 capas, y el algodón en 2.5 cm. La eficiencia máxima alcanzada fue 94.5% correspondiente al algodón, se obtuvieron valores muy cercanos de 92.25 y 92.20 %, con el poliéster y el fieltro respectivamente. La remoción de la tela algodón fue la menor, sin embargo su porcentaje no estuvo distante de los demás al ser igual a 88.85 %. Los resultados de este ensayo muestran claramente como con cada material empleado para el filtro y dispuesto de la forma especificada se remueve gran cantidad de partículas cuyo tamaño sea mayor a 1.2 μm (tamaño de poro del filtro Whatman).

Después de analizar el comportamiento de los materiales en la remoción de sólidos totales y suspendidos es notable la gran variación entre los resultados de uno y otro ensayo, los valores del primero son menores al 50 % mientras que los del segundo ensayo se aproximan al 90 %. Esto se explica tomando en cuenta que los sólidos totales engloban tanto a los suspendidos como a los disueltos.

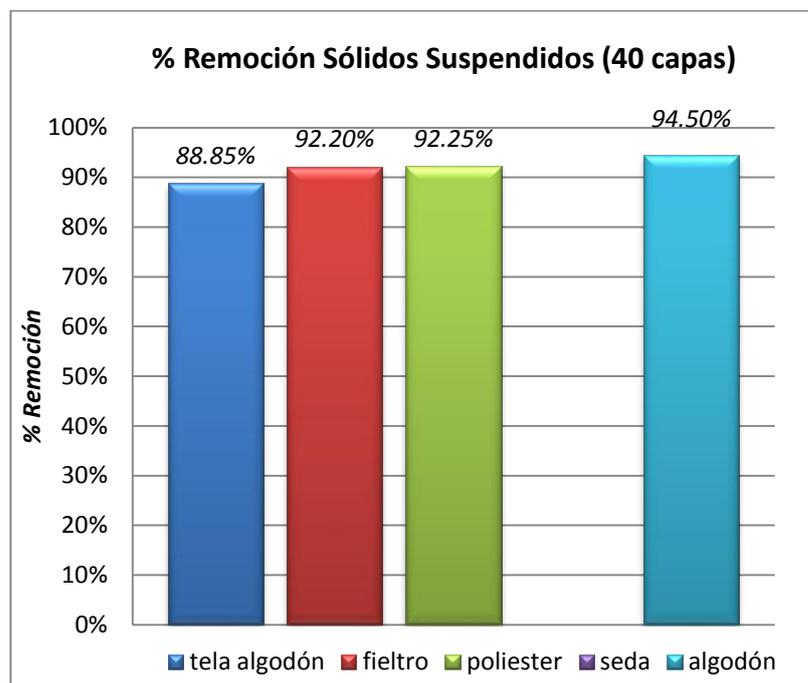


Gráfico 5 Comparación entre las remociones máximas alcanzadas de sólidos suspendidos con los materiales filtrantes

Por lo que la remoción de sólidos totales alcanzada en los filtros se debe principalmente a la eliminación de partículas suspendidas, quedando aún la fracción disuelta que no es posible remover del agua. Es necesario considerar que la remoción de sólidos totales es relativa, ya que de manera general si en la muestra inicial la fracción suspendida es elevada, la eficiencia obtenida con el filtro también lo será, si por el contrario es muy pequeña respecto a los disueltos la remoción de sólidos totales sería baja, ya que no se remueven disueltos.

Con lo expuesto se corrobora lo mencionado en la tabla V (Variables que afectan al diseño de los filtros), donde se indica que la filtración es un proceso que depende de la naturaleza del afluente, específicamente de la cantidad de sólidos suspendidos. Por esto se ha puesto mayor interés en la eliminación de partículas suspendidas y coloidales, así como en la remoción de la turbidez que es ocasionada por los mismos; dejando de lado a los disueltos.

4.4.3 Turbidez

La gráfica 6 refleja cómo se mejora la eficiencia de los filtros para reducir la turbidez conforme el número de capas aumenta. Las gráficas se construyeron con 3 puntos correspondientes a 10, 25 y 40 capas. Se observa que los valores máximos de remoción son superiores al 50%, excepto en el caso de la seda.

El diagrama de barras del gráfico 7 permite comparar las máximas eficiencias conseguidas con medio filtrante; en orden de mayor a menor se tiene: la tela algodón con un 60.98% de remoción, el algodón con un 58.04%, el poliéster con 56.75% y finalmente el fieltro con 52.11 %. Se conoce de 2.2.1 que la turbidez es ocasionada por partículas en suspensión y coloidales.

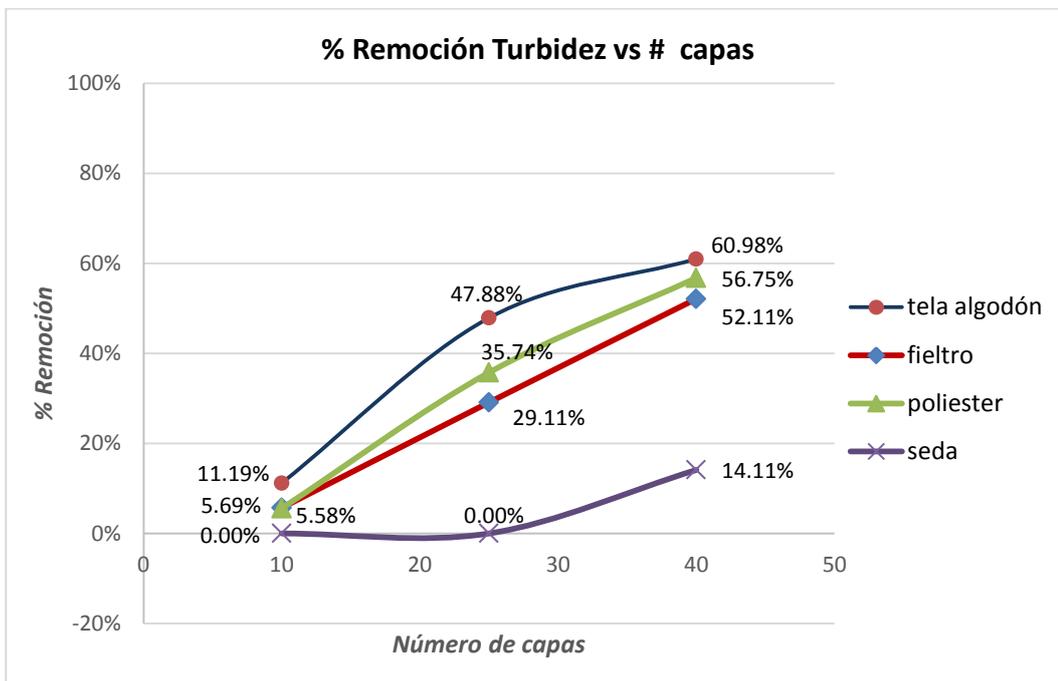


Gráfico 6 Comparación de curvas de remoción de turbidez

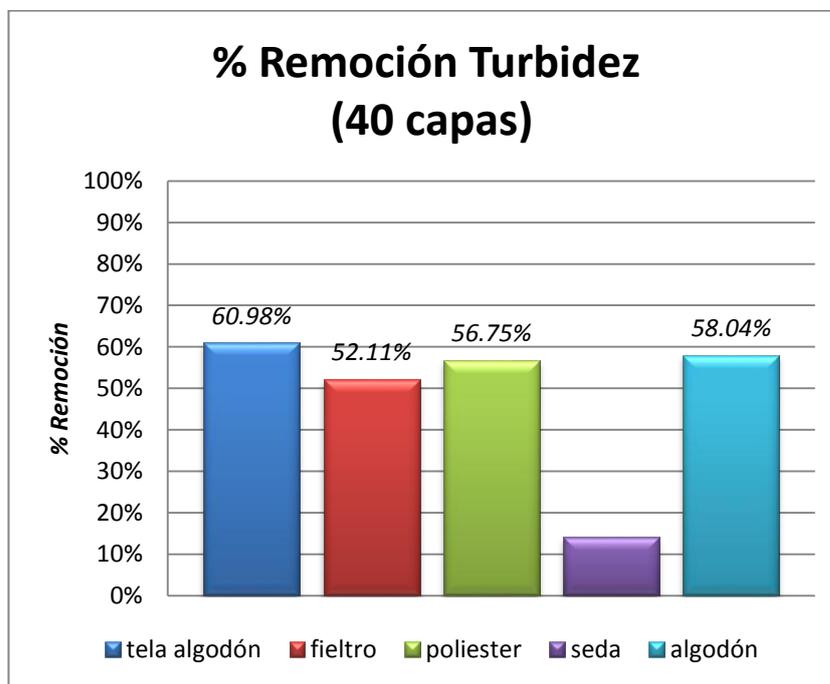


Gráfico 7 Comparación entre las remociones máximas alcanzadas de turbidez con los materiales filtrantes

Por lo tanto, los resultados implican la eliminación de partículas de este tipo en el agua. Si se observan simultáneamente los diagramas de barras de remoción de sólidos suspendidos y turbidez, se nota la diferencia entre los porcentajes alcanzados. Esta diferencia se debe a que existen partículas coloidales que no se eliminan con el filtro y siguen ocasionando turbidez.

Con los filtros no fue posible reducir la turbidez a valores inferiores a los establecidos en la norma NTE INEN 1108, en donde se indica un máximo de 5 NTU para considerarse agua potable, sin embargo es destacable que la remoción es superior al 50 %. Haciendo referencia a la sección 2.3 (tratamiento del agua) en una planta de tratamiento convencional para conseguir agua potable se emplean coagulantes que unen las partículas e incrementan el tamaño de los contaminantes, de modo que con la filtración a través de un medio granular se permita su eliminación. Cabe mencionar, que a diferencia de esto durante la parte experimental del proyecto no se agregó coagulantes al agua cruda previa al paso por los filtros, y aun así se obtuvo remociones de turbidez.

4.4.4 Caudal

El caudal a la salida del filtro resulta de la relación entre el volumen de 0.5 litros y el tiempo que se tarda en acumular dicho volumen. En la tabla XII se muestran los datos de caudales para todos los materiales dispuestos en 10, 25 o 40 capas; o 1.5, 2, 2.5 cm en el caso del algodón. Estos caudales son los obtenidos al emplear la bomba de 47 watts de potencia capaz de proporcionar 3m de presión.

Tabla XII Valores de caudal

Material	Tela Algodón			Filtro			poliester			Seda			Algodón		
Numero de capas	t(seg)	t(min)	Q (l/min)	t(seg)	t(min)	Q (l/min)	t(seg)	t(min)	Q (l/min)	t(seg)	t(min)	Q (l/min)	t(seg)	t(min)	Q (l/min)
10	15.6	0.26	1.92	17.6	0.2933	1.70	175	2.9167	0.17	26	0.43	1.15	84	1.4	0.36
25	49	0.82	0.61	40	0.6667	0.75	240.6	4.01	0.12	38	0.63	0.79	134.4	2.24	0.22
40	60	1.00	0.50	109	1.8167	0.28	541	9.0167	0.06	82	1.37	0.37	210	3.5	0.14

En las curvas de las gráficas 8 y 9 se observan como los caudales disminuyen conforme aumenta el número de capas o la altura en el caso del algodón, esta reducción es del orden del 70 % para cada uno de los materiales cuando se incrementan las capas de 10 a 40, o la altura de 1.5 a 2.5 cm. En la tela algodón resultó ser el material con el que se logra filtrar la mayor cantidad de agua; con un caudal de 0.50 l/min cuando se ha dispuesto en 40 capas. Después de este continúa la seda, sin embargo debido a sus bajas remociones no se

recomienda su utilización como medio filtrante. El fieltro es el siguiente con un caudal de 0.28 l/min. Por el contrario, los materiales que presentaron mayor oposición al flujo fueron el poliéster y el algodón, con valores de caudal de 0.06 l/min y 0.14 l/min al disponerse en 40 capas y 2.5 cm respectivamente.

En el caso hipotético de querer llenar un tanque similar a los empleados usualmente en las comunidades para el almacenamiento del agua, utilizando un filtro de algodón en 40 capas y una bomba que ejerza una presión de 3 m.c.a, el tiempo de llenado del tanque de 100 litros sería 3 horas y 20 minutos aproximadamente, tiempo considerable de espera, por lo que se podría pensar en cambiar la bomba por una de mayor presión, para incrementar el caudal. En el cálculo de este tiempo se supone que el caudal se mantiene constante.

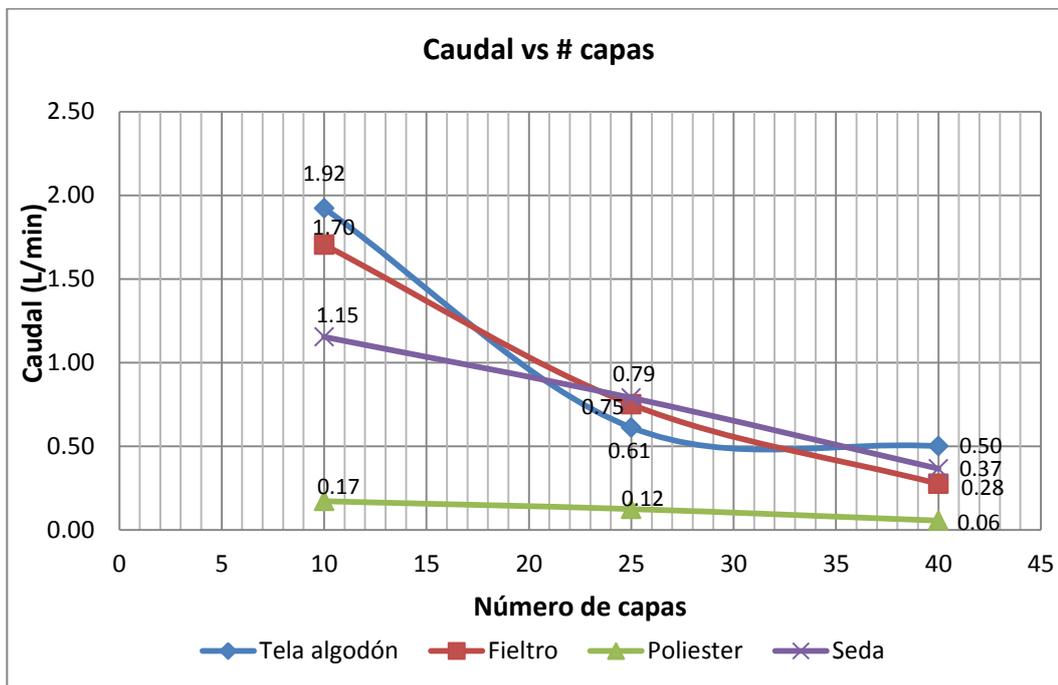


Gráfico 8 Curvas de caudal

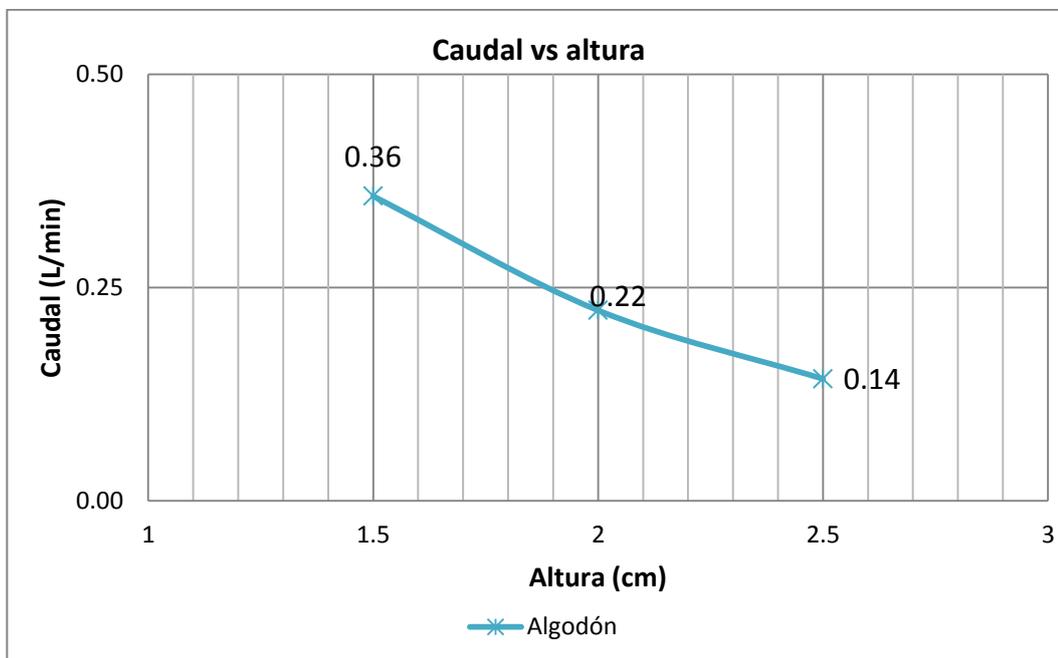


Gráfico 9 Curva de caudal para el algodón

4.4.5 Tamaño de partícula

La finalidad de realizar este ensayo fue determinar el tamaño mínimo de partícula que cada material alternativo es capaz de remover, al estar dispuesto en 40 capas si es un textil, o 2.5 cm si es el algodón. Las gráficas 10, 12, 14 y 16 son histogramas que muestran la distribución del tamaño de las partículas sólidas retenidas en las telas algodón, poliéster, fieltro y material algodón respectivamente. Para los 4 materiales los resultados son similares, observándose que las partículas entre 0.41 μm y 1 μm representan un pequeño porcentaje de sólidos. Siendo de 1.31 % para la tela algodón, para el poliéster de 1.39 %, el fieltro 2.57 % y el material algodón con 2.34 %. Estos porcentajes se muestran en las gráficas 11, 13, 15 y 17 en las que se representa el volumen acumulado de partículas.

Se puede observar en que la mayoría de las partículas retenidas son mayores a 1 micrómetro. Para la tela algodón es de 98.69 %, el poliéster 98.61 %, el fieltros 97.43 % y el material algodón 97.66 %. En base a esto, se corrobora que durante la filtración del agua, la mayor cantidad de partículas suspendidas (>1.2 μm) serán

removidas, tal como se mostró en el análisis de sólidos suspendidos los porcentajes de remoción oscilan alrededor del 90 %.

Según lo señalado en la figura 2.5 se conoce que el tamaño de las partículas coloidales está entre 0.01 y 1 μm , es decir el filtro puede remover cierta fracción de coloides cuyo tamaño sea mayor a 0.41 μm . Precisamente por ser solo una parte de los coloides los que se remueven, queda aún un porcentaje que generan turbidez al efluente.

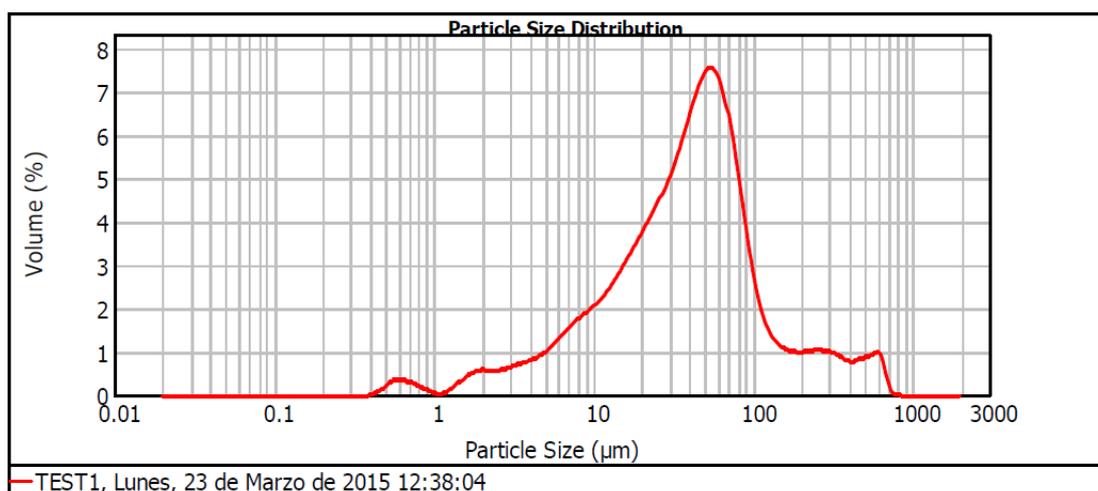


Gráfico 10 Curva de tamaño de partículas retenidas en la tela algodón

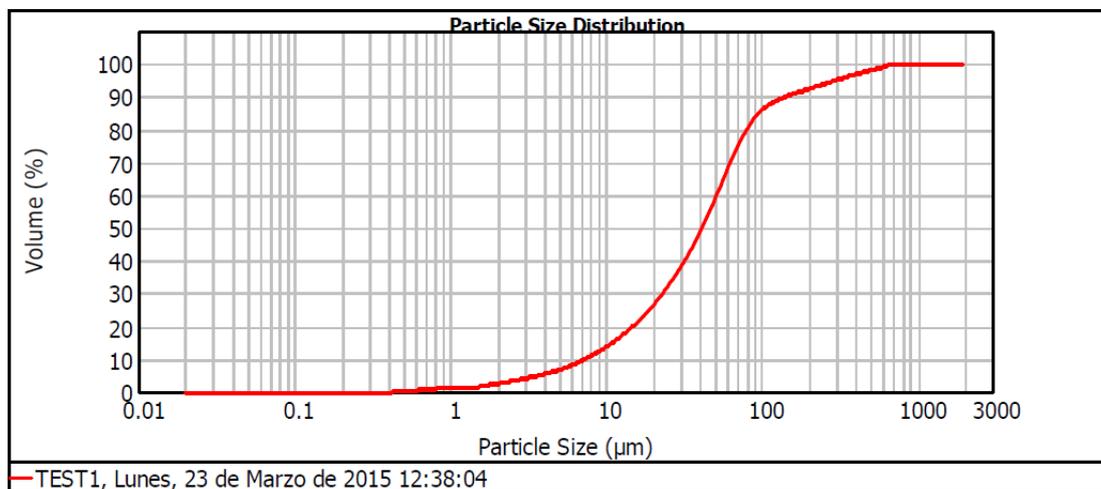


Gráfico 11 Curva de distribución de tamaño de partículas acumulada Tela algodón

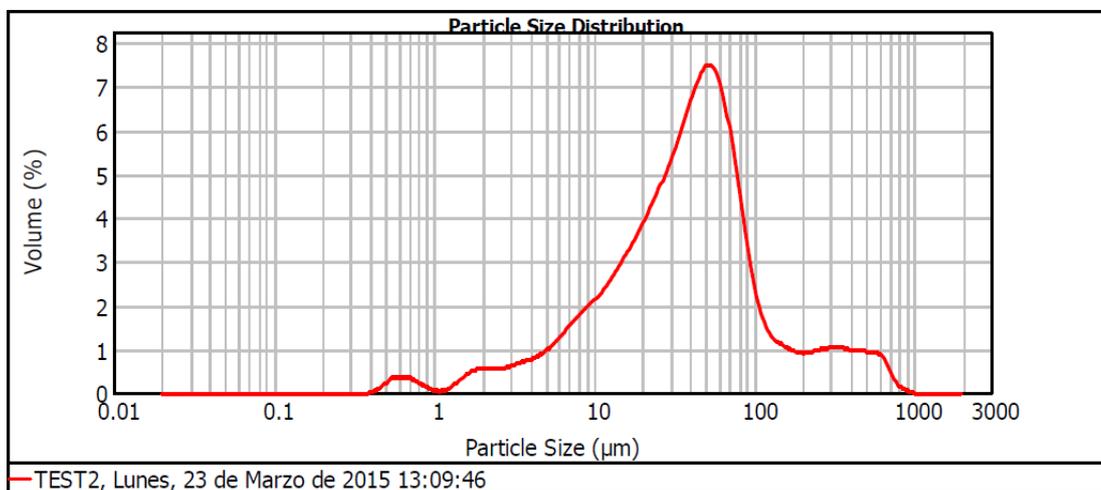


Gráfico 12 Curva de tamaño de partículas retenidas en el poliéster

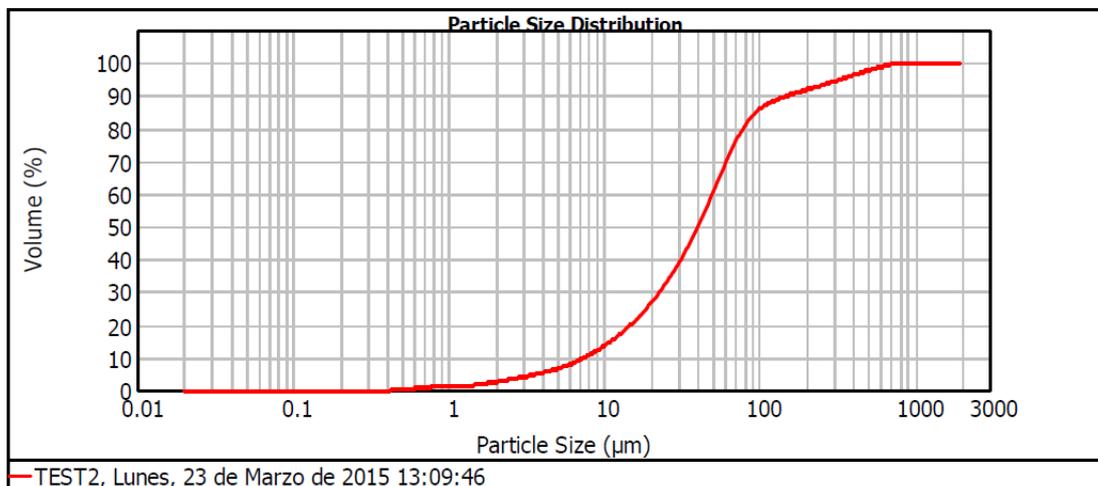


Gráfico 13 Curva de distribución de tamaño de partículas acumulada Poliéster

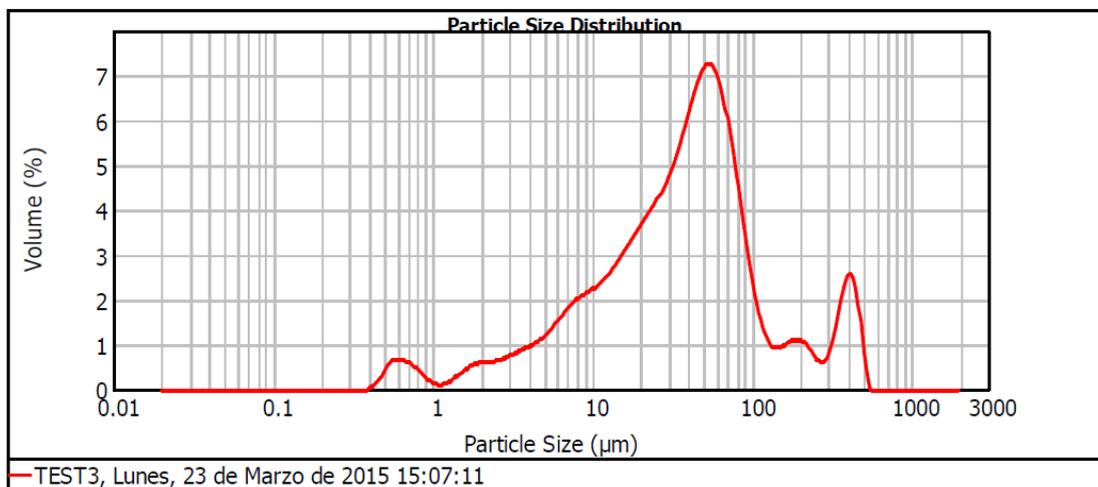


Gráfico 14 Curva de tamaño de partículas retenidas en el fieltro

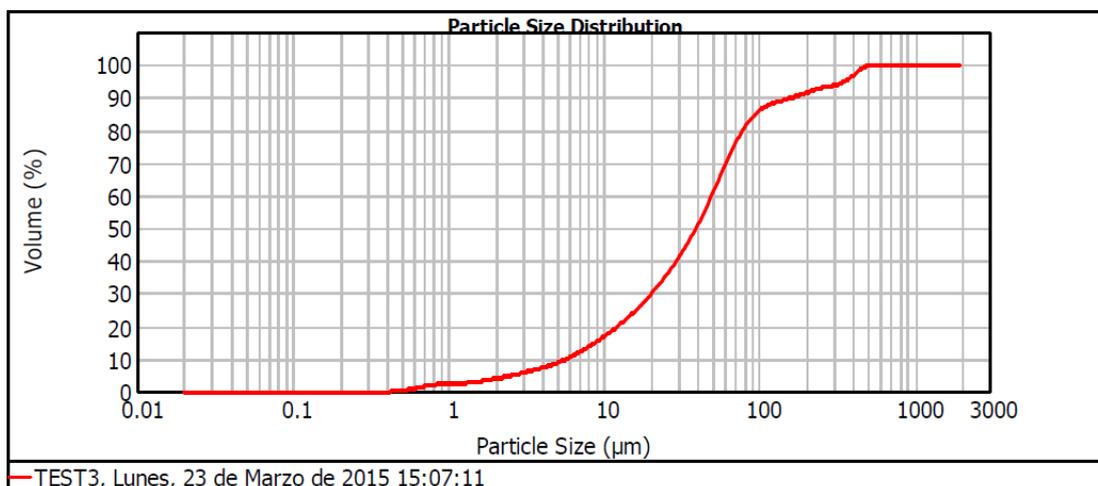


Gráfico 15 Curva de distribución de tamaño de partículas acumulada Filtro

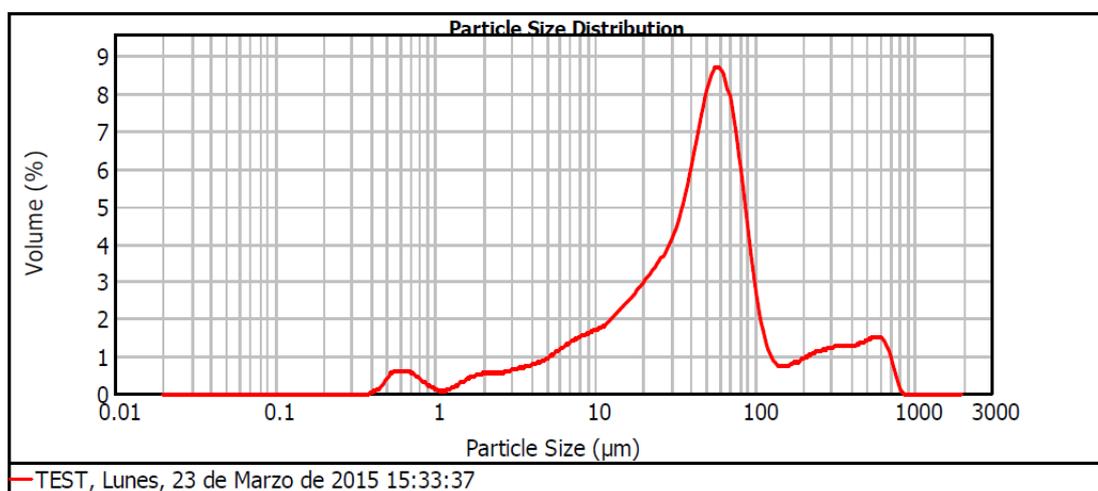


Gráfico 16 Curva de tamaño de partículas retenidas en el material algodón

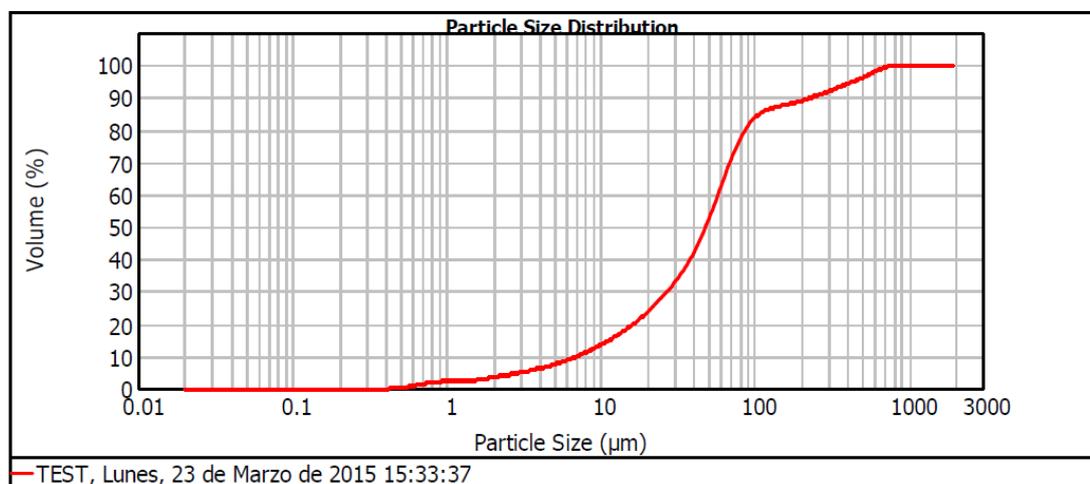


Gráfico 17 Curva de distribución de tamaño de partículas acumulada Material algodón

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Con la realización de este trabajo de investigación se determinó la remoción de sólidos totales en el agua cruda, empleándose tela algodón, seda, poliéster, fieltro y material algodón. Para tal efecto el mejor material fue la tela algodón con una eficiencia del 38.18 %.
2. Con cada uno de los materiales en estudio se logró construir una unidad de filtración, en las que se varió el número de capas en 10, 25 y 40 si se trataba de un textil ó la profundidad en 1.5, 2 y 2.5 centímetros si era algodón.

3. La eficiencia de los medios filtrantes se determinó experimentalmente empleando el agua del Río Zapan, que sirve de abastecimiento al Recinto La Alianza. Los resultados indican que los textiles y el algodón son capaces de remover alrededor del 90 % de sólidos en suspensión, y aproximadamente el 50 % de la turbidez, a excepción de la seda cuyas remociones están muy por debajo del promedio obtenido con los demás materiales, por esta razón no debería utilizarse para filtrar el agua.
4. Se estableció las ventajas y desventajas de utilizar cada material alternativo, en lo que respecta a capacidad de remoción y en la cantidad de agua que se puede filtrar con dicho material. Resultando que desde el punto de vista de remoción de sólidos totales y turbidez el mejor material fue la tela algodón, se concluye lo mismo considerando el caudal. En cambio los resultados de sólidos suspendidos reflejaron que el material algodón era el más eficiente para remover la fracción suspendida.
5. El tamaño de poros es un indicador de la capacidad de remoción de cada material, debido a que mientras más pequeños sean los espacios vacíos un mayor número de partículas podrán retenerse. Por medio de observaciones en el microscopio se comprueba cómo

se reducen estos espacios conforme el número de capas aumenta. En el caso de la tela algodón sus poros generalmente van del orden de 65 micrómetros, pero al colocarlo en 5 capas se reducen hasta los 26 micrómetros. A pesar de que no fue posible observar con más capas, considerando que la tendencia continua, de entre los textiles por tener el menor tamaño de poro el mejor es la tela algodón.

6. Por medio del ensayo de tamaño de partículas, se logró determinar que de manera general un filtro construido con material filtrante como la tela algodón, poliéster, fieltro o el material algodón, dispuestos en 40 capas los tres primeros y 2.5 cm el cuarto, logran retener las partículas que tengan un tamaño mayor a 0.41 μm . Es decir que en cualquier muestra de agua, que pase por el filtro se removerán las partículas de tamaño mayor a 0.41 μm .

5.2 Recomendaciones

1. Para mejorar la calidad del agua filtrada con los materiales de estudio, se recomienda aplicar un tratamiento de desinfección como hervir el agua, o añadirle cloro.

2. Si la concentración de sólidos en el agua es alta, es preferible previo a la filtración, esperar un tiempo prudente para permitir que las partículas de mayor tamaño se sedimenten. Para no esperar este tiempo se puede optar por pasar el agua cruda a través de una tela que retenga las partículas de mayor tamaño, o colocar un medio poroso como primera capa en el filtro que las remueva. Se puede considerar el uso de tela seda o de lino.
3. Referente a la limpieza del filtro es recomendable hacerla lo más seguido posible, ya que el caudal decrece conforme el filtro se colmata. Además, para evitar la formación de alguna capa de microorganismos (biofilm). Se puede emplear el mismo material filtrante después de haberlo lavado.
4. En lo que respecta a la configuración del filtro, se pueden realizar múltiples variaciones siempre y cuando se garantice el paso del agua a través del material filtrante. Como alternativas es posible considerar: reemplazar el medio de soporte empleado (anillo de manguera de 1 pulgada de diámetro) por un material granular, variar la potencia de la bomba, y modelo (diámetros, material) de mangueras.

- 5.** Para investigaciones posteriores se recomienda incluir el estudio de la remoción de bacterias como un parámetro para medir la eficiencia de los materiales alternativos. Este análisis se lo podría realizar con un aumento de la profundidad del medio filtrante, para ello será necesario utilizar una bomba que proporcione mayor presión al agua durante la filtración. También resultaría interesante evaluar la utilización de otros materiales alternativos para la filtración del agua cruda.

- 6.** Dado que con los resultados de la investigación se comprueba la remoción de partículas suspendidas; se recomienda el empleo de coagulantes que originen la formación de flóculos entre partículas contaminantes facilitando su remoción.

ANEXOS

ANEXO A

MICROSCOPIA

Determinación de coeficiente micrométrico para medición del tamaño de poros en las telas a través del microscopio.

Para determinar el tamaño de poro de las telas se deben multiplicar las medidas tomadas del micrómetro ocular por el coeficiente micrométrico correspondiente al aumento en que realiza la observación. Tal coeficiente se lo obtiene por medio del siguiente procedimiento:

1. Colocar el micrómetro objetivo en la platina del microscopio.
2. Ubicar el micrómetro ocular en un orificio del microscopio.
3. Enfocar con el objetivo y hacer coincidir la escala del micrómetro ocular con la regla del micrómetro objetivo, en la figura A1 se observa lo mencionado.
4. Contar las divisiones del micrómetro ocular que equivalen a las del objetivo.

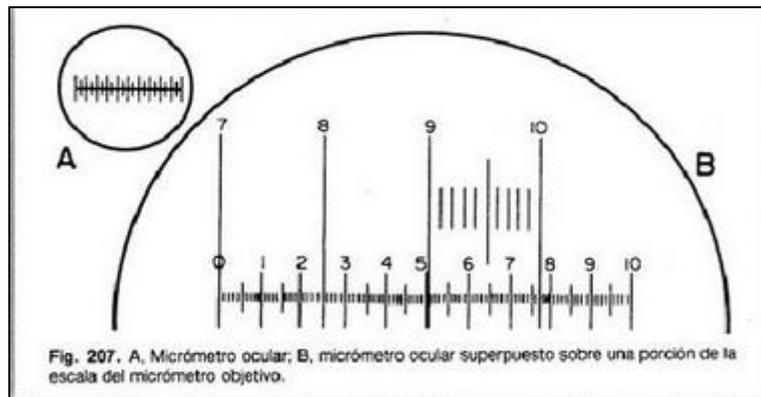


Figura A 1 Forma en que el micrómetro objetivo debe sobreponerse al ocular

Fuente: Universidad Veracruzana, sf

5. El coeficiente micrométrico será la equivalencia de cada división en la escala del micrómetro ocular en términos de las divisiones de la regla en el micrómetro objetivo. Por ejemplo cuando el aumento es de 10x se observa que 10 divisiones en la escala del ocular equivalen a diez divisiones en la regla del micrómetro objetivo (100 μm), por lo tanto el valor del coeficiente micrométrico es 10 μm . En la figura A2 se muestra que la distancia entre 50- 60 unidades en el micrómetro ocular representan entonces 100 μm del micrómetro objetivo.

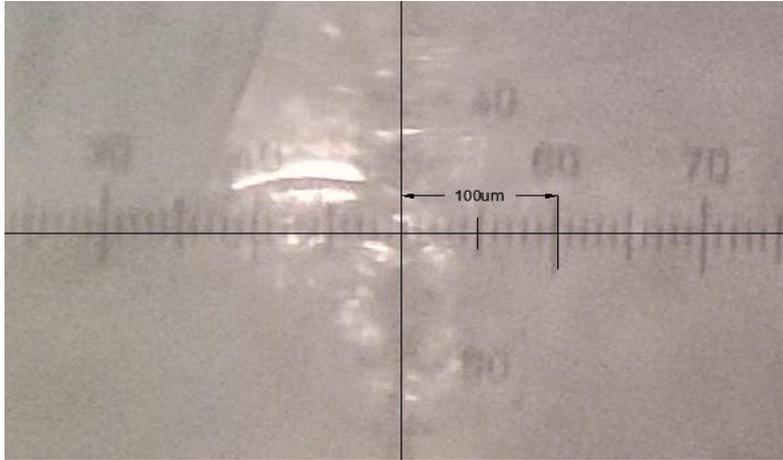


Figura A 4 Determinación micrométrico aumento 10 x

Fuente: Autor

Figura C 1 Río ZapanFigura A 5 Determinación micrométrico aumento 10 x

Fuente: Autor

ANEXO B

RESULTADOS DE LABORATORIO

Ensayo de sólidos totales y turbidez

Los resultados de los ensayos de sólidos totales y turbidez, fueron entregados por el responsable del Laboratorio de Análisis Técnicos Aguas de la ESPOCH.

Ensayo de sólidos suspendidos

Estos ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ciencias Químicas de ESPOCH. Se adjuntan los resultados entregados por estos laboratorios.

Ensayo de tamaño de partícula

Los resultados de los ensayos se muestran de acuerdo al número de muestra con el que se ingresaron al laboratorio del LEMAT. El ensayo se realizó con el equipo master sizer 2000. A continuación las fotos del equipo empleado, y el tipo de muestra al que corresponde cada número

- 151631 Algodón 40 capas
- 151635 Poliéster 40 capas
- 151636 Fieltro 40 capas
- 151637 Algodón 2.5 cm



Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Carlos Demera

Fecha de Análisis: 11 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 13 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua superficial Río Zapán

Localidad: Samborondón Guayas

No.	Muestras	Turbiedad NTU	Sólidos Totales mg/L
1	Poliester 10 capas inicial	55.6	232
2	Poliester 10 capas final	52.5	216
3	Algodón 10 capas inicial	58.1	232
4	Algodón 10 capas final	51.6	196
5	Filtro 10 capas inicial	61.5	320
6	Filtro 10 capas final	58.0	308
7	Seda 10 capas inicial	58.0	212
8	Seda 10 capas final	61.9	208

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Carlos Demera

Fecha de Análisis: 16 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 118 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua superficial Río Zapán

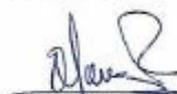
Localidad: San Borondón Guayas

No.	Muestras	Turbiedad NTU	Sólidos Totales mg/L
1	Poliester 25 capas inicial	71.9	260
2	Poliester 25 capas final	46.2	236
3	Tela Algodón 25 capas inicial	75.6	260
4	Tela Algodón 25 capas final	39.4	180
5	Filtro 25 capas inicial	68.7	288
6	Filtro 25 capas final	48.7	212
7	Seda 25 capas inicial	56.9	272
8	Seda 25 capas final	62.8	264

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO



SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Carlos Demera

Fecha de Análisis: 11 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 13 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua superficial Río Zapán

Localidad: Samborondón Guayas

No.	Muestras	Turbiedad NTU	Sólidos Totales mg/L
1	Poliéster 40 capas inicial	77.0	272
2	Poliéster 40 capas final	33.3	184
3	Tela Algodón 40 capas inicial	75.6	220
4	Tela Algodón 40 capas final	29.5	136
5	Filtro 40 capas inicial	66.2	312
6	Filtro 40 capas final	31.7	224
7	Seda 40 capas inicial	74.4	388
8	Seda 40 capas final	63.9	360

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Sr. Carlos Demera

Fecha de Análisis: 16 de marzo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 18 de marzo del 2015

Tipo de muestras: Agua superficial Río Zapán

Localidad: Samborondón Guayas

No.	Muestras	Turbiedad NTU	Sólidos Totales mg/L
1	Algodón 1.5 cm inicial	67.1	240
2	Algodón 1.5 cm final	38.3	212
3	Algodón 2.0 cm inicial	68.6	260
4	Algodón 2.0 cm final	38.7	220
5	Algodón 2.5 cm inicial	78.4	300
6	Algodón 2.5 cm final	32.9	236

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LABORATORIO



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG_5-01)

Solicitante: **Carlos Demera Ch.**
Certificado de Análisis N°: 023D-2015
Fecha de recepción de muestra(s): 04-03-2015
Fecha de entrega de resultados: 09-03-2015

Muestras	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1.- "Algodón, 2.5 cm, inicial"	21.8
2.- "Algodón, 2.5 cm, final"	1.2

Observaciones: Muestras de agua ingresadas como "Agua natural".
Método de Análisis = Gravimétrico SM*-2320 B
* = Standard Methods for water and wastewater APHA, AWWA, 22th Ed.

Ing. Oswaldo Valle Sánchez
Decano de la Facultad de
Ciencias Naturales y Matemáticas

ICC/

Nota: Este informe es válido sólo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total.
Los resultados obtenidos corresponden sólo a la muestra analizada.
Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.
Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Guayaquil - Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090903
Teléfono: 2269550 - 2269563 Página web: www.icqa.espol.edu.ec e-mail: acisnero@espol.edu.ec



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



Solicitante: **Carlos Demera Ch.**
Certificado de Análisis N°: 023C-2015
Fecha de recepción de muestra(s): 04-03-2015
Fecha de entrega de resultados: 09-03-2015

Muestras	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1.- "Poliéster, 40 capas, inicial"	38.7
2.- "Poliéster, 40 capas, final"	3.0

Observaciones: Muestras de agua ingresadas como "Agua natural".
Método de Análisis = Gravimétrico SM*-2320 B
* = Standard Methods for water and wastewater APHA, AWWA, 22th Ed.

Ing. Oswaldo Valle Sánchez
Decano de la Facultad de
Ciencias Naturales y Matemáticas

LCC/

Nota: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total.
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.
Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.
Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090903
Teléfonos: 2269559 – 2269563 Página web: www.ica.espol.edu.ec e-mail: acisnero@espol.edu.ec



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG. 5-33)

Solicitante: **Carlos Demera Ch.**
Certificado de Análisis N°: 023B-2015
Fecha de recepción de muestra(s): 04-03-2015
Fecha de entrega de resultados: 09-03-2015

Muestras	Sólidos Suspendedos (mg/l)
1.- "Filtro, 40 capas, inicial"	35.9
2.- "Filtro, 40 capas, final"	2.8

Observaciones: Muestras de agua ingresadas como "Agua natural".

Método de Análisis = Gravimétrico SM*-2320 B

* = Standard Methods for water and wastewater APHA, AWWA, 22th Ed.

Ing. Oswaldo Valle Sánchez
Decano de la Facultad de
Ciencias Naturales y Matemáticas

LCC/

Notas: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total.
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.
Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.
Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090503
Teléfonos: 2269559 – 2269563 Página web: www.icqa.espol.edu.ec e-mail: acisnero@espol.edu.ec



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG_5-10)

Solicitante: **Carlos Demera Ch.**
Certificado de Análisis N°: 023A-2015
Fecha de recepción de muestra(s): 04-03-2015
Fecha de entrega de resultados: 09-03-2015

Muestras	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1.- "Algodón, 40 capas, inicial"	29.6
2.- "Algodón, 40 capas, final"	3.3

Observaciones: Muestras de agua ingresadas como "Agua natural".
Método de Análisis = Gravimétrico SM*-2320 B
* = Standard Methods for water and wastewater APHA, AWWA, 22th Ed.

Ing. Oswaldo Valle Sánchez
Decano de la Facultad de
Ciencias Naturales y Matemáticas

LCC/

Notas: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de este relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total.
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.
Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.
Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Código Postal 090903
Teléfonos: 2269559 – 2269563 Página web: www.iceqa.espol.edu.ec e-mail: actisnero@espol.edu.ec

ANEXO C

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Muestreo

Se realizó una visita al Recinto La Alianza, lugar de donde se extraería la muestra. Previo a dirigirse al río para obtener la muestra fue necesario hablar con los habitantes para corroborar que si ellos verdaderamente utilizan diariamente como fuente de abastecimiento el agua del río Zapan. En el río se pudo observar la calidad del agua del sitio, percatándonos en los factores que lo contaminan.



Figura C 2 Recinto La Alianza

Figura C 3 Río Zapan

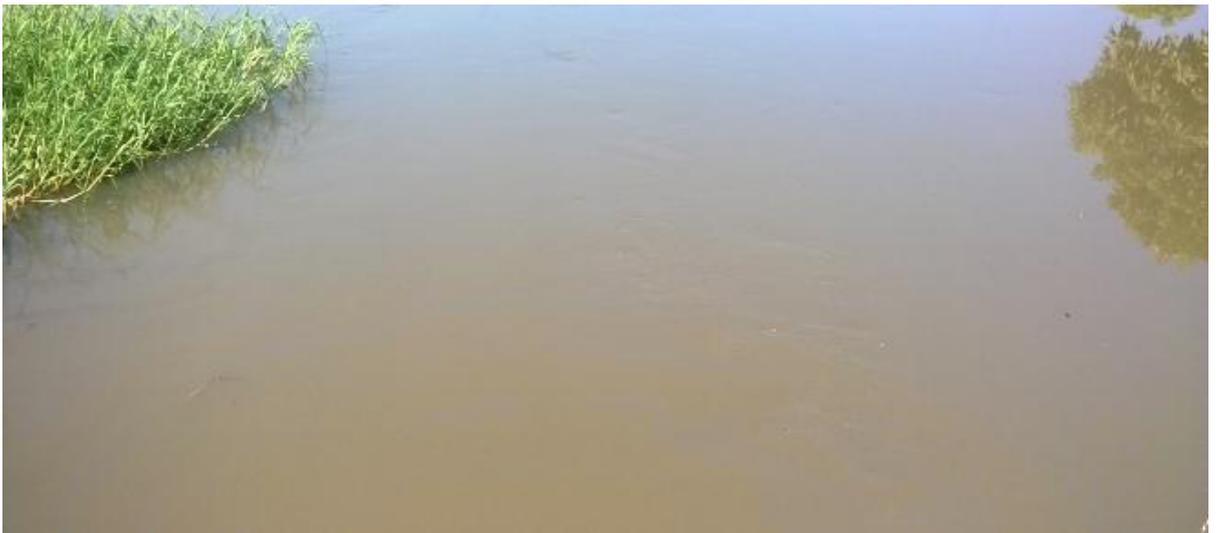


Figura C 4 Vista del agua del Río Zapan

Construcción del filtro



Figura C 5 Filtro armado



Figura C 6 Armado del filtro

Funcionamiento del filtro



Figura C 7 Sistema de filtración funcionando

Materiales filtrantes



Tela algodón



Poliéster

Figura C 8 Medio filtrante después de la filtración

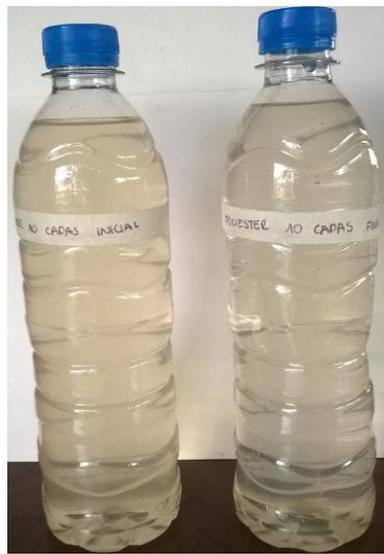
Cambios en la calidad del agua observados.



Figura C 10 Cambio obtenido con Filtro dispuesto en 40 capas



Tela algodón



Poliéster



Material algodón



Filtro



Seda

Figura C 12 Cambio obtenido con Textiles dispuestos en 10 capas algodón en 2.5 cm

Tamaño de partícula



Figura C 13 Tamizado para obtener muestra pasante 200



Figura C 14 Muestras empleadas para ensayo tamaño de partícula



Figura C 17 Equipo empleado en ensayo tamaño de partícula

BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio de Salud Pública, Enfermedades transmitidas por agua y alimentos, noviembre 13 del 2014.
<https://public.tableausoftware.com/profile/manco.suxio#!/vizhome/ETAS/Hoja1>
2. Colwell, R. Anwar, Huq. Islam, M. Aziz, K. Yunus, M. Khan, N. Mahmud, A. Bradley, R. Nair, G. Chakraborty, J. Sack, D Cohen, R. Reduction of cholera in Bangladeshi villages by simple filtration, Universidad de Maryland, Estados Unidos , 2002.
3. Shipard, S. Water Filtration- Advantadges of fabric media, 69th Conferencia annual de Ingenieros Industriales de agua y Operadores, Victoria, 2006.
4. OMS, OPS, Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo, 2009, 1-4 p.
5. Tammisetti, R. Research on the Effectiveness of Using Cloth as a Filter to Remove Turbidity from Water, 2010.

6. Holdridge, Ecología Basada en zonas de vida, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica, 1987.
7. Unión Europea, El agua es la vida, Bélgica, 2011, 4p.
8. Chow V, Maidment D, Mays L, Hidrología aplicada, McGraw Hill, Colombia, 1994
9. USGS, EPA, Distribución del agua de la Tierra, 2014, Consultado Octubre 20 del 2014.
<http://water.usgs.gov/gotita/waterdistribution.html>
10. Fattorelli Sergio, Fernández Pedro, Diseño Hidrológico, Zeta Editores, Mendoza, 2007, 28p
11. Chow V, Maidment D, Mays L, Hidrología aplicada, McGraw Hill, Colombia, 1994
12. Campos D, Procesos del ciclo hidrológico, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, 1998, p5.
13. Departamento de Sanidad de Nueva York, Manual del tratamiento de aguas, Limusa, 2006,
14. Henry G, Heinke G, Ingeniería ambiental, Pearson, México, 1999, 395p
15. Consejo Consultivo del Agua, Usos del Agua, México, Consultado Octubre 23 del 2014, <http://www.aguas.org.mx/sitio/02a2.html>.

16. Universidad Austral de Chile, Catastro y localización de usos públicos no extractivos o usos in situ del agua, Chile, 2000, 3-7 p.
17. Ramos R, Sepúlveda R, Villalovos F, El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis, México D.F, 2003, 36-40, 41- 44p
18. OMS, Agua- saneamiento y salud (ASS), Consultado Octubre 23 del 2014
http://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/es/
19. Pérez E, Legislación y administración del agua en España, Editora Regional de Murcia, España, 1981, 60-62p
20. OMS ,Procesos para el agua potable y saneamiento,2012 , Consultado Octubre 24 del 2014
http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2012/fast_facts/es/
21. SENAGUA, Cuenca N, Gestión de Recursos Hídricos en el Ecuador, Consultado Octubre 27 del 2014.
<http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/periodismo2013/utpl-Gestion-Recursos-Hidricos-Ecuador.pdf>
22. INEC, Día Internacional del Agua, Consultado Noviembre 1 del 2014.
http://www.inec.gob.ec/estadisticas/index.php?option=com_repository&Itemid=&func=startdown&id=1735&lang=es&TB_iframe=true&height=250&width=800

23. Zhen B., Calidad físico química y bacteriológica del agua para consumo humano de la micro cuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007- 2008, Universidad Estatal a distancia, San José, 2009, 9-15p, 176-180p
24. OMS, Guías para la calidad del agua potable, volumen1, Edición OMS, 2006, 127 p.
25. Nordell E., Tratamiento de agua para la industria y otros usos, primera edición, México Compañía Editorial Continental, México, 1963
26. Rocha Castro E., Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de agua, Universidad Autónoma de Chihuahua, 2010, capítulo I, p1-4
27. Arboleda J., Teoría y práctica de la purificación del agua, Tomo 1, Tercera edición, Mc Graw Hill, Santa Fe, 2000
28. OMS, Tratamiento del agua para consumo humano, Manual I, CEPIS, Teoría Tomo 1, Edición OMS, Lima, 2004, 3 -7 p
29. Spellman F., Drinan J, Manual de agua potable, Editorial Acribia, España, 2000
30. Metcalf y Eddy, Tratamiento de aguas residuales, Mc. Graw Hill, Madrid, 1995.
31. Castillo J., Características biológicas del agua, Universidad de los Andes, Colombia

32. Puente J., Venenos en el hogar, Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2006, p 222.
33. Marín R, Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos, Tratamiento y control de calidad de aguas, Editorial Días de Santos, Madrid, 2003, p14, 28, 61-63.
34. Ramos R., Sepúlveda R., Villalobos F., El agua en el medio ambiente Muestreo y análisis, Universidad autónoma de baja California, México D. F., 2003, 40-44 p
35. EPA, Agricultura, Consultado diciembre, 16 del 2014
<http://water.epa.gov/polwaste/nps/agriculture.cfm> antes 14
36. Environment Water Resources, Sedimentos, Consultado diciembre, 18 del 2014. http://marc.org/Environment/Water-Resources/pdfs/brochures/sediment_espanol.aspx
37. Mathews C., La ganadería amenaza el medio ambiente, FAO, 2006, Consultado diciembre 18 del 2014
<http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
38. Leal, M. Posibilidades para la Provisión de Agua Segura Usando nuevas tecnologías, Argentina, 2005, 63 - 65p
39. Glynn, H. Gary, H. Escalona y García, H. Ingeniería Ambiental, México Prentice Hall, México, 1999, 398 - 401 p.

40. Martínez, M. Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final de lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012, 13-16p.
41. Bermejo, J. Pérez, F. Urrea, M. Abastecimiento de aguas, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2011.
42. Martín, L. Salcedo, R. Font, R Operaciones separación sólido-fluido, Universidad de Alicante, Estados Unidos, 2011, 14- 15p.
43. Álvarez J. Optimización de sistemas de agua potable comunitarios; propuesta técnica, Universidad del Turabo, Puerto Rico, 2008, 58-61 p.
44. Tchobanoglous, G. Schroeder, E. Water Quality, Addison-Wesley, Estados Unidos, 1985
45. Romero, B. Determinación in vitro del factor de protección ultravioleta en telas producidas en el Ecuador, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2012, 16p.
46. Gil, A. Fibras Textiles, Universidad Tecnológica de Perú, Perú, sf, 35-39, 87-92, 124. 128 p.
47. Lockuán, F. La industria textil y su control de calidad, 2013, 33-35, 87- 89 p.
48. Estur, G. Knappe, M. Guía del exportador de algodón, Centro de Comercio Internacional, Consultado Enero 15 del 2015

49. Parker, A. Contaminación del aire por la industria, Editorial Reverté, España, 2001, Pg268
50. Corporación Emacin, Filtros, Lima, consultado Marzo 3 del 2015, <http://www.emacin.com/filtros.html>.
51. Abburrá, R. Evaluación y Control de los Impactos Generados por sustancias y residuos no convencionales, Editorial Encuentro, Argentina, 2007, 58 p.
52. EPA, Guía del ciudadano sobre el tratamiento con carbón activado, Consultado Febrero, 20 del 2015 http://www.cluin.org/download/citizens/EPA-542-F-12-001S_guia_del_ciudadano_sobre_el_tratamiento_con_carbon_activado.pdf
53. Fernández, A. Letón, P. Rosal, R. Dorado, M. Villar, S. Sanz, J. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, CEIM y Dirección General de Universidades e Investigación, Madrid, 2006, 63 p.
54. Choi, D. W. Improve plant water treatment, Hydrocarbon Processing, International Edition, 2002
55. Orozco, B. C. Pérez S. A., González D. M. N., et al. Contaminación Ambiental. Una visión de la química, España, 2003, 69-70 p.