



# **INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA**

---

---

## **“CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN PORTÁTIL”**

### **TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO AMBIENTAL**

P R E S E N T A

**SARA JIMENA SALAZAR  
CASTELLANOS**

**ASESOR:**

**DR. GUSTAVO MARTÍNEZ CASTELLANOS**

**CO-ASESOR:**

**DR. LUIS MEJÍA MACARIO**

MISANTLA, VERACRUZ

MARZO, 2015



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

FECHA: 13 de Marzo de 2015.

ASUNTO: **AUTORIZACION DE IMPRESIÓN**  
**DE TESIS PROFESIONAL.**

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Por medio de la presente hago constar que el (la) C:

**SARA JIMENA SALAZAR CASTELLANOS**

---

pasante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL con No. de Control 102T0101 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el **Manual de Procedimientos para la Obtención del Título Profesional de Licenciatura** bajo la opción **Titulación Integral (Tesis Profesional)**

Por tal motivo se **Autoriza** la impresión del **Tema** titulado:

**“CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN PORTÁTIL”**

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del Acto de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE

ING. GERBACIO TLAXALO ESPINOZA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



Archivo.

## *I. AGRADECIMIENTOS*

*Es indispensable expresar mi profundo agradecimiento a Dios por traerme a este mágico y esplendoroso lugar. De regalarme una hermosa familia, permitírnos conocer la felicidad y de llevarnos juntos de la mano siempre.*

*A mis padres, por creer ciegamente en mí, por darnos a mí y a mis hermanos más de lo hemos merecido, por darnos la herencia más valiosa, la educación y su ejemplo. Por enseñarnos el valor de la familia, la importancia de la honestidad, y la humildad. Los amo infinitamente.*

*Mi más sincero agradecimiento al guía fundamental de este proyecto, el Dr. Gustavo Martínez Castellanos y a los asesores que me guiaron en este tan difícil trabajo, por su esfuerzo, la dedicación, el tiempo y el apoyo que me ha brindado, pero sobre todo por la paciencia para conmigo.*

*Sara Jimena Salazar Castellanos*

## II. DEDICATORIAS

### *A DIOS*

*Por acompañarme siempre. Por permitirme contemplar a mi madre, sentir cantar a mi padre y reír con mis hermanos...*

### *A MI MADRE*

*Su fe me conmueve, me completa. Por vivir para mí incondicional y noblemente, regalarme el mejor ejemplo de mujer y de madre, así como la confianza que no he merecido, por brindarme la felicidad de tenerla, de mirarla. Mi amor y gratitud hacia ti mamá siempre serán infinitos.*

### *A MI PADRE*

*Por tanto. Su fortaleza y lealtad están conmigo, sus sensatas palabras, sus sabios consejos. Él me lo ha dado todo, hasta el regalo de ser la niña de sus ojos.*

### *A MIS HERMANOS*

*Por ayudarme a crecer con sus errores, a ser más humana, a permanecer de pie, y junto a ellos SIEMPRE. Espero ser siempre un buen ejemplo para ti Chuchín, gracias por llegar. A Haslem, por su fiel camino junto a nosotros y por quedarse tanto.*

*Sara Jimena Salazar Castellanos*

### III. RESUMEN

Los métodos de filtración rápida en prototipos y sistemas portátiles son una de las nuevas formas de purificar agua para regiones cuya carencia de este vital líquido es imprescindible. Los sistemas más exitosos tienen un costo de alrededor de \$ 200 y \$ 300 pesos. La región de Misantla, Veracruz es una zona de riesgo de inundaciones temporales que generalmente tiene como consecuencia la pérdida de la red de agua potable y comunicaciones. Los materiales más utilizados en la construcción de filtros portátiles incluyen: Zeolitas, carbón activado, arenas, sílices, membranas y telas filtrantes. En el desarrollo de este trabajo se construyó un prototipo de sistema filtrante a partir de estos materiales. La configuración portátil de este sistema presentó diferentes problemas debido a la poca presión ejercida por el agua y a la cantidad limitada de material utilizado, por lo que el sistema se modificó a un sistema semi-portátil, que mejoró los resultados obtenidos. Las pruebas de filtración mostraron una reducción en el sabor, aroma y turbiedad en muestras de agua provenientes de diferentes fuentes. Pudo observarse que al reducir la turbiedad y materia macroscópica de las muestras utilizadas se mejoraron las características organolépticas del agua tratada, sin embargo no se aseguró la inocuidad, por lo que se recomendó agregar 0.5 % de hipoclorito de sodio (NaClO) (5000 mg/L), que es equivalente a agregar 1 gota de cloro comercial (NaClO) por cada 2 litros de agua.

## IV. ÍNDICE DEL CONTENIDO

<i>I. AGRADECIMIENTOS</i> .....	I
<i>II. DEDICATORIAS</i> .....	II
III. RESUMEN.....	III
IV. ÍNDICE DEL CONTENIDO.....	IV
V. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	VI
CAPÍTULO I.....	1
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PROBLEMA A RESOLVER.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.5 HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Contaminación del Agua y Medio Ambiente.....	6
2.1.1 Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.....	6
2.1.2 Tipos de contaminantes.....	7
2.1.3 Parámetros de contaminación.....	8
2.1.4 Consecuencias de la contaminación.....	9
2.2 Calidad del Agua para consumo humano.....	10
2.2.1 Enfermedades transmitidas por el agua.....	10
2.2.2 Calidad del Agua.....	11
2.2.3 Parámetros de calidad.....	12
2.2.4 Otras Normas Mexicanas.....	14
2.3 Tratamientos físicos y químicos para la purificación.....	16
2.4 Filtración.....	17
2.4.1 Mecanismos de filtración.....	17
2.4.2 Tipos de filtración.....	18
2.4.2.1 Filtros de presión o de vacío.....	18

2.4.2.2 Filtros de gravedad.....	22
2.4.3 Cinética de filtración .....	23
2.4.4 Factores que influyen en la filtración .....	23
2.4.5 Características del medio filtrante .....	24
2.5 Filtros portátiles .....	27
CAPÍTULO III.....	29
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Construcción del filtro .....	30
3.1.1 Materiales filtrantes.....	30
3.1.1.1 Arena de sílice.....	30
3.1.1.2 Zeolita.....	31
3.1.1.3 Carbón activado .....	32
3.1.1.4 Tela geotextil .....	32
3.1.1.5 Antracita .....	33
3.1.2 Estructura del filtro portátil.....	34
3.1.3 Terminado del Filtro portátil.....	35
3.1.4 Construcción del filtro semi-portátil.....	36
3.2 Costo estimado de los filtros .....	40
3.3 Evaluación de los sistemas de filtración.....	41
3.3.1 Toma de muestras .....	41
3.3.2 Determinación de pH.....	42
3.3.3 Prueba de Coliformes Totales .....	42
3.3.4 Pruebas sensoriales .....	42
3.3.4.1 Olor .....	43
3.3.4.2 Sabor .....	43
3.3.4.3 Color .....	44
3.3.5 Espectrofotometría de absorción.....	44
CAPÍTULO IV.....	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
CAPÍTULO V.....	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1 CONCLUSIONES.....	64
5.2 RECOMENDACIONES .....	66
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS .....	67

## V. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

### FIGURAS

<b>Figura 1</b> Filtración de multimedia; 1) filtrado de agua, 2) medio filtrante, 3) sólidos. .....	20
<b>Figura 2</b> Esquema de filtración por gravedad.....	22
<b>Figura 3</b> Estructura interna de la zeolita.....	26
<b>Figura 4</b> Diagrama del trabajo realizado. ....	29
<b>Figura 5</b> Tubo de plástico con orificios .....	30
<b>Figura 6</b> Arena de Sílice.....	31
<b>Figura 7</b> Zeolita.....	31
<b>Figura 8</b> Carbón activado.....	32
<b>Figura 9</b> Tela geotextil.....	33
<b>Figura 10</b> Antracita.....	33
<b>Figura 11</b> Estructura interna del filtro portátil.....	35
<b>Figura 12</b> Presentación final del filtro portátil de agua .....	36
<b>Figura 13</b> Filtro semi-portátil terminado.....	37
<b>Figura 14</b> Disposición de los materiales filtrantes en el filtro semi-portátil .....	38
<b>Figura 15</b> Muestras de agua (de izquierda a derecha) potable, del rio Misantla, y del rio Misantla enturbada. ....	45
<b>Figura 16</b> Muestras de agua pasando por el filtro portátil.....	46
<b>Figura 17</b> Paso del agua potable a través del filtro por medio de la red de abastecimiento del ITSM .....	48
<b>Figura 18</b> Se observa el embudo conectado a la manguera de paso del filtro semi-portátil, para facilitar el paso del agua de las muestras del Río Misantla.....	49
<b>Figura 19</b> Comparación de absorbancia en muestras de agua potable antes y después de recorrer el filtro semi-portátil.....	60
<b>Figura 20</b> Comparación de absorbancia en muestras de Agua del Rio Misantla antes y después de recorrer el filtro semi-portátil.....	61



<b>Figura 21</b> Comparación de absorbancia en muestras de Agua del rio Misantla enturbada antes y después de recorrer el filtro semi-portátil.....	62
---	----

## TABLAS

<b>Tabla 1</b> Valores máximos de contaminación en muestras de agua para consumo humano.....	8
<b>Tabla 2</b> Contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, (NOM-127-SSA-2000).....	13
<b>Tabla 3</b> Límites permisibles de características químicas. (NOM-127-SSA1, 2000). .....	14
<b>Tabla 4</b> Ejemplos de filtros portátiles .....	28
<b>Tabla 5</b> Presupuesto del filtro portátil.....	40
<b>Tabla 6</b> Presupuesto del filtro semi-portátil.....	40
<b>Tabla 7</b> Absorbancia en las muestras antes y después de pasar por los filtros. Se observa la disminución en la absorbancia después de que el agua contaminada recorrió los filtros.....	51
<b>Tabla 8</b> Determinación de olor en el filtro portátil.....	54
<b>Tabla 9</b> Determinación de olor en las muestras antes y después de recorrer el filtro semi-portátil.....	55
<b>Tabla 10</b> Coloración de las muestras antes y después de recorrer el filtro portátil mediante la escala 1) Clara 2) Turbidez ligera, 3) Turbidez media, 4) Turbidez alta. .....	56
<b>Tabla 11</b> Coloración de las muestras antes y después de recorrer el filtro semi-portátil mediante la escala 1) Clara 2) Turbidez ligera, 3) Turbidez media, 4) Turbidez alta. ....	57
<b>Tabla 12</b> Determinación de sabor en las muestras antes y después de recorrer los filtros.....	59

## **ECUACIONES**

**Ecuación 1** Fórmula para determinar el ICA (SEMARNAT, 2010):.....9

# **CAPÍTULO I.**

## **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El agua es necesaria para el sostenimiento de la vida en el planeta tierra, nosotros como seres humanos no estamos exentos a esta necesidad. No obstante, con el fuerte crecimiento poblacional que se ha registrado en el país y el paso de los años, este recurso se ha denotado escaso, añadido a la sucesiva serie de situaciones críticas e irreversibles a causa de la gran vulnerabilidad climática que implica cambios en el patrón de la precipitación y por ende, conlleva a la ocurrencia de inundaciones en determinadas zonas del país; a la contaminación y al difícil acceso al agua potable, afectando así de una manera notoria la calidad y cantidad de los recursos hídricos que ponen en riesgo la salud humana. Tal es el caso de la Ciudad de Misantla Veracruz, que en las últimas décadas su población ha quedado limitada, incomunicada y sin acceso a la distribución de agua potable, lo que ha llevado a la ciudadanía al brote de enfermedades gastrointestinales debido a la alta contaminación que abunda en estos sucesos de contingencia.

En el mundo, diversas empresas y ONG's (Organizaciones No Gubernamentales) han diseñado y construido filtros portátiles para hacer fácil el acceso a regiones alejadas o pobres donde existe la carencia de sistemas de potabilización eficientes, sin embargo los filtros presentan altos costos o simplemente no se tiene acceso a ellos en circunstancias de desastre como en nuestra comunidad, privatizando el derecho al consumo de un agua de calidad.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue la construcción de un sistema de filtración portátil para la purificación de agua para consumo humano, con el propósito de ofrecer una alternativa viable en casos de emergencia. Esto se planeó mediante la construcción de un sistema económico, fácil de armar y conseguir para ser utilizado con las mínimas condiciones de operación, en

cualquier lugar de la región, pero con la propiedad de retirar partículas dispersas, microorganismos, materia orgánica y agentes perjudiciales para el consumo humano.

## 1.2 PROBLEMA A RESOLVER

El uso de agua contaminada o no potabilizada correctamente, es una fuente directa de enfermedades gastrointestinales perjudiciales para la salud. Las principales enfermedades de alto riesgo para niños y ancianos que son las poblaciones más susceptibles son: Cólera, salmonelosis, shigellosis, amibiasis, helmintiasis y diarreas comunes por *E. coli* y rotavirus, entre otros. Estos microorganismos son de origen intestinal y están directamente relacionados con excretas humanas y animales desechados en la zona. Las enfermedades anteriormente descritas se agravan en situaciones de desastre natural, generando contagios o epidemias que pueden ser mortales para la población. Una de las maneras más eficientes de reducir la carga microbiana del agua de ríos, lagunas e incluso pozos es la adición de especies químicas como el permanganato de potasio o el hipoclorito de sodio, sin embargo esto no quita la turbiedad, el sabor y olores desagradables. A pesar de que ya existen en el mercado nacional e internacional sistemas de purificación portátiles eficientes, en México no contamos con alternativas viables (accesibles y económicas) para situaciones de desastre natural donde escasee el vital líquido, por tanto el objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un prototipo para disminuir la turbiedad e impurezas de agua contaminada con arcillas, arenas y suelo, mejorando la calidad organoléptica y microbiológica del agua para ser utilizada en estos casos de emergencia como alternativa para consumo humano.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La Ciudad de Misantla por su ubicación geográfica es susceptible a los desastres naturales, tales como las inundaciones y deslaves que implican un fallo directo en el suministro de agua potable, situación que es inaceptable. Una consecuencia directa de estos fenómenos en la región es que generalmente queda incomunicada y afronta escases de agua potable y purificada. Para disminuir esta insuficiencia el gobierno del estado y el municipio emprenden planes de emergencia que incluyen el suministro de agua mediante camiones que sustraen el agua del río Misantla y lo distribuyen a la población a un bajo costo. A pesar de lo anterior, esta agua no se encuentra potabilizada, ni tiene algún tipo de tratamiento mínimo, por lo que su consumo es un peligro para la población, tomando en cuenta que en estos casos no hay suministro de agua embotellada gratuita, ni gas para hervirla. Debido a lo anterior resulta importante construir los medios adecuados, suficientes, y competentes para el tratamiento del agua para consumo humano en este tipo de acontecimientos. El uso de arenas, zeolitas, sílice, antracita, telas filtrantes y carbón activado, son generalmente aceptados en el tratamiento de agua para el consumo humano. Por tanto, el objetivo de este trabajo, fue la construcción de un purificador portátil, que principalmente disminuyera la contaminación, o las partículas sólidas en suspensión de fuentes de agua relativamente contaminadas con suelo y que mejorara sus características organolépticas así como microbiológicas para que fuera adecuada para consumo humano, mediante un sistema de filtrado económico y de fácil construcción.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Construir y evaluar un dispositivo de filtración de agua para consumo humano.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Revisión bibliográfica
- Selección de materiales para el purificador
- Construcción del dispositivo de filtración portátil.
- Evaluación del prototipo construido.
- Mejorar el sistema propuesto para la filtración de agua.

## **1.5 HIPÓTESIS**

Es posible construir un dispositivo de filtración con materiales económicos y materiales o sustratos filtrantes, que tenga la capacidad de disminuir parámetros de contaminación como son: turbiedad, color, olor, sabor y número de microorganismos contaminantes, para obtener un agua con calidad suficiente para que sea apta para consumo humano.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Contaminación del Agua y Medio Ambiente**

En general la población mundial ha tendido a crecer desmesuradamente provocando directamente un aumento excesivo de contaminación ambiental. Una de las formas más perjudiciales que, sin duda alguna afecta nuestro entorno y al ser humano es la contaminación del agua. Este tipo de contaminación se puede definir como la acción de introducir materia, energía, o inducir condiciones diferentes al agua, de modo directo o indirecto, que contribuyan a una variación perjudicial en su calidad en dependencia a su uso posterior o función ecológica (Gallego, 2000).

##### **2.1.1 Contaminación de aguas superficiales y subterráneas**

Generalmente la contaminación de las aguas subterráneas tiende a manifestarse en la superficie de la tierra, así como en los suelos sobre el nivel freático y sedimentos debajo de este, resultado de las actividades humanas en su mayor parte. Los espacios donde los contaminantes ingresan al medio subterráneo perturban la calidad y particularidad de las aguas subterráneas. La tendencia en la movilidad de los contaminantes por medio de los mantos o capas de sedimento funciona como un proceso de descomposición, dilución, y filtración que si bien puede reducir el impacto final en este tipo de aguas, también puede diseminarlo (EPA, 1990).

Básicamente las sustancias comunes que contaminan las aguas subterráneas, se pueden clasificar las siguientes dos categorías: Las sustancias que sobrevienen de manera natural, minerales tales como hierro, calcio, y selenio; y las sustancias originarias de las actividades humanas que incluyen bacterias, sales, virus, productos químicos e hidrocarburos (por ejemplo los solventes,



pesticidas, y productos derivados del petróleo), además de lixiviación de depósitos de basura que contienen sustancias como metales pesados. (EPA, 1990). En lo que respecta a la contaminación de aguas superficiales, las acciones humanas son las principales responsables; ya que la dispersión de contaminantes es de máximo riesgo por vertidos residuales, alcantarillados, y actividades diarias realizadas por el hombre.

### **2.1.2 Tipos de contaminantes**

El agua por ser un recurso natural, finito y de identidad regenerativa, se convierte en un medio indispensable para la vida, que desafortunadamente por sus beneficiosas propiedades y aparente abundancia se convierte en vertedero irracional de gran cantidad de residuos como desechos químicos, orgánicos y radioactivos, metales pesados, etc. (Echarri, 1998). Estas impurezas responsables de la contaminación se dividen comúnmente en:

- **Impurezas biológicas:** Como virus, bacterias y parásitos generadores de mortales afecciones.
- **Impurezas orgánicas:** Productos químicos orgánicos altamente dañinos para la salud como los pesticidas y herbicidas.
- **Impurezas inorgánicas:** Que producen turbidez en el agua como diferentes tipos de arenas, tierra, arcillas.

Todos los agentes de contaminación antes mencionados involucran distintos métodos como cambio químico, disolución y suspensión, que perjudican las cualidades y deterioran la calidad de dicho recurso.

### 2.1.3 Parámetros de contaminación

En la búsqueda de una metodología precisa para determinar la calidad del agua, la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) creó un sistema que estima la calidad del agua a través de la medición física de los parámetros de contaminación, y así reflejar la correlación que existe entre estos parámetros, la calidad organoléptica para consumo humano y los niveles aceptables de contaminantes. Por este motivo se estableció el Índice de Calidad del Agua (ICA) que posibilita crear balances de niveles de contaminación en distintas áreas y que se puede expresar como un porcentaje de agua pura (Tabla 1).

**Tabla 1** Valores máximos de contaminación en muestras de agua para consumo humano.

Parámetro	Peso (Wi*)	Parámetro	Peso (Wi)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5.0	Nitrógeno en nitratos	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas del azul de metileno (detergentes)	3.0	Potencial de Hidrógeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales	2.0	Cloruros	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal	2.0	Turbiedad	0.5

Wi\* peso relativo

Fuente: SEMARNAT, 2010

El índice descrito tiene 18 parámetros para su cálculo con distintos pesos relativos (Wi), en acuerdo a la importancia que se le puede conceder a cada uno de ellos en su evaluación final. El ICA fue desarrollado por la SEMARNAT (2010) en las etapas siguientes: La primera, residió en elaborar una escala de calificación con referencia a los diferentes usos que se le pueden otorgar al agua. La segunda implicó el desarrollo de una escala de calificación para cada uno de los

parámetros de tal forma que se fijara una correlación entre los distintos parámetros y su influencia en el grado de contaminación. Luego de que las escalas fueron preparadas, se formularon los modelos matemáticos para cada parámetro, estos convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro ( $I_i$ ). Gracias a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación ( $W_i$ ) según su orden de importancia respectivo. Y por último los índices por parámetro son promediados con el fin de tener como resultado el ICA de la muestra de agua. Entonces, un agua altamente contaminada obtendrá un ICA en cercanía al 0% y será de 100% para el agua con las mejores características (SEMARNAT, 2010).

**Ecuación 1** Fórmula para determinar el ICA (SEMARNAT, 2010):

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

En donde el subíndice  $i$  identifica a cada uno de los 18 parámetros antes presentados. Por lo que  $i = 1, 2, 3, \dots, 18$ , y  $n = 18$ .

#### **2.1.4 Consecuencias de la contaminación**

La crisis del agua actual tiende a incrementarse cada vez más por el aumento incontrolable de la sobrepoblación humana, y que es directamente proporcional a la depredación de los ecosistemas sin los cuales no podemos sobrevivir. Es necesario y deseable que todos los habitantes de este planeta

tengan acceso a agua con regímenes de calidad suficiente para ser consumida y disminuir los riesgos inherentes al consumo de agua contaminada.

Existen muchos microorganismos que producen enfermedades que tienen un alto riesgo de llegar a convertirse en un problema de salubridad, cuando estos llegan a propagarse en masa, acarrear posibles contagios o epidemias poblacionales. Es por esa razón que es imprescindible limitar y controlar la contaminación química y microbiológica de las diferentes fuentes de agua para evitar la propagación de enfermedades entéricas. La situación económica y social en México, Veracruz y en el municipio de Misantla, pone en evidencia la falta de infraestructura e instalaciones higiénicas suficientes para disminuir estos riesgos, lo que podría agravar estas situaciones potenciales en caso de un desastre natural. Para la disminución de estas problemáticas y riesgos es necesaria la mejoría en la calidad del agua con la creación de nuevas alternativas de tratamiento que sean accesibles a la población.

## **2.2 Calidad del Agua para consumo humano**

### **2.2.1 Enfermedades transmitidas por el agua**

El agua para consumo humano que transmite enfermedades por lo general contiene bacterias, parásitos y virus que son microorganismos patogénicos provenientes de restos fecales humanos, animales y otros. Se estima que cada año se presentan 4,000 millones de casos de diarrea y 1.8 millones de personas mueren a causa de esa enfermedad (OMS, 2014). Muchos de los elementos contaminantes del agua son originados naturalmente o de actividades de producción y consumo humano que producen una serie de desechos que son derramados en el agua (Sáenz, 1995), surgiendo así las enfermedades de origen hídrico, que en su mayor parte son provocadas por el consumo del agua contaminada con restos fecales de humanos o animales. Las enfermedades que son comunes a partir de contaminación de agua para consumo humano incluyen: salmonelosis (*Salmonella*), shigelosis (*Shigella*), cólera (*Vibrio Cholerae*),

amebiasis (*Entamoeba histolytica*), alteraciones gastrointestinales (*Aeromonas mesófilas*, *Helicobacter pylori*, *Campylobacter*); giardiasis (*Giardia lamblia*), criptosporidiosis (*Cryptosporidium*), esquistosomiasis (*Schistosoma*), desórdenes hepáticos (virus de hepatitis), etc.

La investigación, el registro y aparición de nuevas enfermedades por contaminación de agua es tema difícil de abordar. Estudios han demostrado que existen muchos químicos presentes en el agua y que por su composición son indudablemente perjudiciales para la salud, entre ellas encontramos: Arsénico, Bario, Cadmio, Cromo, Cianuro, Flúor, Plomo, Selenio, Plata y Nitratos; sin embargo al ser un disolvente universal no se tienen completamente establecidos los mecanismos de acción y los efectos combinados. Por otra parte, también la presencia de detergentes, químicos orgánicos, cloruros, Cobre, Hierro, Manganeso, Fenoles, Sulfatos y Zinc influyen negativamente sobre la calidad del agua, aumentando el riesgo de producir enfermedades. Además de lo anterior, la adición en mínimas cantidades de contaminantes, alteran indiscutiblemente las características organolépticas del agua, como sabor, olor, color, etc. (Mejía C., 2005).

El consumo de agua contaminada por impurezas biológicas, orgánicas e inorgánicas tiene consecuencias negativas sobre la salud e inclusive fatales (en grandes concentraciones), además de intoxicaciones crónicas que pueden llevar al desarrollo de diferentes tipos de padecimientos. Por tanto es imprescindible el tratamiento y potabilización para la eliminación de dichos contaminantes.

### **2.2.2 Calidad del Agua**

La calidad del agua depende del uso que se le otorgue. Cuando este insumo va a ser utilizado para consumo humano, la calidad del agua requiere contar con la inocuidad necesaria para evitar enfermedades, además de las principales características que por naturaleza posee; incolora, inodora e insípida. A pesar de que estas características representan la mejor calidad de agua para consumo, es necesario establecer parámetros o rangos para avalar el

cumplimiento de los estándares mínimos para su control. Estos parámetros ayudan a verificar la calidad del agua, determinando su pureza, o por el contrario el grado de contaminación que posee.

### **2.2.3 Parámetros de calidad**

En la normatividad Oficial Mexicana se imponen distintos parámetros en la determinación de la calidad del agua para los tratamientos de potabilización de agua, estos como requisito para cualquier persona física o moral que la distribuya o comercialice. A continuación se indican los principales parámetros empleados en la NOM-127-SSA1, 2000.

#### **Sólidos Suspendidos y Disueltos**

El agua contiene sólidos, estos pueden presentarse de forma sólida o disuelta. Por esto, a la combinación en suma de estos dos se le denominan Sólidos Totales. En acuerdo con la NOM-127-SSA1, 2000 los límites permisibles en los Sólidos Totales es referente a su concentración total en el agua (1000 mg/L).

#### **Turbidez**

La turbidez se evalúa en Unidades de Turbiedad Nefelométricas (UTN). Se caracteriza por la presencia en el agua de partículas en suspensión o coloidales, que debilitan y aminoran la transparencia que por naturaleza el agua contiene, acarreando así un impacto desagradable para la vista y consiguiente desaprobación del usuario. El límite permisible en el agua para consumo humano es de 5 Unidades de Turbiedad Nefelométricas. (NOM-127-SSA1, 2000).

#### **Color, Olor y Sabor**

El color puede originarse por la existencia del contenido innato de metales o iones metálicos disueltos, residuos industriales, materia y residuos orgánicos. Al mismo tiempo influye, la temperatura, el pH y el tiempo de contacto. En cuanto al

olor, está estrechamente relacionado con el sabor, ya que son la razón primordial de reprobación en los consumidores, puesto que fácilmente se pueden percibir constituyentes orgánicos que alteran el olor del agua. Consiguientemente se catalogan principalmente cuatro sabores básicos: ácido, amargo, dulce y salado. Los agentes más habituales y dominantes en el agua que interceden en el sabor son la tierra, moho, compuestos derivados del cloro, productos químicos y aceites, por mencionar algunos.

### **Potencial de Hidrógeno pH**

Por definición el pH es un indicador que se emplea para precisar la acidez o alcalinidad del agua. La especificación de una muestra con un pH altamente ácido o alcalino nos advierte que existe gran probabilidad de contaminación, ya que frecuentemente el pH en el agua es entre 6,5-8,5 (NOM-127-SSA1, 2000).

### **Temperatura**

La principal función de la medida de temperatura es determinar el nivel de calor que cierta sustancia posee. Influye concisamente en el incremento o disminución de la actividad biológica, absorción de oxígeno, desinfección, filtración, formación de depósitos, floculación, precipitación de compuestos y sedimentación.

De acuerdo a lo anterior, en las siguientes tablas (2 y 3) se encuadran los parámetros de calidad manejados en la NOM-127-SSA1-2000 junto con sus límites permisibles de acuerdo a la normatividad aplicada (Ver anexo 1).

**Tabla 2** Contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, (NOM-127-SSA1-2000).

<b>Característica</b>	<b>Límite permisible</b>
Organismos Coliformes totales	Ausencia
E. coli	Ausencia

**Tabla 3** Límites permisibles de características químicas. (NOM-127-SSA1, 2000).

Característica	Límite permisible
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de Turbiedad Nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

También debe de recordarse que el agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener *E. coli* en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos Coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50,000 habitantes, estos organismos, deberá estar ausentes en el 95 % de las muestras tomadas durante cualquier período de doce meses (NOM-127-SSA1, 2000).

#### **2.2.4 Otras Normas Mexicanas**

Con el fin de cerciorar y resguardar la calidad del agua en los diferentes sistemas de producción, manejo y distribución, hasta la entrega al consumidor, esta se debe someter a tratamientos de potabilización con el objetivo de hacerla apta para uso y consumo humano. Las principales normas oficiales mexicanas que rigen estos procedimientos son:

- **NOM-127-SSA1-1994.** Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. El objetivo de esta Norma Oficial Mexicana es establecer los límites permisibles de calidad como las



características físicas, químicas y organolépticas además de los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

- **NOM-014-SSA1-1993.** Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. El objetivo de esta Norma Oficial Mexicana es primordialmente constituir los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en los sistemas de abastecimiento públicos y privados, incluyendo aspectos bacteriológicos y físico-químicos, así como criterios para manejo, preservación y transporte de muestras.
- **NOM-112-SSA1-1994.** Determinación de bacterias Coliformes. Técnica del número más probable. Que establece el método microbiológico para estimar el número de Coliformes presentes en productos alimenticios, por medio del cálculo del número más probable (NMP) después de la incubación a 35 °C de la muestra diluida en un medio líquido. Este procedimiento puede aplicarse a agua potable, agua purificada, hielo y alimentos procesados térmicamente.
- **NMX-AA-042-1987.** Calidad del agua, determinación del número más probable (NPM) de Coliformes totales, Coliformes fecales (termo tolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. establece un método para la detección y enumeración en agua de organismos Coliformes totales, organismos Coliformes fecales (termo tolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva (*E. coli*) mediante el cultivo en un medio líquido en tubos múltiples y el cálculo de sus números más probables (NMP) en la muestra. Este método es aplicable para todo tipo de agua, incluyendo aquellos que contienen una cantidad apreciable de materia en suspensión.

La anterior normatividad, comúnmente es utilizada en los proyectos destinados al manejo de agua para consumo humano. Estas normas abarcan

disposiciones, métodos de prueba y especificaciones, de igual manera indican los límites permisibles en cuanto a calidad de las características que requiere cumplir el agua potable.

### **2.3 Tratamientos físicos y químicos para la purificación**

La metodología para cada tipo de contaminación, inicia con la determinación en sus componentes, pero de manera general, existen tres metodologías de mayor uso para la purificación del agua contaminada:

- **Purificación de agua por filtración:** Reside en dividir al sólido del líquido por medio de un medio poroso, que posee la capacidad de retener los sólidos, despejando el paso del líquido.
- **Purificación de agua por ablandamiento:** El agua es llamada dura cuando contiene iones de magnesio y calcio disueltos. Por ende, este tratamiento debe poseer resinas de intercambio iónico de  $\text{Na}^+$  o  $\text{H}^+$  que eliminan los iones positivos de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  del agua.
- **Purificación de agua por desinfección:** Comúnmente se utiliza el hipoclorito de sodio para realizar este tratamiento, ya que es un eficaz eliminador de microorganismos patógenos. En este tratamiento se requiere 0.5 % de cloro (5000 mg/L), que es equivalente a agregar 1 gota de cloro comercial por cada 2 litros de agua, que deberá estar previamente tratada (preferentemente por filtración) para denominarse apta para consumo.

## 2.4 Filtración

Este proceso, es esencial en el tratamiento de cualquier tipo de agua. Consiste en retirar sólidos suspendidos en el agua mediante diferentes materiales con capacidad de retención. Las metodologías frecuentes comprenden filtración por arenas, membranas y tierras con aptitudes para retener partículas. La función de la filtración está meramente asociada a la capacidad y eficacia de los materiales que contenga para así mismo eliminar las sustancias indeseables en la composición del agua contaminada.

### 2.4.1 Mecanismos de filtración

Para que se lleve a cabo el proceso de filtrado, las partículas que se necesitan eliminar son retenidas en la superficie del medio filtrante. Existen diferentes mecanismos de transporte mediante los cuales estas partículas son eliminadas. Las partículas se transportan dentro de los poros del medio filtrante debido a fenómenos físicos e hidráulicos, influenciados por los factores que gobiernan la transferencia de masa. A continuación se describen algunos mecanismos que pueden realizar el transporte:

- a) **Cernido.** Este mecanismo realiza su función justamente en el área superior del lecho filtrante, puesto que las partículas son resistentes y de mucho mayor tamaño que los poros de este se quedan atrapados en las hendiduras tolerando así la circulación del agua.
- b) **Difusión.** Según el movimiento denominado Browniano, las partículas de menor tamaño comienzan a desplegarse de las áreas de mayor concentración a las áreas de menor concentración.
- c) **Impacto inercial.** Este mecanismo, como su nombre lo dice es regido por el impacto que soportan las líneas de flujo, mediante la inercia, provocando que estas recorran trayectorias diferentes. Esto significa que al pasar la

corriente por los alrededores del material filtrante, las líneas de flujo adoptan una forma curvada y es como las partículas realizan su trayectoria habitual gracias a la inercia y posteriormente colisionando con el material filtrante incorporándose a él.

- d) **Intercepción.** Cuando la corriente tiene una menor velocidad, las partículas recorren una trayectoria a lo largo de las líneas de corriente y serán eliminadas de la suspensión cuando esas líneas estén a una distancia menor que la mitad del diámetro de las partículas en suspensión (poseen una densidad aproximada a la del agua).
- e) **Sedimentación.** Este mecanismo consiste en la eliminación de las partículas que poseen un tamaño menor al de los poros (Yactayo, 2005). La sedimentación de las partículas pequeñas mejora notablemente con la adición de coagulantes y floculantes permitiendo la formación de flóculos, acelerando la separación de partículas floculadas.

## 2.4.2 Tipos de filtración

Generalmente se consideran dos tipos de sistemas para la filtración de agua o su tratamiento, los cuales se clasifican en relación a la fuerza que se ejerce en el filtrado, por este mecanismo se clasifican en dos clases; filtros de presión o de vacío y filtros de gravedad.

### 2.4.2.1 Filtros de presión o de vacío

Estos filtros son nombrados así porque ya sea que el sistema de filtrado funciona aplicando vacío, o cuando se ejerce una presión como una fuerza impulsora, esto hace que el líquido traspase el filtro. Los filtros de presión son más efectivos por tener mayor capacidad de flujo volumétrico que los de gravedad.

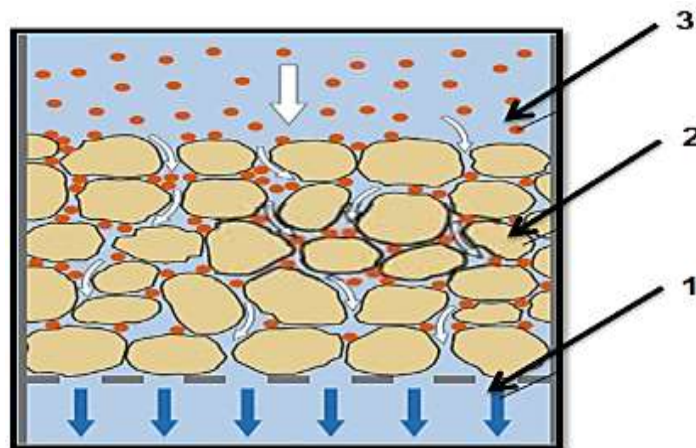
## **Filtros prensa**

Entre los tipos de filtros a presión citaremos los filtros prensa y los filtros multimedia; los filtros prensa poseen una eficacia alta, gracias a su elevada superficie filtrante en poco espacio que se conforma por varios materiales para filtración como cámaras, placas o células, entre las cuales se coloca el elemento filtrante (papel, manta, o tela) para posteriormente ser montadas unas al lado de las otras y ser comprimidas.

## **Filtros multimedia**

Los filtros multimedia son llamados también filtros multicapa o filtros de lecho profundo. Estos filtros generalmente son de uso comercial, poseen materiales de varios medios filtrantes de diferentes tamaños y densidades capaces de retener y almacenar gran cantidad de sólidos suspendidos con granulometría de 3 a 15 micras. En este tipo de filtración se utilizan materiales como arenas, antracita, granate o grava.

Por lo general, los filtros multimedia están compuestos por diversas capas de medios filtrantes, en donde el agua recorre (por presión o gravedad) los intersticios del lecho o cama filtrante superior que posee mayor tamaño de fragmentos posteriormente el agua atraviesa una cama de material con menor tamaño y por último recorre una última capa de material de fragmentos más finos. Los materiales que se encuentran en las capas superiores atrapan partículas grandes y las partículas más pequeñas son atrapadas por las capas filtrantes inferiores como se muestra en la siguiente figura (Figura 1):



**Figura 1** Filtración de multimedia; 1) filtrado de agua, 2) medio filtrante, 3) sólidos.

Conforme se usa el filtro, se acumulan cantidades mayores de sólidos en los intersticios de las camas filtrantes, esto provoca que el flujo volumétrico del agua disminuya y en consecuencia aumenta la resistencia que el filtro opone al flujo, manifestándose como un incremento de presión a la entrada de fluido. La operación del filtro y su flujo volumétrico se restablece realizando un retrolavado. Esto es, realizando un lavado en sentido inverso, lo anterior significa hacer recircular agua depurada en dirección contraria al flujo inicial para eliminar las partículas atrapadas por el filtro en su operación normal.

Los ciclos duran entre 12 y 24 horas (dependiendo de la cantidad de sólidos presentes en suspensión). Después de un ciclo de filtrado, el filtro se retrolava con agua limpia, a un flujo especificado por manuales de operación (20 - 25% más grande que el caudal de circulación inicial). En este proceso de lavado las capas se expanden y asimismo se reacomodan los medios filtrantes, la duración puede ser de 15 a 60 minutos.

Habitualmente los filtros multimedia cuentan con 3 accesos:

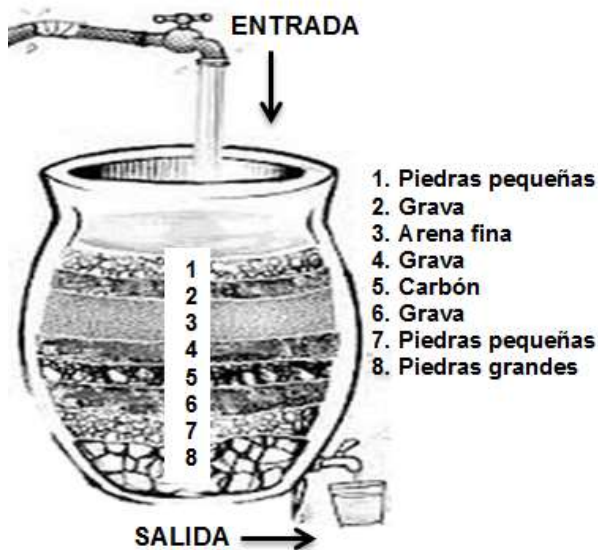
- Entrada del agua a filtrar.
- Salida de agua filtrada
- Salida de agua sucia del retrolavado.

Existen filtros multimedia de operación automática, que cuentan con un control digital que realiza los procesos de retrolavado y enjuague y que por lo regular se encuentran en el mercado como paquetes para ser equipados e instalados que constan de lo siguiente:

- Tanque de fibra de vidrio
- Válvula de montaje (automática o manual)
- Distribuidor
- Colector interno y;
- Materiales filtrantes.

### 2.4.2.2 Filtros de gravedad

Este tipo de filtros son los más básicos, ya que su metodología ha sido aplicada desde tiempos remotos. Se operan de una manera muy asequible, e igualmente es empleado para separar los sólidos presentes en el agua. En estos filtros sólo interviene como fuerza impulsora del líquido, la gravedad (Figura 2). En el ejemplo siguiente de filtración por gravedad, puede observarse que el filtro está compuesto de materiales convencionales como piedras y arena, que están colocadas en el fondo del contenedor; el agua es depositada mediante una llave de paso y esta recorre los materiales filtrantes hasta llegar al fondo, en donde ya filtrada, busca la salida.



**Figura 2** Esquema de filtración por gravedad



### **2.4.3 Cinética de filtración**

Dentro de los fenómenos existentes de filtración, aún existen muchas dudas del mecanismo exacto que se lleva a cabo y por lo tanto es muy difícil diseñar o modelar un patrón matemático que abarque y explique satisfactoriamente todos y cada uno de los parámetros en el procedimiento funcional de los filtros, sin embargo si existen modelos matemáticos que permiten facilitar la percepción del procedimiento de filtrado (Yactayo, 2005).

#### **Retención y arrastre de partículas**

La materia atrapada en los poros (en caudal constante) reduce la superficie interna de los canales aumentando la velocidad, esto hace que una fracción de las partículas atrapadas sea arrastrada a las capas inferiores, de tal modo que la cantidad arrastrada sea proporcional a la existente en cada capa.

#### **Balance de masas**

El balance de masa en los sistemas de filtración es importante porque define la cantidad de material que puede ser atrapado o retenido en las superficies internas de los materiales, así como determinar (en función a la posición y el tiempo) la colocación de los depósitos en el medio filtrante.

### **2.4.4 Factores que influyen en la filtración**

Algunos de las características que definen la eficacia en la técnica de filtrado son por supuesto, el medio filtrante, las propiedades de la suspensión, las condiciones del efluente y la hidráulica en la filtración. Los factores que se describen a continuación intervienen de una forma primordial en el desarrollo de la filtración (Maldonado Yactayo, 2005).

### **Densidad de las partículas suspendidas**

La densidad en las partículas se refiere a que poseen una cuantiosa porción de masa en comparación a su volumen, y de manera que mientras mayor sea la densidad de las partículas en suspensión, mayor será la eficacia de remoción de las partículas de tamaño superior.

### **Resistencia o dureza de los flóculos**

La dureza de los flóculos es otro factor importante en la filtración rápida, habitualmente son dos las clases de flóculos, los primeros denominados flóculos débiles tienden a fraccionarse y a poseer una menor resistencia a la tensión, además de introducirse fácilmente dentro del medio filtrante. Los segundos son denominados flóculos resistentes por su compleja tendencia a fraccionarse.

### **Tamaño de las partículas suspendidas**

Existe un tamaño crítico de partículas suspendidas, del orden de 1  $\mu\text{m}$ , el cual genera menos oportunidad de contacto entre la partícula en suspensión y el grano del medio filtrante. Este suceso se puede observar desde el principio del proceso de filtración, cuando el medio filtrante está limpio, hasta el final de la ruta de filtración. Algunos productos como los coagulantes pueden utilizarse para ajustar el tamaño de las partículas en suspensión a modo de obtener una eficiencia mayor de sedimentación.

#### **2.4.5 Características del medio filtrante**

Los medios filtrantes son la parte más importante de los filtros, debido a que es en ellos, donde se retiene diferentes tipos de partículas, solutos y microorganismos, dependiendo de las características intrínsecas de cada uno. Los más usados en filtración se incluyen a continuación:

## **Membranas**

Estos soportes se conforman de capas delgadas de materiales finos como derivados de la celulosa, fibra de vidrio o cerámica. Poseen mucha diversidad en cuanto a tamaño de poros y material que está destinada a inmovilizar (IMTA, 2009). Las membranas son una de las mejores opciones para purificación del agua, ya que ayudan eficientemente a la separación de sustancias, y son aptas para eliminar bacterias coliformes, microorganismos, y materiales orgánicos responsables de impregnación de color, olor y sabor al agua, funcionando como barrera de retención eficiente. Según el tamaño de sus poros, las membranas se dividen en tres grupos:

- Los macroporos de diámetro superior a 50 nm.
- Los mesoporos de diámetro entre 2 y 50 nm.
- Los microporos con un diámetro inferior a 2 nm.

La microfiltración usa membranas macroporosas, la ultrafiltración las membranas mesoporosas y la nanofiltración a las membranas microporosas. (Guizard, 1999).

## **Arena**

La arena como medio filtrante se usa habitualmente para separar los sólidos en suspensión que contiene el agua. Los filtros de arena son de bajo costo y verdaderamente fáciles de operar.

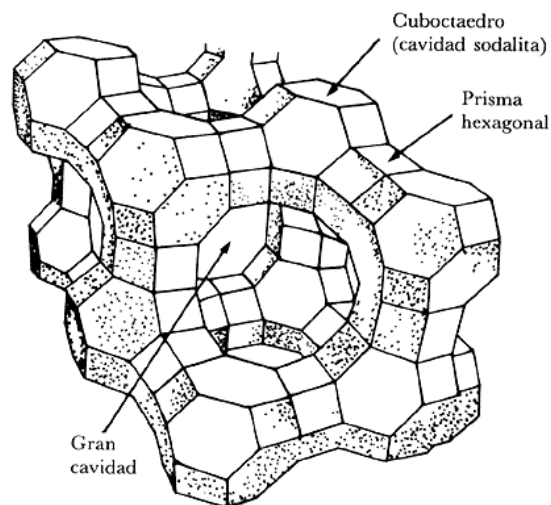
## **Carbón activado**

El carbón activado es un material que se prepara en la industria para que tenga una elevada superficie interna y alta porosidad mediante diferentes materiales, tales como madera, cascara de coco o nuez, y de esta forma en su superficie retener diferentes compuestos. Asimismo con capacidad de eliminar olores, colores y sabores en el agua. Se debe tomar en cuenta la relación del tamaño de sus poros y el tamaño de las partículas que se esperan retener,

básicamente se recomienda que posea un diámetro de entre una y cinco veces la molécula que se desea adsorber. Si se cumple esta condición, la capacidad de un carbón activado puede ser de entre el 20 % y el 50 % de su propio peso. El carbón activado contiene microporos (tamaño inferior a 2 nm) que le brindan capacidad de filtración, capacidad de remover y retener partículas; entre tanto sus macroporos (tamaño > 50nm) son primordiales para retener moléculas de gran tamaño, como colorantes o coloides, y sus mesoporos (tamaño entre 2-50 nm) brindan la función adsortiva.

### **Zeolitas**

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados cristalinos en forma de estructuras atómicas tridimensionales (Figura 3) que poseen una capacidad de intercambio iónico alta y de recuperación de cationes de metales pesados como (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Cr, Mn y Fe; Pb, Cu de 97 %) y filtración de hasta 5 micras. Las zeolitas son aptas para retener hasta un 80 % de sólidos sedimentados antes de necesitar un retrolavado. Además de tener la capacidad para adsorber cationes como metales pesados, de igual forma posibilita el intercambio de iones de sodio por iones de calcio para reducir el contenido de dureza.



**Figura 3** Estructura interna de la zeolita.

## **Arena de sílice**

Este material filtrante por sus características es insoluble al agua y de configuración porosa, se encuentra formado de oxígeno y por supuesto sílice. Su composición química está conformada por dos átomos de oxígeno y uno de sílice. Su tamaño va de 0,20 mm a 3,0 mm. Es utilizado habitualmente por las plantas de tratamiento de aguas y es capaz de neutralizar el pH del agua, además de adsorber elementos con alta acidez.

## **Antracita**




Es un carbón mineral, de color negro con gran dureza, que por lo general presenta hasta un 95% de carbono, es uno de los materiales para filtración más utilizados para clarificación del agua en usos potable o industrial. En el caso de los filtros multimedia o de lecho profundo, este material es utilizado por su densidad media y por la particular forma de sus granos que permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido, además de proporcionar mejora en la reducción de la turbiedad del agua. Su tamaño va de 0,60 a los 62,00 milímetros.

## **2.5 Filtros portátiles**

Los filtros portátiles por su tamaño resultan ser una opción práctica y funcional para sus consumidores. Sin embargo, la mayoría de estos no eliminan eficazmente los virus, lo que hace precisa la desinfección con hipoclorito de sodio, permanganato, ozonificación, o algún otro método de eliminación de microorganismos. Por otra parte generalmente se distribuyen a precios altos de \$350 a \$ 500 pesos, y por tanto no son accesibles ni económicos y mucho menos en casos de emergencia. Los filtros más usuales son los de cerámica, los de membrana y los de carbón.

A continuación se describirán filtros portátiles más reconocidos a nivel mundial, que por sus características innovadoras y alta tecnología han recibido gran cantidad de reconocimientos en diferentes categorías y en diferentes países. Estos filtros pertenecen a la marca LifeStraw y Lifesaver, (Tabla 4).

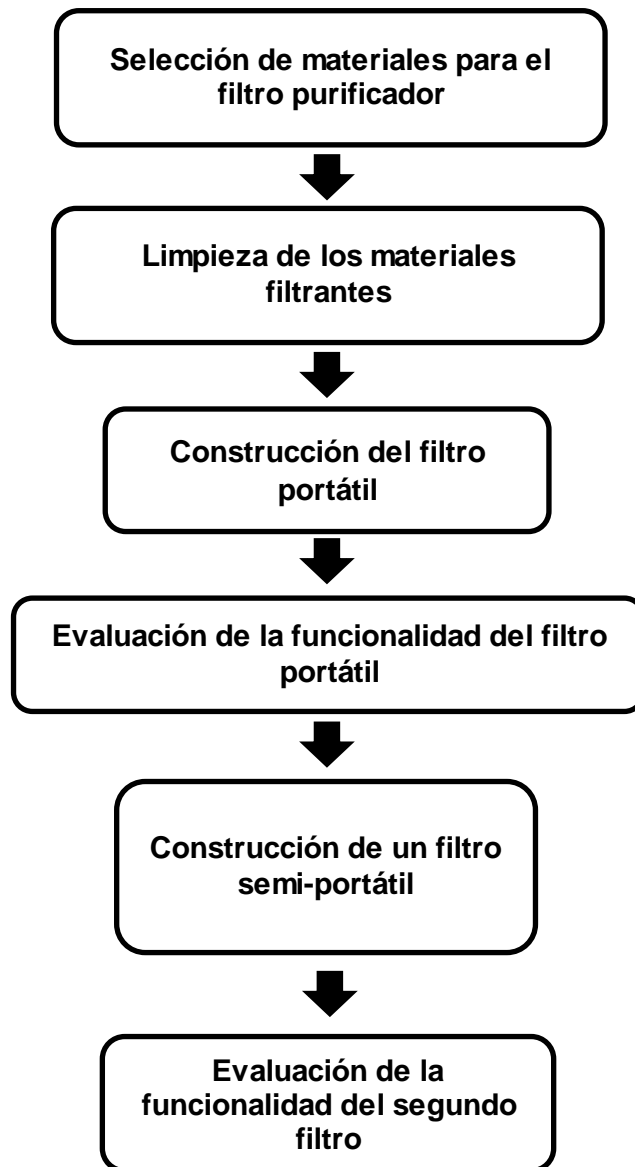
**Tabla 4** Ejemplos de filtros portátiles

Nombre del producto	Características	Componentes
<p>Purificador de Agua Microbiológico Instantáneo LifeStraw</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistema de tratamiento de agua en el punto de uso diariamente</li> <li>-Dirigido a personas de bajos recursos</li> <li>-Filtra hasta 18,000 litros de agua.</li> <li>-Elimina un mínimo de 99.9999% de bacterias.</li> <li>-Elimina la turbidez</li> <li>-Posee un prefiltro y un cartucho de purificación fáciles de limpiar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Balde de alimentación de agua con prefiltro</li> <li>-Cámara de halógenos que libera bajos niveles de cloro</li> <li>-Manguera de plástico</li> <li>-Cartucho de membrana de ultrafiltración.</li> </ul>
<p>Filtro de Agua Portátil LifeStraw</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Filtra al menos 1000L de agua contaminada</li> <li>-Elimina un mínimo de 99,99 de bacterias y parásitos protozoarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prefiltro</li> <li>-Filtro de poliestér.</li> <li>-Carbón activado.</li> <li>-Impregnación con iodo.</li> </ul>
<p>Purificador de agua portátil Lifesaver bottle</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Filtra el agua hasta 0.015micras/15 nanómetros.</li> <li>-Sólo tiene que rellenar con agua o bomba de la botella y se puede beber agua limpia.</li> <li>-Duración de 2 ½ años</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Posee 1 filtro de carbón activado.</li> <li>-1 tapa del cartucho de protección</li> <li>-3 juntas tóricas y 1 junta de la bomba</li> </ul>

## CAPÍTULO III.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se elaboró la estructura de un filtro purificador de agua mediante el uso de materiales económicos y fáciles de conseguir. El proceso de seguimiento del trabajo realizado se detalla en la figura siguiente (Figura 4):



**Figura 4** Diagrama del trabajo realizado.

### 3.1 Construcción del filtro

Para la estructura del filtro portátil se utilizaron tubos de plástico de grado alimentario (polietileno de alta densidad) de 4 cm de altura y un diámetro de 2.5 cm con un volumen total de 19.6 ml (Figura 5), que fueron rellenos con materiales filtrantes para formar una columna. Cada una de las estructuras contaba con 6 orificios pequeños, para permitir el paso del agua a través de ellos por presión positiva o negativa.



**Figura 5** Tubo de plástico con orificios

#### 3.1.1 Materiales filtrantes

##### 3.1.1.1 Arena de sílice

La arena de sílice fue adquirida en un comercio convencional de venta de insumos para filtración (Figura 6). El tamaño seleccionado fue de 200 mesh, equivalente a 0,075mm con una densidad  $2 \text{ g/cm}^3$ . La arena seleccionada fue lavada mediante limpieza a través de agitación con agua destilada durante 10 min por tres veces. Este proceso fue realizado para eliminar el polvo que contenía y que podía provocar el bloqueo del sistema filtrante. Una vez lavada, fue secada en cajas Petri limpias en una estufa de secado de flujo laminar a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 6 hrs. Una vez seca la arena se tamizó a través de dos mallas de 140 y de 170 mesh, quedándose con la parte central del tamizado.



Una vez tamizada, lavada y secada, 5 g de material fueron introducidos en envolturas de tela de algodón para contener el material y evitar el flujo de la arena a través del filtro. Posteriormente el material empacado fue introducido en el recipiente plástico correspondiente.



**Figura 6** Arena de Sílice

### **3.1.1.2 Zeolita**

El tamaño seleccionado de la zeolita adquirida fue de 12-30 mesh con una densidad 1 g/cc y de la marca AQUA (Figura 7). Para evitar el bloqueo del flujo de agua por desprendimiento de polvo de este material, fue necesario realizar un lavado con agitación durante 10 min por 5 veces con agua destilada. Posteriormente, la zeolita fue secada en cajas Petri esterilizadas en una estufa de flujo laminar a 50 °C durante 6 horas. Por último 6 g de este material fueron introducidos en el recipiente de plástico correspondiente.



**Figura 7** Zeolita

### 3.1.1.3 Carbón activado

El carbón activado fue adquirido en el mismo comercio de venta de insumos para filtración al igual que los demás materiales filtrantes (Figura 8). El tamaño elegido fue de 1.2 - 2.5 mm con una densidad de 0.45 g/cc y de la marca hidronix. El carbón fue sometido a un lavado a través de agitación durante 10 min por 8 veces con agua destilada, y así desprender polvo y eliminar el exceso del particular color obscuro que lo caracteriza. El carbón fue secado en cajas Petri estériles en una estufa de secado de flujo laminar a 50 °C durante 6 horas. Después del secado, el carbón se tamizó a través de dos mallas de 70 y 50 mesh quedándose con la parte central del tamizado. Posteriormente 12 g de material fue introducido en dos de los tubos conectores (6 g cada tubo) para formar parte de la columna filtrante.



**Figura 8** Carbón activado

### 3.1.1.4 Tela geotextil

La tela geotextil (Figura 9) fue adquirida con la finalidad de utilizarse como barrera para retener partículas de las soluciones problema y propias de los materiales filtrantes, por lo que se colocó en dos de los tubos conectores. La tela geotextil es comúnmente fabricada ya sea con poliéster o con polipropileno, tiene excelente resistencia y propiedades de deslizamiento. Se fabrican con fibras cortas (generalmente de 1 a 4 pulgadas de longitud) o con filamentos continuos

distribuidos al azar en capas sobre una banda en movimiento para formar una especie de panal, el cual pasa por un telar de agujas o máquina para entrelazar las fibras.



**Figura 9** Tela geotextil

#### **3.1.1.5 Antracita**

La antracita al igual que los demás materiales filtrantes fue adquirida en el mismo comercio de venta de insumos para filtración, con tamaño elegido de 2 a 2,3 milímetros con una densidad de  $1.6 \text{ g/cm}^3$  (Figura 10). Este material, fue lavado a través de agitación con agua destilada durante 10 min por tres veces, y así lograr eliminar, partículas de polvo o suciedad que pudiera tener. Una vez realizado el lavado el material fue secado en cajas Petri limpias en una estufa de secado de flujo laminar a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 6 hrs.



**Figura 10** Antracita

### 3.1.2 Estructura del filtro portátil

Una vez procesados todos los materiales filtrantes y empacados en los respectivos cartuchos, cada uno de los tubos plásticos fueron unidos a través de silicón transparente marca sista. La configuración seleccionada fue como a continuación se describe:

- **Primer módulo:** Para el primer módulo del sistema de filtración, se colocó una capa de algodón común, como barrera para retener partículas de tamaño mayor como basuras o residuos propios del agua contaminada y principalmente para obtener un flujo mayor.
- **Segundo módulo:** Para la segunda etapa de filtración se decidió utilizar arena de sílice equivalente a 170 mesh. Esto fue realizado así debido a que por ser la primera capa retiene la mayoría de los sólidos suspendidos, además de que la arena no se encontraba compactada en el tubo contenedor, por lo que dejaría pasar sin gran presión la mayoría del agua a través del filtro, eliminando iones y metales en la muestra filtrada. Por otra parte el hecho de que se haya seleccionado este material como primer medio filtrante, también obedece a que la arena de sílice podría haber migrado del segundo módulo al tercero, etc., lo que podría ocasionar un riesgo a la salud.
- **Tercer módulo:** Como tercera etapa de filtración se dispuso a utilizar la zeolita, por su tamaño más grueso que la arena y capacidad para retener fosfatos, sulfatos y la eliminación de metales pesados como el arsénico, plomo, níquel y cobre. Además de que esta requiere una menor cantidad de producto con respecto a la arena sílice debido a su porosidad y densidad, permitiendo el intercambio catiónico en el segundo módulo del filtro.
- **Cuarto módulo:** La antracita es uno de los materiales para filtración más utilizados comúnmente como etapa de prefiltración, gracias a su densidad relativamente media ( $1.6 \text{ g/cm}^3$ ), ya que las capas medias casi no captan

sólidos, pero se encuentran ahí para soportar la capa de arena y generar un gran número de huecos para que realmente se presente un vacío y se manifieste el flujo ascendente del agua por acción de la succión hasta llegar al último módulo.

- **Quinto módulo:** El módulo de carbón activado afinará la acción de las capas anteriores. Además de que posteriormente se encuentran dos tubos cubiertos con tela geotextil, con la función de retener alguna partícula antes de que salga el agua y sea digerida.

La estructura final del filtro se puede observar en el esquema de la siguiente figura (Figura 11).

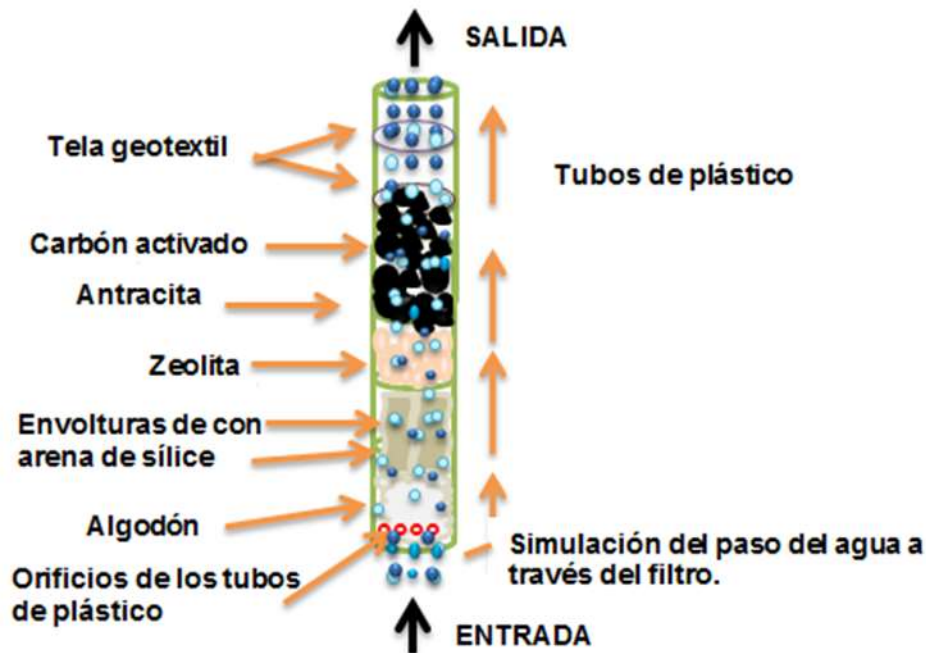


Figura 11 Estructura interna del filtro portátil

### 3.1.3 Terminado del Filtro portátil

Debido a la fragilidad de los tubos conectores de plástico, fue necesario colocar un soporte para mejorar la seguridad y funcionamiento de la estructura. El soporte se conforma de un tubo de PVC forrado a base de papel, con un diseño

alusivo a la historia del famoso pocito de Nacaquinia de la Ciudad de Misantla (Figura 12) además del escudo del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.



**Figura 12** Presentación final del filtro portátil de agua

### **3.1.4 Construcción del filtro semi-portátil**

Con la finalidad de mejorar los resultados y establecer un mejor proceso de filtración, en una segunda etapa del proyecto se decidió construir un filtro semi-portátil que permitiera contener mayor cantidad de sustratos filtrantes y por tanto tuviera mayor capacidad de filtración, ya que debido a la estructura del primer filtro, no se podía incluir mucho material filtrante. Para su estructura fueron

utilizados los mismos materiales filtrantes que el primer filtro (algodón, arena de sílice, zeolita, antracita, carbón activado y tela geotextil), sin embargo a diferencia del anterior fue construido con conexiones plásticas (PVC de 1 in, de 8 cm de altura, unidos a adaptadores y a codos de 90° unidos en serie) además de agregársele arena impregnada con quitosano, debido a que este elemento podría mejorar las condiciones de inocuidad y calidad del filtro gracias a que tiene la capacidad de quelar metales, inactivar microorganismos y precipitar moléculas orgánicas.

La disposición que se usó para la construcción de este filtro fue de acuerdo al mismo sistema modular para darle mayor facilidad de movimiento y sustitución de alguno de los materiales incluidos (Figura 14). El filtro terminado se muestra en la figura siguiente (Figura 13). La disposición y orientación del sistema quedo como se muestra a continuación:



**Figura 13** Filtro semi-portátil terminado

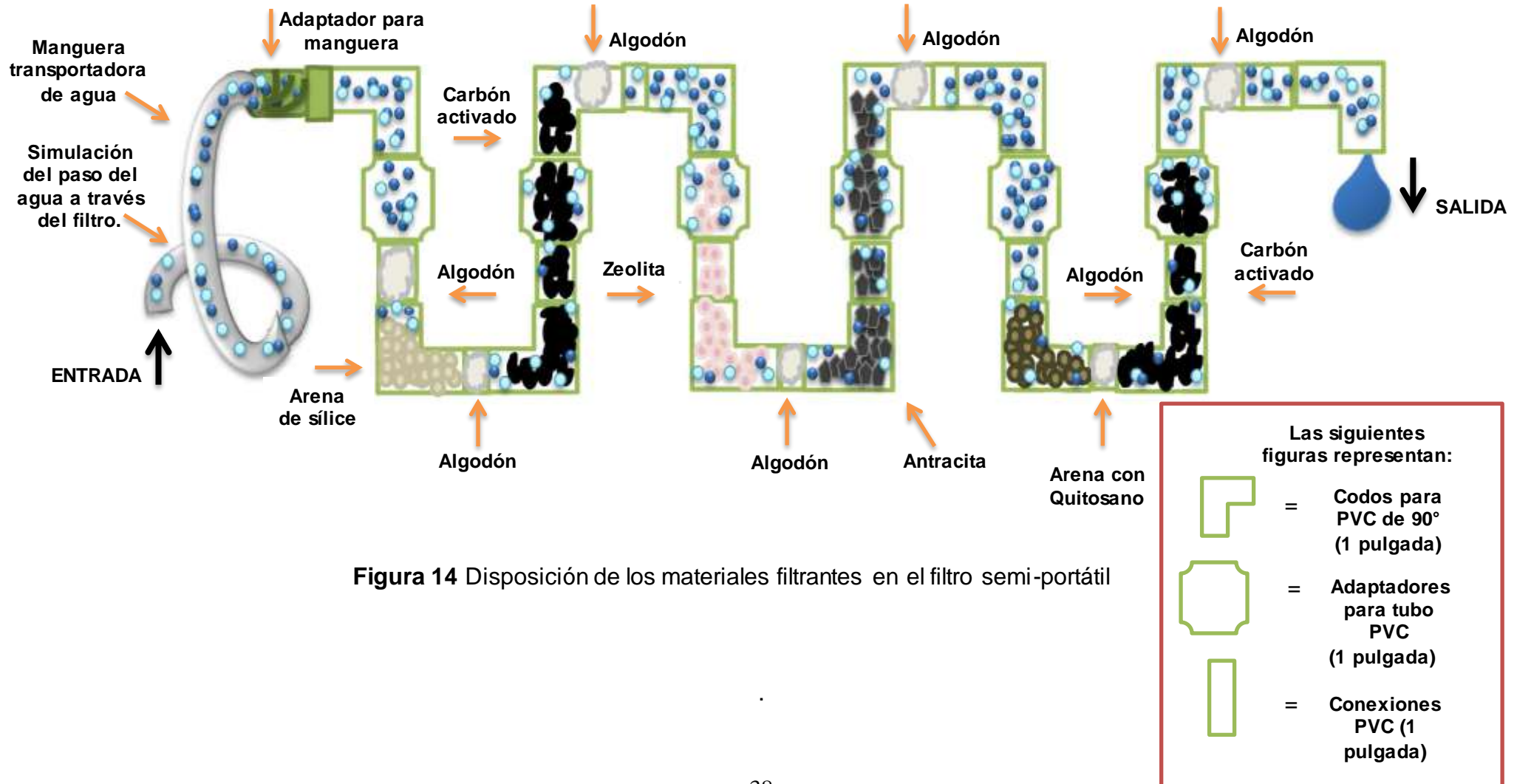


Figura 14 Disposición de los materiales filtrantes en el filtro semi-portátil



A continuación se describirá el orden de los materiales y módulos propuestos en el filtro semi-portátil, estos están distribuidos a lo largo de la estructura del filtro. La estructura semi-portátil cuenta con un adaptador para manguera plástica de 1 pulgada, para facilitar el paso del agua a través del filtro mediante una manguera que pueda ser conectada a una llave de agua común. A continuación se describirá el orden en que los materiales están colocados en el interior del filtro:

- **Primer módulo:** Para suministrar al filtro un mayor flujo de agua, además de actuar como barrera de retención en partículas de gran tamaño y de división de materiales se dispuso a colocar porciones de algodón. Además también se colocó entre cada material utilizado, y al final de todas las capas de material, para evitar migraciones innecesarias de los sustratos filtrantes.
- **Segundo módulo:** En la etapa siguiente se utilizaron 40 gramos de arena sílice equivalente a 170 mesh, para evitar la posible fuga de partículas de la arena si esta hubiese sido ubicada más cerca de la salida del filtro.
- **Tercer módulo:** Para una mejor calidad en el agua filtrada, se dispuso colocar 50 gramos de carbón activado, esto para optimizar el filtrado gracias a sus características adsorbentes.
- **Cuarto módulo:** En este módulo se colocó la zeolita, para actuar como intercambiador iónico, y funcionar como soporte medio junto con el carbón activado y la etapa siguiente que corresponde a la antracita.
- **Quinto módulo:** Se compone de 50 gramos de antracita, que gracias a su densidad media, podría brindar un módulo de filtración muy efectivo.
- **Sexto módulo:** Para el sexto módulo se situaron 40 gramos de arena impregnada con quitosano, para afinar la filtración y obedeciendo a que la arena puede colarse a través de los materiales, se optó por colocar después de ésta, una porción de carbón activado y posteriormente de algodón como etapa final, logrando así que la arena no se filtrara a la salida del agua.

### 3.2 Costo estimado de los filtros

A continuación se muestra el costo de la construcción de los filtros portátil y semi-portátil, así como de cada uno de los materiales empleados que fueron adquiridos en una tienda convencional en la Ciudad de Puebla, Puebla.

**Tabla 5** Presupuesto del filtro portátil

<b>Presupuesto de costo filtro portátil</b>			
Descripción	Cantidad	Costo \$	Costo total \$
Arena de sílice	¼ de kg	12.50	12.50
Zeolita	¼ de kg	10	10
Carbón activado	¼ de kg	12.50	12.50
Antracita	¼ de kg	10	10
Tela geotextil	½ metro	24.50	24.50
Tubos de plástico	7	3	21
		<b>Total</b>	<b>\$90.50</b>

**Tabla 6** Presupuesto del filtro semi-portátil

<b>Presupuesto de costo filtro semi-portátil</b>			
Descripción	Cantidad	Costo \$	Costo total \$
Arena de sílice	¼ de kg	12.50	12.50
Zeolita	¼ de kg	10	10
Carbón activado	¼ de kg	12.50	12.50
Antracita	¼ de kg	10	10
Algodón	1 bolsa	8	8
Tubo PVC (1 in) p/ conexiones	½ tramo	20	20
Codos de 90° para PVC	13	3	39
Conectores para PVC	6	3	18
Conector PVC de rosca para manguera	1	4	4
Conector de PVC para manguera	1	4	4
		<b>Total</b>	<b>\$138</b>

### **3.3 Evaluación de los sistemas de filtración**

Para realizar los análisis del funcionamiento de los sistemas de filtración propuestos, fue necesario realizar toma de muestras en diferentes puntos de la ciudad, con aguas de diferentes calidades.

#### **3.3.1 Toma de muestras**

Las muestras de agua fueron recolectadas en espacios libres de la ciudad de Misantla, Veracruz para evaluar la capacidad de filtración de los prototipos construidos, estas fueron colectadas como se menciona a continuación:

**Agua potable:** Para esta muestra, se tomaron 20 litros de agua de la red pública que abastece al Instituto Tecnológico de Misantla.

**Agua del río Misantla:** La muestra de agua fue tomada en la corriente del río Misantla, a la altura del “puente palchán” ubicado en el boulevard Alfonso Arroyo Flores de la Ciudad de Misantla. Se tomaron 40 litros de agua los cuales fueron depositados en un recipiente de plástico con tapa para su manejo posterior.

**Agua del río Misantla enturbada:** Para esta muestra, se utilizaron 20 litros de la muestra anterior a los que se le adicionaron 50 g de tierra común para enturbiar la muestra y evaluar los sistemas propuestos.

Se realizaron algunos análisis fisicoquímicos y microbiológicos con la finalidad de evaluar la disminución de las partículas dispersas en las muestras propuestas.

### **3.3.2 Determinación de pH**

Este método determina el pH, midiendo el potencial generado (en mili volts) por un electrodo de vidrio. Una vez calibrado el aparato (Potenciometro Hanna S40, México, DF) con soluciones de buffer 4.0 y 7.0, se procedió a la medición de la muestra.

### **3.3.3 Prueba de Coliformes Totales**

Para esta prueba se hicieron diluciones seriadas de acuerdo a la técnica de número más probable y se utilizó medio de cultivo sólido agar bilis rojo violeta (ABRV). De cada muestra resultante (antes y después de la filtración) se tomó 1 ml de agua y se diluyo en 99 ml de solución fisiológica de NaCl (0.09 %), 0.1 % de peptona. Este procedimiento se hizo hasta una dilución de  $1 \times 10^{-6}$  para evaluar la presencia de coliformes. Una vez inoculadas las muestras (1 ml) se les agregaron 10 ml agar temperado en condiciones estériles y se revolvió con movimientos uniformes y simétricos de izquierda a derecha, arriba abajo y viceversa. Posteriormente se analizaron para ver el crecimiento en la superficie e interior de la caja.

### **3.3.4 Pruebas sensoriales**

Los análisis sensoriales son aptos para determinar la calidad en el agua. A continuación se describen los análisis que se realizaron para la evaluación del olor, sabor y color en el agua en los dos filtros; que por razones de seguridad e higiene solo se hicieron con las muestras de agua potable y del rio Misantla, ya que la muestra enturbada podría haber sido un riesgo de salud muy alto.

### **3.3.4.1 Olor**

Una muestra de agua se diluye con agua libre de olor hasta obtener una dilución que tenga lo que se define como un olor mínimo perceptible. Las muestras son analizadas generalmente en orden decreciente de concentración del odorante, aunque no en una secuencia consecutiva de diluciones, hasta que el olor ya no es percibido. Para esta prueba se analizaron directamente las muestras antes y después de la filtración y se les clasificó como: a) sin olor, b) muy poco olor desagradable, c) poco olor desagradable, d) olor desagradable y e) olor muy desagradable. El olor se mide sin tener en cuenta la materia suspendida o materiales inmiscibles en la muestra. Se toma como un hecho el que no existe un valor absoluto de olor y que la prueba se usa como comparación únicamente. (NMX-AA-004-SCFI-2000)

### **3.3.4.2 Sabor**

Existen cuatro sensaciones de sabor: agrio, dulce, salado y amargo. Y el principal método al igual que el del olor es a través del método de las diluciones, en donde se requieren de varias personas, llamado comúnmente panel de catadores y así lograr resultados aceptables en el agua. Para este experimento fue muy difícil contar con un panel de catadores debido a la naturaleza del experimento, sin embargo esta determinación cualitativa se realizó por duplicado sin ingerir el líquido y solo en las muestras no enturbiadas. Los rangos para determinar el sabor en las muestras antes y después de filtrarse fueron los siguientes; 1) Insípida 2) Muy poco sabor desagradable 3) Poco sabor desagradable 4) Sabor desagradable 4) Sabor muy desagradable.

### **3.3.4.3 Color**

Para evaluar el color de las muestras colectadas antes y después de la filtración, fue necesario establecer las características de coloración utilizadas. Se asignaron números correspondientes al incremento de color o turbidez para los dos filtros: 1) Clara 2) Ligera turbidez, 3) Media turbidez, 4) Turbidez alta. Esta evaluación se hizo de manera visual, por lo que cada uno de los niveles fueron evaluados por un panel de catadores que describieron estos parámetros.

### **3.3.5 Espectrofotometría de absorción**

Los métodos espectroscópicos se basan en la capacidad de las sustancias de absorber (o emitir) radiación electromagnética. El espectrofotómetro es un instrumento que revela la cantidad de luz transmitida o absorbida a través de la solución en la celda y la compara con la que se transmite o absorbe por medio de una solución de referencia llamada "blanco", esta lectura en la escala ya está transformada en absorbancia. Para realizar este análisis se dispuso a utilizar un espectrofotómetro (marca THERMO SCIENTIFIC GENESYS 10S UV-VIS) para medir la absorbancia mediante barrido de 400 a 700 nm. A pesar de que no es un método válido sobre la calidad del agua este análisis se realizó para comparar todas las regiones en el espectro visible sus absorbancias y sus diferencias con respecto al uso del filtro semi-portátil propuesto.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar los análisis de evaluación en los sistemas de filtración portátil y semi-portátil diseñados, se utilizaron 3 muestras de agua para cada uno, que se hicieron pasar a través de ellos. La primera muestra fue recolectada en la red pública de agua potable que abastece las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, la segunda muestra fue recogida en el efluente del río Misantla, a la altura del conocido “puente palchán” de la ciudad y como tercer y última muestra se tomó del mismo modo agua del río Misantla, que a diferencia, fue enturbiada con tierra común. Estas muestras pueden observarse en la siguiente figura (Figura 15):



**Figura 15** Muestras de agua (de izquierda a derecha) potable, del río Misantla, y del río Misantla enturbiada.

Las muestras seleccionadas que recorrieron el filtro portátil se utilizaron para la determinación de la absorbancia, y posteriormente para la determinación de Coliformes totales, asimismo para efectuar la evaluación del filtro semi-portátil

se realizó un análisis de barrido espectral para así obtener resultados que expliquen su funcionalidad.

Para realizar estas pruebas fue necesario tomar una muestra antes y una después del paso a través de los filtros, con el fin de evaluar la eliminación de las impurezas que pudiera contener el filtro construido, así como realizar una evaluación de la carga microbiana de las muestras. Con la finalidad de evitar un riesgo a la salud con la utilización del filtro portátil por succión y para realizar las pruebas de absorbancia y coliformes, se utilizó de manera inversa, para lo cual se le adaptó una botella de plástico de 2.5 L, la cual se fue llenada con el agua de cada una de las muestras (Figura 16).



**Figura 16** Muestras de agua pasando por el filtro portátil.

A pesar de que existía una clara diferencia entre la turbidez de las muestras (agua potable y al agua del río misantla vs agua enturbiada) y que por ello podría presumirse que al menos las dos primeras estaban limpias para beber, es esencial



entender que cada uno de los elementos del filtro utilizado tienen la función de retener y eliminar ciertas partículas disueltas y el solo hecho de pasar estas muestras por los filtros, mejora la calidad del agua para ser utilizada como agua bebible en una condición de emergencia, siguiendo las recomendaciones finales del uso del filtro. En este experimento se enturbio el agua del rio misantla para exagerar las condiciones de contaminación de este tipo de agua, que en condiciones de emergencia luce parecida.

En el caso de la filtración con el filtro portátil se pudo observar que en general la utilización del filtro no enturbio o agregó ningún soluto a las aguas filtradas (agua potable y del rio misantla) por lo que se observó incolora y cristalina, y en este mismo sentido si disminuyó la turbidez y mejoró el aspecto del agua enturbiada, lo que significa que sin bien el filtro no estaba funcionando de manera óptima si cumplía su función. Sin embargo y a pesar de este resultado, el agua utilizada en este primer experimento aún tenía un aspecto desagradable y turbio, lo que fue atribuido al bajo contenido de los sustratos utilizados, por lo que esto fue el motivo de la construcción de un segundo filtro.

Para verificar la funcionalidad del filtro semi-portátil y realizar el análisis espectrofotométrico, también se hicieron pasar las muestras por el filtro semi-portátil. En el caso del agua proveniente de la red de suministro del ITS Misantla se tomó una muestra directa de la llave y posteriormente se conectó el filtro a la llave de agua lo que facilitó el paso del agua a través del sistema (Figura 17).



**Figura 17** Paso del agua potable a través del filtro por medio de la red de abastecimiento del ITSM

Cabe mencionar que esta conexión hizo de alguna manera más cómodo el manejo del filtro, sin embargo el flujo de salida fue muy limitado y parecido a un sistema estático que funciona por gravedad, que en caso de emergencias, son los más adecuados. De la misma manera, que en el caso del filtro portátil el paso del agua potable a través del sistema de filtración propuesto no impregnó con sustancias extrañas o disueltas al líquido filtrado, por lo que se observó incolora y cristalina.

Por otra parte, para las dos otras muestras (Agua del río Misantla y agua enturbada) se utilizó un embudo en una posición elevada (1.3 m) conectado a la manguera de paso del filtro semi-portátil para facilitar que el agua recorriera dicho sistema por medio de presión, como se muestra en la siguiente figura (Figura 18):



**Figura 18** Se observa el embudo conectado a la manguera de paso del filtro semi-portátil, para facilitar el paso del agua de las muestras del Río Misantla

Aunque no hubo una medición exacta del tiempo de filtración, podemos mencionar que se necesitaron 10 min para filtrar una cantidad aproximada de 350 ml (un vaso de agua), por lo que el tiempo se consideró bueno. En este mismo sentido, algunos de los sistemas más “económicos” funcionan bajo este mismo principio, ya que los que funcionan a base de bombeo, requieren más tecnología y por tanto elevan su precio.

A pesar de que entre cada muestra, se hizo pasar por los filtros 2 litros de agua de garrafón, para evitar el incremento de la contaminación entre muestras se corrieron en el orden siguiente: 1) Agua potable; 2) Agua río Misantla y 3) Agua río Misantla enturbada. De cada una se recolectaron aproximadamente 500ml de filtrado. En la primera muestra del filtro portátil no se observó visualmente ningún cambio en absorbancia, lo que resultó favorable, ya que los materiales utilizados no impregnaron ningún tipo de soluto en el agua filtrada. Pudo observarse que en la segunda muestra la absorbancia medida disminuyó 0.012 unidades, la cual se le atribuyó al sistema de filtración propuesto que disminuyó de 0.026 a 0.014

unidades. Esto es importante debido a que si hubo una disminución de la absorbancia. Por otra parte, en la última muestra a analizar (Agua río Misantla enturbiada), se observó una ligera disminución en el color después de pasar la muestra por el filtro registrando una disminución de la absorbancia de 0.285 a 0.171 unidades, equivalente a 0.114 unidades disminuidas, lo cual, si bien no se observaron los mismos datos obtenidos con el agua potable o con el agua del río sin enturbiar, pero si hubo una ligera disminución de la absorbancia e incluso el agua se visualizaba más clara. A pesar de que no se consiguieron los resultados más adecuados, puede inferirse que el sistema de purificación si se encuentra eliminando las impurezas y para mejorar la capacidad del filtro portátil se construyó el filtro semi-portátil que representa un modelo más robusto y con mayor capacidad de filtración que mejoró notablemente los resultados.

Para realizar al análisis espectral de barrido en el filtro semi-portátil, se pasaron las muestras de agua por el filtro semi-portátil en el mismo orden recolectando aproximadamente 500 ml de cada muestra, con lo que posteriormente se llenaron los tubos de ensaye para realizar las observaciones pertinentes de color, olor y sabor, además de identificar las intensidades de turbidez mediante el análisis de barrido.

La muestra número 1 no presentó visiblemente un cambio en la coloración, olor, ni sabor después de recorrer el filtro, lo que representó un óptimo resultado, ya que las propiedades del filtro no alteraron la composición original del agua analizada permaneciendo en 0.002 de absorbancia. En la muestra número 2, pudo observarse una disminución de 0.003 unidades de absorbancia a 400 nm, reduciendo la absorbancia de 0.004 a 0.001 unidades, por lo que se considera que no existió cambio en la absorbancia. En la muestra número 3 (agua de río Misantla enturbiada) se registró una notoria disminución en la absorbancia, además de que visiblemente se observó un cambio drástico de color; ya que inicialmente la muestra tenía un color café oscuro opaco que, al pasar por el filtro se convirtió en un color translúcido, obteniendo una disminución de 2.483 unidades de absorbancia, disminuyendo de 2.611 a 0.128 unidades; lo que resultó beneficioso para avalar la funcionalidad del filtro construido, además de indicar que, en

comparación con el filtro portátil creado anteriormente, este filtro funcionó con un mejor desempeño. En la siguiente tabla (Tabla 7) se enlistan los resultados de la absorbancia en las muestras antes y después de recorrer los filtros:

**Tabla 7** Absorbancia en las muestras antes y después de pasar por los filtros. Se observa la disminución en la absorbancia después de que el agua contaminada recorrió los filtros.

	<b>Muestra</b>	<b>Absorbancia Inicial</b>	<b>Absorbancia Final</b>
Filtro Portátil	Agua potable	0.0002	0.0001
	Agua Rio Misantla	0.026	0.014
	Agua Rio Misantla enturbada	0.285	0.171
Filtro Semi-portátil	Agua potable	0.002	0.002
	Agua Rio Misantla	0.004	0.001
	Agua Rio Misantla enturbada	2.611	0.128

Cuando se realizó la determinación de coliformes totales en las muestras seleccionadas se pudo observar de manera general una disminución de la carga microbiana en las muestras después de haberlas pasado por el filtro. Inicialmente este análisis se hizo con las muestras del filtro portátil. Para el caso del agua potable del ITSM, se observó nulo crecimiento en las cajas de las muestras antes y después de haberlas pasado a través del filtro, sin embargo esto no quiere decir que no haya habido presencia de algunos microorganismos, ya que el medio que se utilizó es específico para especies patógenas y entéricas. En este mismo sentido también quiere decir que el filtro por sí mismo no agrega una carga microbiana extra al agua filtrada. Por otra parte, cuando se hizo pasar la muestra

del agua del río Misantla se mostraron muchas colonias blanquecinas, redondas y umbilicadas en las muestras, sin embargo pudo verse una disminución sensible de más de diez veces la población microbiana determinada cuando se pasó por el filtro. En este mismo sentido cuando se hizo correr el agua enturbiada través del filtro, se observó el mismo efecto que en el caso anterior con una carga ligeramente mayor, sin embargo esto podría ser efecto de que la muestra anterior pudo haberse contaminado con la última muestra analizada, a pesar de haber hecho pasar 2 L de agua de garrafón entre muestra y muestra. Estos resultados demuestran que el filtro está cumpliendo la función de disminuir la mayoría de las impurezas presentes en las muestras analizadas. El hecho de que se hayan visto resultados positivos en el análisis de coliformes en las muestras provenientes del río Misantla, quiere decir que el mismo se encuentra contaminado con aguas residuales, lo que la hace un riesgo para la salud en caso de consumo.

La mayoría de los filtros, que se diferencian de acuerdo a sus materiales; filtros de arenas, arcillas, carbón, grava o mixtos, según sus velocidad de filtración; filtros lentos y rápidos, según sus carga sobre el lecho filtrante; filtros por bombeo o gravedad; cuentan con sistemas adicionales de liberación de sustancias químicas que eliminan la carga microbiana como el cloro, dióxido de cloro, permanganato de potasio, isocianatos de cloro, hipoclorito, ozono, radiación UV, fenoles, aminas, plata ionizada etc.

Por tanto, es necesario proponer para el correcto funcionamiento de este sistema la adicción de algún compuesto que sea eficiente para eliminar la carga microbiana presente, de manera segura para uso humano y mejorar el funcionamiento del filtro. Una de las premisas principales a las que se les podría atribuir la falta de la eliminación de la carga microbiana total es que la cantidad utilizada de soportes aparentemente fue insuficiente en esta etapa de filtración, sin embargo ninguno de los soportes o materiales utilizados estaba destinado para este fin, esto fue debido a que en una etapa inicial se habían adquirido membranas de filtración de 0.23  $\mu\text{m}$ , sin embargo el uso de este tipo de membranas hacía virtualmente imposible succionar o hacer pasar el agua a través del filtro, incluso cuando se le conectó a la red de agua del ITSM. Una de las

alternativas más viables para mejorar la eliminación de los materiales suspendidos es proponer un proceso previo de sedimentación de las muestras a tratar y posteriormente de pasarlas a través del filtro, agregar 0.5 % de cloro (5000 mg/L) que es equivalente a agregar 1 gota de cloro comercial por cada 2 litros de agua para eliminar los posibles microorganismos patógenos en el agua filtrada, teniendo en cuenta que según la NOM-127- SSA1-1994 el límite permisible para cloro es de 250 mg/L.

Una vez analizados los resultados con el filtro portátil y observado que no se eliminaba la carga microbiana, se tomó la decisión de eliminar este tipo de análisis del sistema semi-portátil, ya que a pesar de que los resultados se mejoraron enormemente en la disminución de los sólidos suspendidos, de la misma manera que el anterior, el sistema no tenía el material necesario para retener a los microorganismos. Por tanto, lo que se recomienda para eliminar la presencia de cualquier contaminante y flora indeseable, es utilizar el procedimiento ya citado para el primer caso.

### **Presencia de olores indeseables**

Después de pasar las muestras por el filtro portátil, se realizó una prueba básica para identificar el olor en cada una de ellas, las cuales se realizaron diluyendo con agua libre de olor (garrafón bonafón) del agua a analizar, hasta obtener una dilución que tuviera un olor mínimo perceptible. Las pruebas se realizaron en el siguiente orden 1) muestra potable, 2) muestra río Misantla y 3) muestra río Misantla enturbiada (Tabla 8). En la primera muestra no se identificó olor alguno, lo que fue muy lógico del agua corriente (potable) que llega a las viviendas por medio de la tubería, sin embargo cabe mencionar que en época de lluvias, el suministro de agua lleva agua enturbiada de muy baja calidad, con colores y olores indeseables.

En el caso del agua del río Misantla, en donde originalmente se percibió un ligero olor fétido propio del agua contaminada con desechos residuales, se pudo percibir una vez que esta muestra se hizo pasar a través del filtro claramente el olor disminuyó notablemente. Sin embargo este olor solo desapareció hasta

después de realizar tres diluciones ( $1 \times 10^{-3}$ ), cuando se consideró como con ausencia de olor perceptible. Por otra parte en la muestra correspondiente al agua enturbada, se pudo notar que inicialmente presentaba un fuerte olor a residuos orgánicos y tierra, propios de la tierra agregada, sin embargo a pesar de que el filtro portátil no fue capaz de eliminar eficientemente la turbidez de la muestra seleccionada, si se percibió una disminución de los olores indeseables. La disminución del olor en las muestras analizadas pudo ser resultado de la inclusión del carbón activado en el cuarto y quinto módulos, ya que una de las funciones más importantes de este compuesto es deodorizar aire y agua.

**Tabla 8** Determinación de olor en el filtro portátil

Determinación de olor Filtro portátil		Sin olor	Muy poco olor desagradable	Poco olor desagradable	Olor desagradable	Olor muy desagradable
Agua potable	Antes	X				
	Después	X				
Agua río Misantla	Antes			X		
	Después		X			
Agua río Misantla turbia	Antes				X	
	Después			X		

En la determinación de olor en las muestras antes y después de recorrer el filtro semi-portátil y a pesar de que no se siguieron exactamente las normas sanitarias de color, sabor y olor, se planeó gracias a la experiencia realizada en el filtro portátil anterior, un análisis preliminar de estos parámetros con 5 personas no entrenadas para analizar las aguas filtradas de este sistema semi-portátil. En donde, para realizar el análisis de olor en el agua filtrada, se crearon rangos para determinar el olor en las muestras antes y después de recorrer el filtro, que son los siguientes; a) sin olor, b) muy poco olor desagradable, c) poco olor desagradable, d) olor desagradable y e) olor muy desagradable (Tabla 9), con esta escala se obtuvieron los resultados siguientes: en la primera muestra, no se percibió olor alguno en la muestra inicial y final, lo que arrojó un resultado esperado, ya que el



agua proveniente de la red potable, por lo general llega a la red doméstica libre de olores. En la segunda muestra, inicialmente se percibió un olor ligeramente fétido, atribuido a los varios contaminantes que este río arrastra, que al recorrer el filtro portátil disminuyeron notablemente. Sin embargo, el olor fue eliminado totalmente después de realizar dos diluciones ( $1 \times 10^{-2}$ ). En la última muestra, el agua poseía inicialmente un olor desagradable, proveniente de la proporción agregada de tierra para enturbiarla, misma que disminuyó favorablemente después de recorrer el filtro semi-portátil, lo que suma un resultado importante en la evaluación del filtro.

**Tabla 9** Determinación de olor en las muestras antes y después de recorrer el filtro semi-portátil

Determinación de olor Filtro semi-portátil		Sin olor	Muy poco olor desagradable	Poco olor desagradable	Olor desagradable	Olor muy desagradable
Agua potable	Antes	X				
	Después	X				
Agua río Misantla	Antes			X		
	Después	X				
Agua río Misantla Turbia	Antes				X	
	Después		X			

### Apariencia de las muestras (Color)

Para ver la apariencia física de las muestras del filtro portátil fue necesario analizar cualitativamente la coloración o apariencia de las muestras filtradas, para esto fue necesario establecer números correspondientes al incremento de color para los dos filtros: 1) Clara 2) Turbidez ligera, 3) Turbidez media, 4) Turbidez alta para el filtro portátil (Tabla 10).

La primera muestra (agua potable), no presentó cambio de color, conservó visiblemente la apariencia clara y transparente que tenía al inicio. En la segunda prueba (río Misantla) la muestra inicial presentaba un color lúcido pero blanquecino, que sin embargo permitía el paso de la luz, otorgándole el número 2

de la escala establecida, una vez filtrada, esta apariencia se aclaró y disminuyó de manera visible pero no lo suficiente para bajar a la escala número 1. Con la última prueba analizada (río Misantla enturbada), el agua presentaba al inicio un color extremadamente turbio otorgándole el número 4 en la escala, producto de la agitación con 50 g de suelo que después de recorrer el filtro portátil disminuyó satisfactoriamente, presentando un tono más claro que el inicial, quedando en la escala de coloración del número 3.

**Tabla 10** Coloración de las muestras antes y después de recorrer el filtro portátil mediante la escala 1) Clara 2) Turbidez ligera, 3) Turbidez media, 4) Turbidez alta.

Determinación de color filtro portátil		1)Clara	2)Turbidez ligera	3)Turbidez media	4)Turbidez alta
Agua potable	Antes	X			
	Después	X			
Agua río Misantla	Antes			X	
	Después		X		
Agua río Misantla turbia	Antes				X
	Después			X	

Asimismo, se realizaron las mismas pruebas de color para el filtro semi-portátil, en donde en la primera muestra (agua potable) no presentó alteración en el color, ya que permaneció siempre con un color transparente. En la segunda muestra presentó al principio un color ligeramente blanquecino pero con tonalidad clara, que después de pasar por el filtro, logro llegar a la escala de coloración número 1 (clara). Por último se realizó el análisis de coloración para la última muestra “agua rio Misantla enturbada”, en donde inicialmente se tenía una escala de turbidez alta, que al atravesar el filtro, satisfactoriamente logró disminuir a la escala número 1 (clara). En la tabla se puede observar la coloración de las muestra antes y después de recorrer el filtro semi-portátil.

**Tabla 11** Coloración de las muestras antes y después de recorrer el filtro semi-portátil mediante la escala 1) Clara 2) Turbidez ligera, 3) Turbidez media, 4) Turbidez alta.

Determinación de color filtro semi-portátil		1)Clara	2)Turbidez ligera	3)Turbidez media	4)Turbidez alta
Agua potable	Antes	X			
	Después	X			
Agua río Misantla	Antes			X	
	Después	X			
Agua río Misantla turbia	Antes				X
	Después	X			

Evidentemente uno de los propósitos fundamentales de cualquier filtro es retener las partículas coloidales y solubilizadas en una muestra de agua y aparentemente cualquier tipo de filtro debe de incluir esta función. En el caso del filtro propuesto no se pudieron hacer análisis más finos para determinar la calidad química del agua, si se infiere por la construcción del filtro, que muchas partículas nocivas fueron retenidas en los soportes. Por medio de la literatura se conoce que el carbón activado tiene una capacidad de filtración de compuestos volátiles, compuestos formados tras la cloración como cloraminas y trihalometanos, benceno o el tricloroetileno, partículas en suspensión como óxidos o partículas de la tierra, metales pesados como cadmio, hierro y plomo, asimismo tiene la capacidad de retener elementos como el mercurio, cobre, hierro, manganeso y aluminio; además de minerales y sales disueltas. La zeolita por su parte funciona como intercambiador de iones al retener productos nitrogenados, como amoníaco y nitritos, además de eliminar la dureza del agua y actuar como tamiz para moléculas de calcio, sodio y potasio. Por último, la arena de sílice tiene la capacidad de retener sólidos suspendidos, gránulos y sustancias coloidales en el agua, todos estos nocivos para la salud.

## **Sabor del agua filtrada**

Uno de los principales análisis para evaluar la calidad sensorial del agua es el sabor que un sistema de filtración puede imprimir en el agua, que como se sabe es el disolvente universal y es capaz de arrastrar y disolver cualquier partícula, contaminándose de manera inmediata. Por tanto fue esencial “probar” que los filtros por sí mismos no le dieran un sabor desagradable a las muestras filtradas (Tabla 12). Los rangos para determinar el sabor en las muestras fueron los siguientes; 1) Insípida 2) Muy poco sabor desagradable 3) Poco sabor desagradable 4) sabor desagradable 5) Sabor muy desagradable.

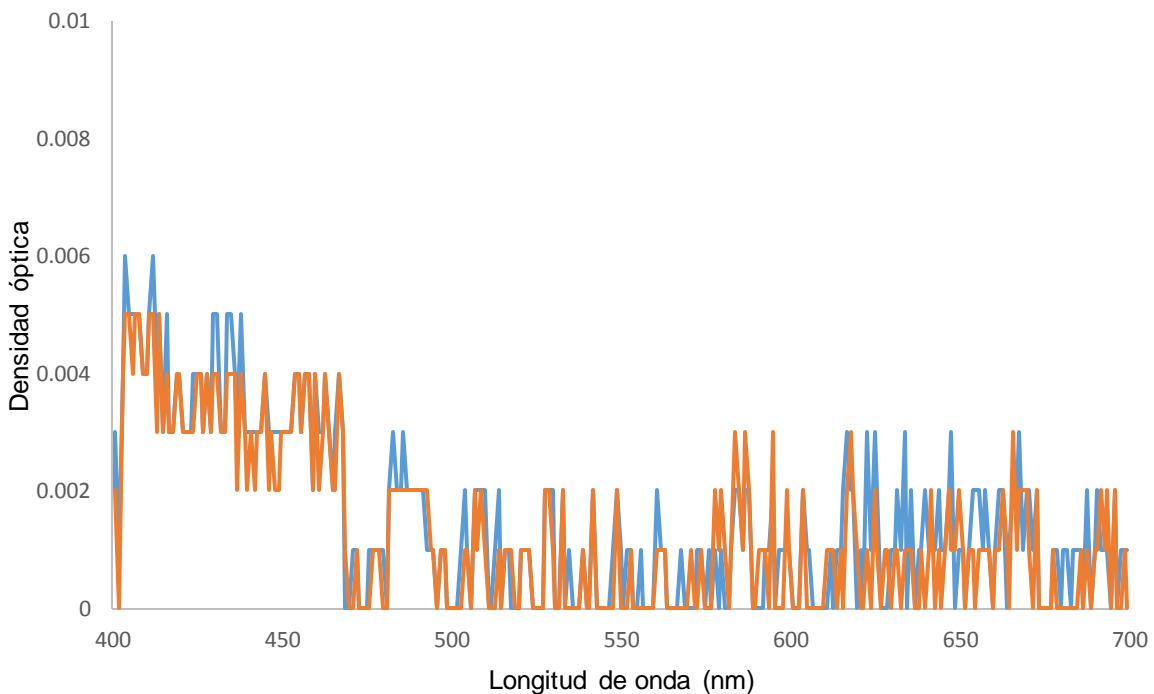
Esencialmente esto no se podía realizar con las muestras provenientes del río, que eran indudablemente un riesgo para la salud. En el caso de la muestra de agua de garrafón que se utilizó, no mostró ningún cambio en el sabor de la muestra en ninguno de los dos filtros, lo que resultó importante, ya que los sustratos filtrantes no aportaron ningún sabor a las muestras. Por otra parte, también se corrió una muestra de agua potable del ITSM en cada uno de los filtros lo cual mostró una mejoría en el sabor, presentando menos sabor metálico y a sal, favorecido por las propiedades de los filtros, ya que redujeron el ligero sabor metálico. Seguramente este sabor fue eliminado gracias a las características adsorbentes del carbón, la zeolita y la arena de sílice.

**Tabla 12** Determinación de sabor en las muestras antes y después de recorrer los filtros

<b>Determinación de sabor Filtro portátil</b>		<b>1) Insípida</b>	<b>2) Muy poco sabor desagradable</b>	<b>3) Poco sabor desagradable</b>	<b>4) Sabor desagradable</b>	<b>5) Sabor muy desagradable</b>
Agua potable Garrafón	Antes	X				
	Después	X				
Agua potable ITSM	Antes			X		
	Después		X			
<b>Determinación de sabor Filtro semi-portátil</b>		<b>1) Insípida</b>	<b>2) Muy poco sabor desagradable</b>	<b>3) Poco sabor desagradable</b>	<b>4) Sabor desagradable</b>	<b>5) Sabor muy desagradable</b>
Agua potable garrafón	Antes	X				
	Después	X				
Agua potable ITSM	Antes		X			
	Después	X				

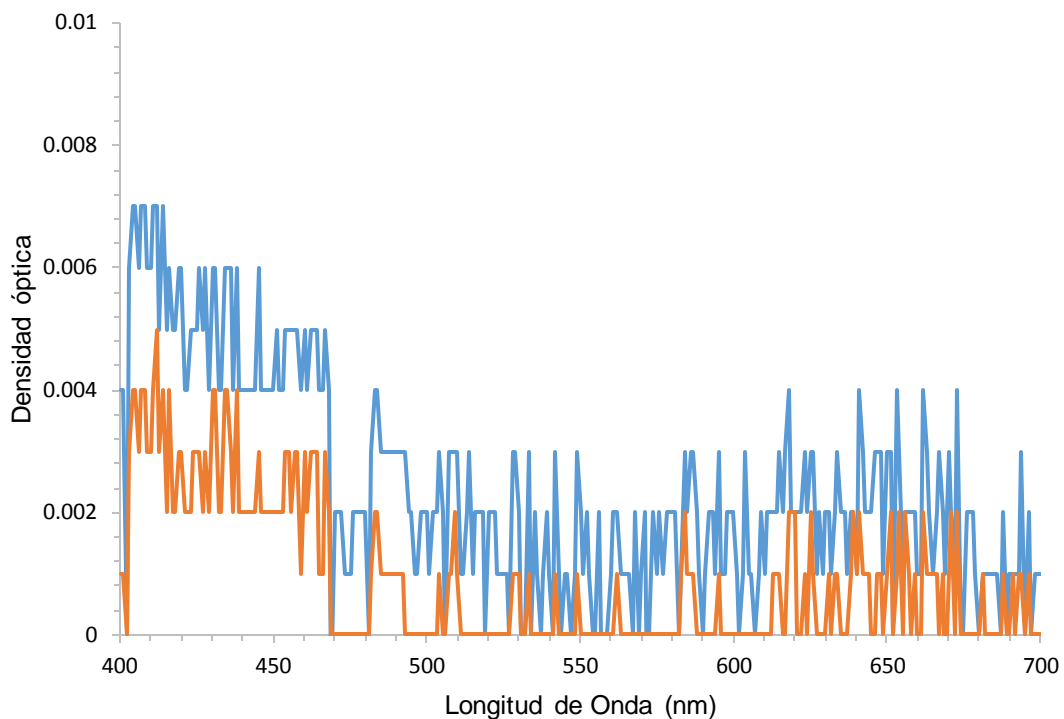
## Barrido espectral

Para evaluar con mayor rigor científico la calidad del agua filtrada con el sistema semi-portátil, que fue con el que se obtuvieron los mejores resultados, se realizó un barrido espectral de 400 a 700 nm. En la figura 19, se presenta la comparación entre la muestra de agua potable inicial y la muestra de agua potable después de atravesar el filtro. Puede observarse en todo el espectro una ligera disminución de la absorbancia de la muestra final con respecto a la muestra inicial. Es fundamental analizar que la disminución en las diferentes longitudes de onda, indica que el filtro construido, no aportan ningún tipo de sólidos suspendidos al agua filtrada con respecto a sus propiedades iniciales.



**Figura 19** Comparación de absorbancia en muestras de agua potable antes y después de recorrer el filtro semi-portátil.

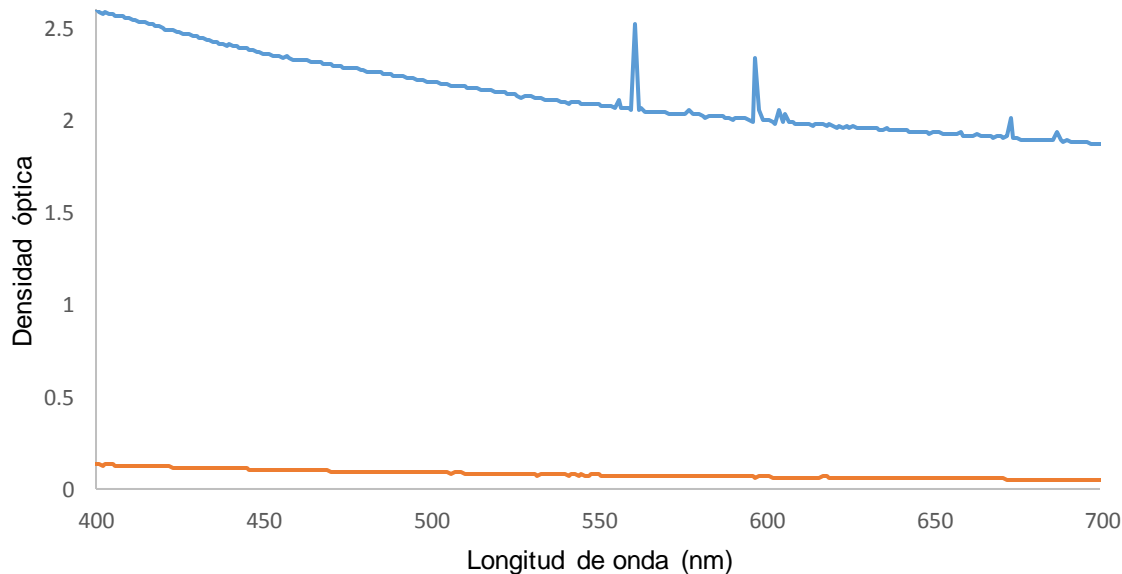
Con respecto a la segunda muestra (Figura 20) pudo ser evidente, que hubo una reducción de la absorbancia en la muestra filtrada (línea naranja), mostrando que los datos obtenidos en la muestra inicial tenían absorbancias que disminuyeron hasta alrededor de 0.001 unidades. A pesar de que no es una tendencia total en comparación de los dos espectros, si se puede concluir de manera general que la absorbancia se reduce en 0.003 unidades mediante la utilización del sistema de filtración en el rango medido. En este mismo sentido, hay que recordar que la muestra por sí mismo se observaba clara y que con la utilización del filtro, mejoró la apariencia, cualidad que pudo ser comprobada con los datos obtenidos en este experimento.



**Figura 20** Comparación de absorbancia en muestras de Agua del Río Misantla antes y después de recorrer el filtro semi-portátil

Los resultados adquiridos en la muestra de agua del Rio Misantla enturbada, antes y después de pasar por el filtro son mostrados en la figura 21; en donde se puede ver el importante y evidente descenso de la absorbancia en la muestra que fue filtrada (línea naranja), en comparación con la muestra inicial, donde se registraron inicialmente 2.611 unidades de absorbancia, y después de atravesar el filtro, se obtuvieron 0.128 unidades, lo que representó 2.483 unidades de absorbancia eliminadas a favor de los objetivos de este filtro.

El hecho de que se haya disminuido tan drásticamente la absorbancia en todo el rango medido, quiere decir que el filtro eliminó una gran cantidad de sustancias que se encuentran en el rango visible, lo que indudablemente mejoró su apariencia, olor, sabor y por lo tanto su calidad. Estos parámetros coinciden con los observados en páginas anteriores.



**Figura 21** Comparación de absorbancia en muestras de Agua del rio Misantla enturbada antes y después de recorrer el filtro semi-portátil.



Si bien no pudo concluirse que el filtro eliminó completamente todos los sólidos disueltos, ya que se observaban absorbancias de alrededor de 0.1 unidades en todo el rango medido y que los análisis de inocuidad no fueron negativos, si puede establecerse que con un proceso previo de sedimentación y una cloración final, podrá obtenerse un agua con la calidad suficiente para ser ingerida en el caso de una emergencia donde no hubiera suministro de agua bebible. Todos los sistemas comerciales, cuentan con un sistema de cloración o eliminación química de microorganismos para asegurar la inocuidad, por tanto el uso de un sistema de cloración en nuestro caso, sería válido.

## **CAPÍTULO V.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Para la ejecución de este proyecto se construyó un sistema de filtración portátil para disminuir la presencia de partículas suspendidas de distintas muestras de agua, y proponer una metodología fácil, económica y accesible para la purificación de muestras contaminadas de distintas fuentes.

Este prototipo fue construido con la finalidad de brindar una alternativa para el consumo de agua en situaciones de extrema contingencia como las inundaciones que en el municipio de Misantla se han suscitado.

Las pruebas efectuadas en la evaluación del filtro portátil, fueron realizadas para determinar la efectividad del prototipo construido, sin embargo los resultados obtenidos con el filtro portátil mostraron que no pudo retener y disminuir eficientemente las partículas dispersas. Lo anterior fue atribuido al diseño “portátil” que se le quiso dar al prototipo que sin embargo limitó mucho su funcionalidad, por lo que se optó por la construcción del sistema semi-portátil, que mejoró notablemente los resultados.

Un punto importante en la valoración del filtro es que, se decidió hacer la evaluación con muestras sumamente contaminadas, esto para que hubiera un resultado más notorio. Sin embargo, el filtro se creó para utilizarse con agua con menos carga de contaminantes ya sea, recolectada con lluvia o de río o con la que seguramente se obtendrán resultados más positivos.

Asimismo se construyó el sistema de filtración semi-portátil, que posee características semejantes en cuanto a los materiales filtrantes del prototipo portátil y que a diferencia, se le atribuyó un diseño más amplio para facilitar el proceso de filtración.

En la evaluación de este filtro se ejecutaron pruebas que revelaron su gran capacidad, y que en comparación con el filtro portátil resultaron mucho más eficientes en cuanto a color, olor y sabor, además de disminuir drásticamente la absorbancia en el rango medido y gran cantidad de sustancias que se encuentran en el rango visible, mejorando así la calidad del agua filtrada. El hecho de que se decidió realizar las pruebas con muestras altamente contaminadas, no implicó que el filtro no funcionara, sin embargo, el filtro debe ser utilizado con agua previamente sedimentada y con un proceso de cloración final para así poder ingerirse en caso de emergencia.

## 5.2 RECOMENDACIONES

En este trabajo se construyeron dos prototipos para la filtración/purificación de agua para hacerla apta para consumo humano en situaciones de emergencia. A pesar de que los resultados mostraron gran mejora en la calidad del agua filtrada es necesario tomar en cuenta:

- La sedimentación antes del proceso de filtración; esto para que las sustancias que se encuentran en suspensión (y que sean más pesadas que el agua) sean removidas por la acción de la gravedad, facilitando así el proceso de filtración.
- La desinfección con cloro al finalizar la filtración; los sistemas comerciales cuentan con diferentes métodos de eliminación de microorganismos para asegurar la inocuidad del agua para consumo humano, es por esto que se recomienda añadir al final de la filtración 0.5 % de cloro (5000 mg/L), que es equivalente a agregar 1 gota de cloro comercial por cada 2 litros de agua.
- Agregar sistema de bombeo; esta característica podría adicionar un costo mucho mayor al sistema semi-portátil, sin embargo sería una opción que facilitaría el manejo del filtro y el proceso de filtración aportando mayor velocidad de flujo al sistema.
- Realizar pruebas de inocuidad avalarían de una manera más precisa la capacidad de los filtros, que si bien es sumamente positiva, mejoraría y enriquecería los resultados ya obtenidos.
- Comparar con un sistema comercial como el filtro rotoplas, para verificar su funcionalidad.
- Calcular el tiempo de vida útil (litros en total).

## CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

J. Arboleda Valencia. *Teoría y práctica de la Purificación del agua*. ed. Acodal, 1992. Colombia. En: *Teoría de la Coagulación del Agua*

Arboleda Valencia, Jorge A.; CEPIS. *Abastecimiento de agua en América Latina*  
En: *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. p. 1.  
Cap. 1. Lima; CEPIS; 1979. (OPS Serie técnica, 13). 1:6.

Gallego Milagrosa, 2000. *El agua, vehículo de la contaminación*. Revisado en línea en Diciembre 2014. <http://www.babab.com/no01/agua.htm>

Kirchmer, Cliff J.; CEPIS. En: Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil. Sección Ingeniería Sanitaria y Ambiental. *Teoría y diseño de sistemas de tratamiento de agua potable. Ablandamiento*. p. 401-431. Santiago; Universidad de Chile; 1973. (Publicación C, 23).

EPA, 1990. Guía para la protección de aguas subterráneas. Revisado en línea en: [http://www.epa.gov/ogwdw/sourcewater/pubs/guide\\_citguidegwpsp\\_1990.pdf](http://www.epa.gov/ogwdw/sourcewater/pubs/guide_citguidegwpsp_1990.pdf) f. 3,4.

Echarri, Luis 1998. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente Ed. Teide.

SEMARNAT, Comisión Nacional del Agua. 2010. Compendio de estadísticas ambientales. Revisado en línea en [http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet28b9.html](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html). Noviembre 2014.

Secretaría de Salud. 2000. MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

OMS, 2014. *Agua, saneamiento y salud (ASS)*. Página oficial consultada en línea. Octubre 2014. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/es/).

Sáenz Segura Fernando. 1995. *Identificación de áreas críticas para el manejo de la cuenca del río Pacuare, Costa Rica*. Tesis Magister Scientiae, CATIE,145.

Mejía Clara Mario René. 2005. *Análisis de la calidad del agua para consumo*

*humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la micro cuenca, El Limón, San Jerónimo, Honduras, 110. 68-73.*

Maldonado Yactayo Víctor, 2005. Filtración. Capítulo 9:83-87: 93-99

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2009. Revisado en línea en:  
<https://www.imta.gob.mx>

Guizard Christian. 1999 *Clasificación de las membranas y los procesos que las utilizan.*34.1-3-6

Huerta Mendoza Leonardo, 2010. *Métodos para purificar agua*

Leal Ascencio María Teresa 2008. *Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones.* Capítulo 4. 63-71.

Barrientos E. H., Tello Y. J., Tito P. C., Palomino G.M. 2007. *Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la comunidad de kuychiro.*7-29

CSVA, 2005 (Consejo del Sistema Veracruzano del Agua). *Agua potable. Consultado en línea en*  
[http://www.csva.gob.mx/biblioteca/estudiosProyectos/docs/Presentacion\\_CSVA.pdf](http://www.csva.gob.mx/biblioteca/estudiosProyectos/docs/Presentacion_CSVA.pdf). Septiembre 2014.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.2000. *Análisis De Agua - Determinación De Sólidos Sedimentables En Aguas Naturales, Residuales Y Residuales Tratadas - Método De Prueba (Cancela a la NMX-AA-004-1977).*

Vestergaard. 2014. *Productos Lifestraw.* Consultado en línea en  
<http://www.buylifestraw.com/> Enero, 2014.

LIFESAVER Systems LTD. 2007-2014. Consultado en línea en  
<http://www.lifesaversystems.com/>.Enero 2014.