

**EVALUACIÓN DE LAS CONFIGURACIONES DE SISTEMAS DE  
SUMINISTRO DE AGUA POTABLE EN CONDICIONES DE EMERGENCIA  
PARA LA SABANA DE BOGOTÁ**

**LADY LILIANA MIRANDA GÓMEZ  
MARYHAN PAOLA VILLAMIL RODRÍGUEZ**

**Asesor  
Sebastián Hernández Sierra  
Firma: \_\_\_\_\_**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2010**

## Contenido

<b>1. LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>2. LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>6</b>
<b>3. GLOSARIO.....</b>	<b>7</b>
<b>4. RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>8</b>
<b>6. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
6.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>7. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>12</b>
7.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA.....	12
7.1.1 CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE CALIDAD DEL AGUA.....	12
7.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA.....	12
7.1.2.1 pH.....	12
7.1.2.2 Alcalinidad.....	13
7.1.2.3 Dureza.....	14
7.1.2.5 Sílice y pH.....	14
7.1.2.6 Conductividad.....	15
7.1.2.7 Sólidos.....	17
7.1.2.8 Sólidos Suspendedos.....	17
7.1.2.9 Sólidos Suspendedos y Sedimentables.....	17
7.1.2.10 Sólidos Disueltos Totales (TDS).....	18
7.1.2.11 COMPUESTOS ORGÁNICOS.....	18
7.1.2.11.1 Carbono Orgánico Total (COT).....	18
7.1.2.11.2 Trihalometanos (THM).....	18
7.1.3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA.....	18
7.1.3.1 Patógenos.....	19
7.1.3.2 Organismos Indicadores.....	20
7.1.3.3 Eliminación.....	20
7.1.3.4 Contaminación microbiológica.....	21
7.2. AGUA POTABLE.....	22
<b>8. ACUERDOS.....</b>	<b>23</b>
<b>9. ESTRUCTURA DE SERVICIO.....</b>	<b>24</b>
9.1 TIPOLOGÍAS DE ALOJAMIENTOS INSTITUCIONALES.....	24
9.2 ETAPAS.....	24
9.2.1 Tratamiento Ex – Situ.....	24
9.2.2 Distribución y Transporte.....	25
9.2.3 Captación y Tratamiento In-Situ.....	25
9.2.4 Almacenamiento Modular.....	25
9.2.5 Tratamiento Final y Distribución Final.....	25

9.3 ESCENARIOS .....	26
9.3.1 Eventos de emergencias anteriores y distribución de agua .....	26
9.3.2 Planes de emergencia .....	27
9.3.3 Evento de emergencia en Bogotá.....	27
9.3.4 Análisis para dotación de agua de emergencia en caso de terremoto en Bogotá.....	27
9.3.5 Escenarios propuestos en caso de desastre.....	28
<b>10 .CRITERIOS DE DEMANDA.....</b>	<b>29</b>
10.1 CALIDAD.....	29
10.2 CANTIDAD.....	30
10.3 USABILIDAD .....	31
<b>11. CRITERIOS DE OFERTA.....</b>	<b>31</b>
11.1 ETAPA: CAPTACIÓN IN-SITU.....	31
11.1.1 Bombeo .....	31
11.1.1.1 Bombas Multietapa .....	31
11.1.1.2 Bomba Sumergible.....	32
11.2 ETAPA: ALMACENAMIENTO.....	32
11.2.1 Tanques Compactos de pequeñas capacidades.....	33
11.2.2 Tanques de Almohadilla .....	33
11.2.3 Tanques de Flotación con cuello.....	34
11.2.4 Ferro Tanques.....	34
11.2.5 Tanques subterráneos.....	35
11.2.6 Carro tanques .....	35
11.2.7 Tanques Desmontables .....	35
11.3 TRATAMIENTO FINAL .....	36
11.3.1 Cloración .....	36
11.3.2 Ozonización .....	37
11.3.3 Luz UV.....	37
11.3.4 Microfiltración.....	37
11.3.5 Filtros múltiple casero y granular.....	38
11.3.6 SODIS .....	38
11.4 ETAPA: DISTRIBUCIÓN.....	38
11.5 ETAPA: TRATAMIENTO.....	39
11.5.1 Convencionales.....	39
11.5.1.1 Rejilla:.....	39
11.5.1.2 Aireación u oxidación.....	39
11.5.1.3 Coagulación-Floculación:.....	40
11.5.1.4 Decantación .....	41
11.5.2 No Convencionales .....	41
11.5.2.1 Filtros de Arena .....	41
11.5.2.2 Filtros de Carbón Activado.....	42
11.5.2.3 Filtros Multimedia .....	42
11.5.2.4 Filtros de Cartucho.....	42
11.5.2.5 Filtros biológicos .....	42
11.5.2.6 Suavización.....	43

11.5.2.6.1 Resinas Iónicas .....	43
11.5.2.6.2 Membrana .....	43
<b>12. EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS.....</b>	<b>44</b>
12.1 TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO.....	44
12.2 TECNOLOGÍAS PARA DESINFECCIÓN FINAL .....	47
12.3 TECNOLOGÍAS PARA DESINFECCIÓN FINAL CASEROS .....	49
12.4 TECNOLOGÍAS PARA AIREACIÓN Y OXIDACIÓN .....	50
12.5 TECNOLOGÍAS DE FILTRACIÓN.....	51
12.6 TECNOLOGÍAS EVALUADAS INDEPENDIENTEMENTE .....	53
12.7 TECNOLOGÍA DE SUAVIZACIÓN.....	55
12.7 TECNOLOGÍAS DE BOMBEO.....	56
<b>13. RECOMENDACIONES SEGÚN ESCENARIO Y TIPO DE ALOJAMIENTO</b> .....	<b>57</b>
13.1 ESCENARIO Z.....	57
13.2 ESCENARIO Y.....	57
13.3 ESCENARIO X.....	58
13.4 ESCENARIO W.....	59
13.5 ESCENARIO V.....	59
<b>14. CONCLUSIONES &amp; RECOMENDACIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>
ANEXO 1 .....	66
ANEXO 2 .....	68
ANEXO 3 .....	69

## 1. LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Relación del porcentaje en peso de SiO <sub>2</sub> con el pH .....	15
<b>Tabla 2.</b> Valores de conductividad para diferentes tipos de agua .....	16
<b>Tabla 3.</b> Métodos de eliminación de diferentes tipos de microorganismos en tratamiento de agua potable. ....	21
<b>Tabla 4.</b> Subproductos de los métodos de tratamiento de desinfección. ....	22
<b>Tabla 5.</b> Características organolépticas y físicas con valores permitidos para agua potable según el Ministerio de salud e Icontec. ....	22
<b>Tabla 6.</b> Características químicas, microbiológicas y otras con valores permitidos para agua Potable según el Ministerio de salud e Icontec .....	23
<b>Tabla 7.</b> Estimación de área y número de alojamientos por número de habitantes instalados. ....	24
<b>Tabla 8.</b> Parámetros fisicoquímicos del agua .....	30
<b>Tabla 9.</b> Tabla simplificada de necesidades básicas en cuanto a cantidad de agua para asegurar la supervivencia .....	30
<b>Tabla 10.</b> Calificación final tecnologías de almacenamiento, alojamientos tipo 1 y 2... ..	46
<b>Tabla 11.</b> Calificación final tecnologías de almacenamiento, alojamientos tipo 3.....	47
<b>Tabla 12.</b> Calificación final tecnologías de desinfección final .....	49
<b>Tabla 13.</b> Comparativa de desinfectantes.10].....	49
<b>Tabla 14.</b> Calificación final tecnologías de desinfección final caseros .....	50
<b>Tabla 15.</b> Calificación final tecnologías para aireación y oxidación .....	51
<b>Tabla 16.</b> Calificación final tecnologías de filtración.....	53
<b>Tabla 17.</b> Calificación final tecnologías evaluadas independientemente .....	54
<b>Tabla 18.</b> Calificación final tecnología de suavización .....	55
<b>Tabla 19.</b> Calificación final tecnologías de bombeo.....	56

## **2. LISTA DE ANEXOS**

**Anexo 1.** Parámetros de la calidad del agua de salida antes de ser suministrados al consumidor para emergencias de duración mayor a un mes.

**Anexo 2.** Floculantes y coagulantes utilizados comercialmente.

**Anexo 3.** Tuberías y accesorios.

**Anexo 4.** Tabla de Evaluación (archivo digital anexo)

**Anexo 5.** Fichas Técnicas (archivo digital anexo)

### 3. GLOSARIO

**TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN:** es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano.

**MÓDULO:** compuesto por entre 4 a 5 unidades habitacionales. Construcciones livianas que se deben localizar en áreas abiertas como parques, parqueaderos, zonas verdes, etc.

**UNIDAD HABITACIONAL:** Lugar de albergue, compuesta por entre 4 a 5 habitantes.

**DPAE:** Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá – Colombia.

**JICA:** Japan International Cooperation Agency.

**FOPAE:** Fondo de Prevención y Atención de Emergencias.

**POBLACIÓN SERVIDA O ATENDIDA:** es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua.

**PLAN MAESTRO:** plan integral de análisis de tecnologías para dotación de servicios vitales en alojamientos institucionales en caso de emergencia, dirigido por la Comisión de Infraestructura, Movilidad y Servicios Públicos.

**ESCHERICHIA COLI - E-coli:** bacilo aerobio Gram Negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la galactosidasa y glucoronidasa. Es el indicador microbiológico preciso de contaminación fecal en el agua para consumo humano en cualquier situación.

**TIEMPO DE CONTACTO PARA EL DESINFECTANTE:** es el tiempo necesario desde la aplicación del desinfectante al agua hasta la formación como producto del residual del desinfectante, de forma que esa concentración permita la eliminación de microorganismos presentes en el agua.

**VALOR ACEPTABLE:** es el establecido según la norma para un parámetro (ej., concentración), que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud.

#### **4. RESUMEN**

El agua es uno de los recursos vitales para la subsistencia del ser humano, por lo cual es obligación del mismo garantizar su suministro en cualquier situación. Se han realizado varios estudios y se encontró que la Sabana de Bogotá presenta una vulnerabilidad funcional y sísmica en caso de una catástrofe natural, en la cual sus sistemas de suministro de agua potable fallarían dejando un gran porcentaje de población afectada. Teniendo en cuenta la magnitud de la problemática, se planteó una solución alternativa: plantas de tratamiento móvil ó portátil que provean satisfactoriamente el agua necesaria durante el alcance de la emergencia. Para tal fin se identificaron las tecnologías disponibles para el tratamiento de agua para así lograr evaluar cual sería la mejor configuración de tales plantas que garanticen la calidad del agua en un tiempo limitado.

#### **5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El agua es uno de los recursos vitales que garantizan la supervivencia de cualquier ser humano y su calidad está estrechamente relacionada con las condiciones de vida de una comunidad (desarrollo, bienestar y salud), de modo tal que su potabilización juega un papel importante en el desarrollo de las comunidades al promover mejores condiciones de vida y por ende un mayor progreso. La calidad del agua potable debe cumplir con las normas y estándares establecidos por la ley según la resolución número 2115 (22 Junio 2007) del Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Históricamente ha sido reconocido el rol que juega la calidad del agua de consumo en la salud de las personas, demostrando que la mayoría de las enfermedades presentes en los países en desarrollo tales como la diarrea, malaria y malnutrición, se deben a abastecimientos de agua deficientes en donde bacterias, virus, amebas y helmintos están presentes. [1]

El proceso de potabilización de agua se realiza por medio de una combinación de operaciones unitarias, las cuales conforman las diferentes etapas en las que se divide el proceso de tratamiento de agua potable. Estas etapas son la clarificación, desinfección y acondicionamiento químico y organoléptico. [2]

El diseño de plantas de tratamiento de agua potable debe cumplir con ciertos parámetros y criterios para el buen funcionamiento de los equipos, lo cual conlleva a la obtención de altas eficiencias en cada una de las etapas en las que se divide el proceso. En este caso en

particular se trabajará con plantas de dimensiones mucho más pequeñas, llamadas móviles o portátiles, según sea el caso, las cuales serán utilizadas como herramientas de reacción en caso de presentarse una emergencia.

Según un estudio realizado en el 2009 por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, por sus siglas en inglés), la sabana de Bogotá ante una eventual emergencia causada por alguna catástrofe natural (sismo, sequía, incendio forestal, etc.), presenta vulnerabilidad (sísmica y funcional) de falla de sus redes de distribución de agua existentes, por tal razón se debe tener un plan maestro para el suministro y abastecimiento de agua potable para todos los habitantes ya que las plantas y redes de conducción y distribución de agua que operan normalmente en Bogotá pueden resultar afectadas.

El objetivo principal del proyecto es hacer un estudio de diferentes configuraciones de sistemas para suministro de agua potable en casos de emergencia naturales en la Sabana de Bogotá, planteado como posible solución inmediata la utilización de plantas móviles habilitadas para ser transportadas hasta el lugar de la emergencia sin ningún inconveniente y un fácil ensamble. Al hablar de configuraciones se hace referencia a los siguientes factores:

- Identificación y registro cualitativo y cuantitativo, de la extensión, gravedad y localización de los efectos del evento adverso examinado como diferentes escenarios posibles en los que se puede desarrollar la emergencia.
- Identificación de las condiciones de las fuentes actuales de suplementos de agua y protección de las posibles fuentes alternativas no contaminadas que sirvan como suplemento temporal en el caso de siniestro.
- Identificación de las condiciones de la población afectada directa o indirectamente, rutas de evacuación de la misma así como los sitios de reunión (albergues temporales) en el caso que la emergencia se llegase a presentar. Adicionalmente, se debe tener en cuenta el fácil acceso a las fuentes de agua, y la disponibilidad de la misma, lo cual está ligado a la capacidad máxima de agua que pueden suplir las plantas y su vida útil, teniendo en cuenta, tanto con el volumen de la población que será abastecida, como con el alcance que tenga la emergencia.

Según las condiciones de operación se deben seleccionar los procesos de tratamiento más adecuado teniendo en cuenta parámetros como la población a la que se le va a reabastecer agua potable (cantidad de habitantes), y a las restricciones de espacio para el montaje y

operación de los equipos. También se debe tener en cuenta aspectos como el transporte de las plantas, ya que en un caso de emergencia es de gran importancia por el bienestar y salud de toda la población que este proceso se lleve a cabo en la mayor brevedad posible. Se debe establecer si el transporte se puede hacer vía aérea o terrestre.

Para el diseño de las plantas de tratamiento de agua potable, ya sean móviles o portátiles, se debe determinar cuál es el arreglo más eficiente con respecto a las operaciones unitarias que se incluirán en los equipos luego de un estudio previo de cada una de ellas. Para esto se debe tener en cuenta la caracterización del agua tanto antes como después del tratamiento. Se debe cumplir con todas las normas técnicas y requisitos para obtener un agua de excelente calidad, particularmente en caso de emergencia, según lo dicta la ley.

Una vez controlada la emergencia, inicia el plan de rehabilitación del desastre para reconstruir las instalaciones afectadas en el menor tiempo posible. Dichos planes de mejoramiento o reconstrucción de infraestructura es un tema que debe quedar en el proyecto Plan DPAE - PNUD. [3]

Para la elaboración del proyecto se cuenta con fuentes tanto subterráneas como superficiales, ya que no se conoce el impacto que pueda causar un desastre natural sobre las fuentes subterráneas actuales.

En la actualidad, Bogotá cuenta con 459 pozos subterráneos destinados al uso industrial y doméstico, pero de estos tan sólo 105 cuentan con licencia para la extracción de agua según las normas y decretos existentes alrededor de este tema, los demás se encuentran cerrados o suspendidos por un uso indebido o contaminación causada por filtraciones de grasas, aceites o sustancias tóxicas y nocivas para la salud humana. Actualmente, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá está trabajando en la perforación y adecuación de nuevos pozos con el fin de prepararse en el caso de que sea necesario, el reabastecimiento de agua potable para toda la población ante una grave emergencia. Se ha encontrado que el agua de estos pozos es de muy buena calidad, y que con un tratamiento simple es posible remover todo el hierro, manganeso y demás sustancias que son nocivas para la salud humana según las normas y estándares establecidos por la ley. [3]

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

Seleccionar tecnologías comercialmente disponibles para el suministro del servicio de agua potable, con el fin de suplir las necesidades prioritarias en alojamientos institucionales, bajo la ocurrencia de un evento catastrófico de gran magnitud. Esta acción permitirá reducir el impacto de la emergencia en la ciudad de Bogotá D.C.

### **6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una revisión bibliográfica que conduzca a identificar las tecnologías comercialmente disponibles, para la gestión de agua potable en situaciones de emergencia, en alojamientos institucionales.
- Evaluar las diversas tecnologías y configuraciones de sistemas de producción de agua para consumo humano, dados criterios como calidad esperada del agua de alimentación, calidad y cantidad mínima requerida para el consumo humano en estas circunstancias, requerimientos de operación, costos de inversión, instalación, operación y de mantenimiento, con el fin de visualizar las ventajas y desventajas de cada una de ellas.
- Plantear tipologías de alojamientos institucionales posibles, teniendo en cuenta la cantidad de población afectada, el área requerida, la ubicación y el tipo de construcción.
- Analizar los diferentes escenarios propuestos ante un eventual caso de emergencia, a partir de la evaluación individual de cada una de las tecnologías propuestas y de los trenes de tecnologías.
- A partir del análisis realizado a los diferentes trenes de tratamiento bajo un escenario integrado, determinar cuál de éstos favorece un adecuado suministro de agua a la población afectada, teniendo en cuenta todos los criterios de calidad, cantidad y usabilidad.

## 7. ESTADO DEL ARTE

### 7.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Gracias al ciclo hidrológico del agua, es decir el movimiento o transferencia de masas de agua en forma continua, es posible obtener los diferentes recursos de agua, entre los cuales se encuentran comprendidos el agua subterránea, el agua superficial, etc. [4]

Entre las características más principales del agua superficial se encuentran que tiene una menor contaminación mineral y un alto contenido en orgánicos y partículas no disueltas. Por otro lado el agua subterránea tiene una mayor remoción de partículas y sustancias orgánicas gracias a la filtración a través de los estratos, tiene un pH de entre 7 a 8.5, y su acidez le permite disolver minerales tales como el Calcio, Magnesio, Hierro, Sulfatos y Cloruros. [5]

#### 7.1.1 CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE CALIDAD DEL AGUA

Los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta con respecto a la calidad del agua son los siguientes:

- Sabor.
- Color. Medido por comparación con soluciones coloreadas o con muestras de concentración conocida y por espectrofotometría.
- Olor.
- Turbiedad. Material suspendido de naturaleza orgánica e inorgánica. Este factor mide la dificultad del paso de la luz a través de una solución, pero no tiene ninguna relación directa con la concentración de sólidos presentes. [5]

#### 7.1.2. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA

##### 7.1.2.1 pH

Esta característica es la medida de la cantidad de protones presentes en el agua asociados con la disolución de un ácido o una sal ácida. Por comparación también se puede establecer la disolución de bases o sales básicas. Una medida comparativa es el pOH.

$$pH = -\log[H^+]$$
$$pOH = -\log[OH^-]$$

La escala que se maneja va de 0 a 14. Así si se tiene un pH de 10, se tiene una concentración de  $H^+$  de  $10^{-10}$  molar, es decir, 1nmol de iones de Hidrógeno en un litro de agua.

El valor para el potencial de Hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6.5 y 9. [2]

### **7.1.2.2 Alcalinidad**

La alcalinidad se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. [6]

La alcalinidad está determinada por la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ya que ésta se toma como un indicador de estas especies iónicas mencionadas. Sin embargo, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden contribuir también a la alcalinidad al estar también presentes.

El bicarbonato es la especie química que más contribuye a la alcalinidad. Éste junto con el hidróxido es de gran importancia cuando hay una gran actividad fotosintética de algas o en los casos en los que ocurren descargas industriales en un cuerpo de agua.

La alcalinidad, además de representar el principal sistema amortiguador de agua dulce, también es de gran importancia en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como fuente de reserva para la fotosíntesis, siendo utilizada como una medida de la productividad de lagos, donde los niveles de alcalinidad alta indican una actividad alta.

Suma de todas las bases que pueden ser tituladas hasta un pH de 4.5.

$$\text{Alcalinidad} = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H^+]$$

Si pH es neutro, las concentraciones de hidróxidos y protones son despreciables. Cuando el pH es ácido, se libera  $CO_2$  al ambiente. Sin embargo, algo de este gas queda disuelto en el agua generando equilibrios químicos y aumentando la conductividad del agua.

La alcalinidad también afecta la dureza del agua, ya que con pH por debajo de 10.5 existe en su mayoría bicarbonato y carbonato que generan complejos con el calcio, magnesio, bario, etc. [5]

### **7.1.2.3 Dureza**

La dureza del agua está determinada por la concentración de compuestos minerales que están presentes en una determinada cantidad de agua, estas sales son generalmente de magnesio y calcio. El grado de dureza del agua es directamente proporcional a la concentración de estas sales metálicas.

La dureza total se plantea como la cantidad total de iones polivalentes ( $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ) presentes en el agua o como la dureza de los carbonatos y no carbonatos presentes y se mide como mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , es decir miligramos de equivalente de carbonato de calcio por litro de solución. La dureza de los carbonatos es igual a la dureza total o a la alcalinidad total, cualquiera que sea la menor. La dureza del agua produce incrustaciones en las tuberías e interfiere en procesos de purificación por ósmosis inversa. [4]

La dureza puede reducirse hasta 35 mg/L en frío con soda y cal y hasta menos de 25 mg/L en caliente, también puede reducirse hasta menos de 1 mg/L mediante intercambio iónico y ósmosis inversa.

El bario y el estroncio, entre otros metales alcalinotérreos también se suman como dureza en el agua, algunos son interferentes. Asimismo, el  $\text{CO}_2$  se cuenta como dureza del agua, aunque no es detectable y se deben realizar estimaciones por cálculo de su presencia. Cuando hay presencia de elementos interferentes, tales como Aluminio, Bario, Cadmio, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Manganeso, Níquel, Estroncio, Zinc, Polifosfatos, es necesario eliminarlos del agua antes de enviarlas al proceso o a pruebas de dureza. [4]

### **7.1.2.5 Sílice y pH**

La sílice existe normalmente como óxido (como  $\text{SiO}_2$  en la arena y como silicato  $\text{SiO}_3^-$ ). Puede estar en forma insoluble, soluble y coloidal.

Los análisis de la sílice proporcionan un método sensitivo para el control de la operación de los desmineralizadores de agua, ya que la sílice es una de las primeras impurezas que salen a través de una unidad agotada, forma incrustaciones.

Se puede eliminar la sílice del agua por intercambio iónico, destilación, tratamientos con cal, carbonato y magnesio. En la siguiente tabla se muestra los valores que relacionan el porcentaje en peso de  $\text{SiO}_2$  con el pH. [5]

pH	Wt% SiO <sub>2</sub> sat.	pH	Wt% SiO <sub>2</sub> sat.
1	0.015	7	0.011
2	0.016	8	0.012
3	0.015	9	0.015
4	0.014	10	0.035
5	0.011	11	0.33

Tabla 1. Relación del porcentaje en peso de SiO<sub>2</sub> con el pH [4]

#### 7.1.2.6 Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) de una disolución puede definirse como la capacidad de ésta para transmitir la corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución, ésta depende del voltaje aplicado, del tipo, número, carga y movilidad de los iones presentes y de la viscosidad del medio en el que éstos han de moverse. La conducción de electricidad al aplicar un campo eléctrico se debe al movimiento de los iones en disolución, los cuales transfieren los electrones a la superficie de los electrodos para completar el paso de corriente.

En disoluciones acuosas, y puesto que su viscosidad disminuye con la temperatura, la facilidad de transporte iónico o conductividad aumentará a medida que se eleva la temperatura.

La conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos. La relación entre conductividad y sólidos disueltos se expresa:

$$1,4 \mu\text{S/cm} = 1 \text{ ppm} \text{ ó } 2 \mu\text{S/cm} = 1 \text{ ppm (mg/L de CaCO}_3\text{)}$$

Dividiendo la medición de conductividad en  $\mu\text{S/cm}$  por 20 da el valor de dureza del agua en ppm (con un error entre 20 y 30 ppm).

Conductividad de Agua		
Agua ultra pura	0.055	$\mu\text{S/cm}$
Agua destilada	0.5	$\mu\text{S/cm}$
Agua potable	500 - 800	$\mu\text{S/cm}$
Agua de mar	56	$\mu\text{S/cm}$
Agua salobre	100	$\mu\text{S/cm}$

**Tabla 2 Valores de conductividad para diferentes tipos de agua [4]**

La conductividad de una muestra de agua aumenta al exponer esta al aire y luego de entrar en contacto con el envase en el cual se va a realizar la prueba de conductividad, por lo tanto la conductividad puede relacionarse con varios factores como lo son:

- La pureza química del agua, ya que mientras más pura se encuentre el agua, menos será la concentración de electrolitos en el agua y gracias a esto mayor es la resistencia del medio a la transmisión de una corriente eléctrica.
- La cantidad de sólidos en una disolución y la eficiencia de los procesos de tratamiento de agua.
- La concentración de sales en una salmuera.
- La concentración de sólidos disueltos medidos en mg/L, al multiplicar la conductividad por algún factor empírico como se mencionó anteriormente

Experimentalmente para determinar el valor de la conductividad para una muestra de agua, se mide inicialmente la resistencia eléctrica en un área de la solución definida por el diseño de la sonda, posteriormente se aplica un voltaje en medio de los dos electrodos que integran la sonda y que se encuentran inmersos en la solución. Se utiliza la caída de presión causada por la resistencia de la solución para poder hallar el valor de la conductividad por centímetro. [5]

El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000  $\mu\text{S/cm}$ . Este valor puede ser ajustado según los promedios habituales y el mapa de riesgo de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% en el agua de la fuente, indica un cambio anormal en la cantidad de sólidos disueltos y su procedencia debe

ser investigada inmediatamente por las autoridades sanitarias y ambiental competentes y la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano. [7]

#### **7.1.2.7 Sólidos**

Los sólidos son un parámetro fundamental para definir la calidad del agua con la que se está tratando. Éstos son los solutos disueltos en un líquido solvente de manera homogénea y vienen en el agua en tres formas:

#### **7.1.2.8 Sólidos Suspendidos**

Los sólidos suspendidos son pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua. [2]

Los sólidos suspendidos totales son el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante.

Si el material suspendido tapona el filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales puede dar un estimativo de los sólidos suspendidos totales.

Dentro de este grupo se encuentran los coloides, los cuales son partículas muy pequeñas suspendidas en el agua, las cuales producen turbiedad/color, pueden ser partículas de arcilla y organismos microscópicos entre otros. [2]

Los tamaños de estas partículas coloidales están comprendidos en rangos inferiores a 1µm y superiores a 1 nm. La relación área-peso de los coloides es bastante grande, es por esto que si existe un incremento de las fuerzas superficiales, es decir de las cargas eléctricas, no se logrará sedimentar las partículas, por otra parte su suspensión no se ve influenciada por las fuerzas de gravedad.

Por tales razones una forma de retirar estas partículas es por medio de una micro o ultra filtración. [5]

Los sólidos suspendidos pueden ser removidos por procesos de clarificación y filtrado, con un proceso previo ya bien sea de coagulación- adsorción o coagulación-floculación. [8]

#### **7.1.2.9 Sólidos Suspendidos y Sedimentables**

En este caso es necesario medir el índice de densidad de lodos el cual está determinado por el recíproco del índice volumétrico de lodos (IVL) o llamado de otra manera el volumen ocupado por una masa determinada de lodos o de material suspendido después de 30 min de sedimentación. [5]

#### **7.1.2.10 Sólidos Disueltos Totales (TDS)**

Los sólidos o materia suspendida o disuelta en el agua, se miden como mg/L de  $\text{CaCO}_3$  o ppm de TDS. Una forma de medida es por medio de un gravimétrico en mufla a  $105^\circ\text{C}$  después de un proceso de filtrado estándar. Otra forma de medición alternativa es realizada por medio de la conductividad, propiedad mencionada anteriormente. [5]

$$TDS = K \cdot c$$

Es posible removerlos por saturación, oxidación, precipitación química, resinas de intercambio iónico, membranas de ósmosis inversa o destilación. [8]

#### **7.1.2.11 COMPUESTOS ORGÁNICOS**

##### **7.1.2.11.1 Carbono Orgánico Total (COT)**

Es necesario medir la cantidad del carbono orgánico total, ya que es uno de los parámetros que indican la presencia de materia orgánica en el agua y está referido a sustancias fijas como también a sustancias volátiles. En este caso se utiliza la transformación en  $\text{CO}_2$  para su determinación. [5]

##### **7.1.2.11.2 Trihalometanos (THM)**

Los Trihalometanos son compuestos cancerígenos derivados de la desinfección del agua con cloro  $\text{Cl}_2$  (g) o hipocloritos (SPD). Su formación se da cuando existen sustancias húmicas (en general orgánicas de bajo PM) en el agua. Su remoción se puede lograr por medio de desionizadores, por proceso de ósmosis inversa o resinas. [5]

Entre los compuestos de THMs están el cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), dibromoclorometano ( $\text{CHClBr}_2$ ), diclorobromometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), bromoformo ( $\text{CHBr}_3$ ). Estos compuestos presentan un carácter cancerígeno en roedores, por lo cual constituyen un riesgo potencial para los seres humanos. Debe mantenerse una concentración de THMs totales inferior a 0.2 mg/L, el cual es el valor mínimo aceptado según lo establecido en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social. [2] [7]

### **7.1.3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA**

El agua tiene la presencia de organismos microbiológicos los cuales están comprendidos en un rango de  $1 \mu\text{m}$  a  $1 \text{ nm}$  en tamaño, estos organismos están clasificados así:

- Procariotas (sin núcleo)
  - Bacteria

- Archae
- Eucariotas (con núcleo)
  - Animalia
  - Plantae
  - Fungi
  - Protista (Protofitas, Protomicotas, Protozoos)
- Virus (no vivo)

### 7.1.3.1 Patógenos

Protozoos: Estos microorganismos están relacionados con el agua, ejemplos de ellos son Giardia lamblia y Criptosporidium. Su tamaño está comprendido en un rango de 1 a 2000 µm. Entre sus características más importantes están que son animales unicelulares acuáticos, su multiplicación se da por fusión binaria y presentan sistemas digestivos complejos.

Virus: Parásitos que se reproducen en células huésped gracias a que no poseen organización celular. Por lo general su tamaño es de 1/5 al de bacterias. Se encuentran relacionados con aguas: hepatitis A, enterovirus, adenovirus.

Bacterias: Son microorganismos unicelulares, auto-reproductores. Comprenden tamaños entre los 0,5- 5 µm. Se encuentran relacionados con aguas: Salmonella, Shigella, Vibrio cholera, E. coli (coliforme fecal común), Burkholderia

La determinación de la presencia o ausencia de patógenos es de suma importancia para el tratamiento que se le realizará al agua por varios aspectos, se debe conocer la cantidad de microorganismos presentes por ejemplo si estos se encuentran en una cantidad muy superior para poder ser determinados. La supervivencia de los microorganismos no es similar y por último algunas de las determinaciones se hacen demasiado costosas.

Un método importante de caracterización de bacterias es llamado tinción donde se utiliza un colorante para examinar las diferencias estructurales y químicas en la membrana celular. Si la obtención es básica la carga es positiva, por el contrario si la obtención es ácida, la carga es negativa, se tiñe el alrededor; es usado para ver cápsulas evitando fijación térmica y reacciones químicas. Más natural y menos distorsionado.

La tinción puede ser simple o diferencial: en la simple se utiliza una sola tinta y se revelan formas y arreglos básicos. En la tinción diferencial se usan dos o más tintas, es posible distinguir entre dos clases de organismos o dos diferentes partes del mismo. Puede ser:

- Gram: naturaleza de las membranas

- Scheaffer-Fulton: esporas
- Ziehl-Neelsen: membranas con ácidos grasos [5]

### 7.1.3.2 Organismos Indicadores

Se presenta la necesidad de indicar un organismo indicador, el cual debe cumplir con:

- Debe ser proporcional a la abundancia de patógenos en el agua
  - Su supervivencia debe ser al menos similar a la de cualquier patógeno
  - Debe ser fácilmente detectable y debe estar presente en mayores concentraciones que cualquier patógeno
  - Ausente del agua a menos que esta esté contaminada.
- **Coliformes Totales (CT):** Son microorganismos del tracto intestinal humano (crecimiento a 35°C en un medio determinado).
  - **Coliformes Fecales (CF):** Son microorganismos del tracto intestinal humano (crecimiento a 44.5°C en un medio determinado)

Para su determinación en los sólidos totales, se encuentran los pirógenos, ácido húmico y fúlvico, etc., dentro del grupo de materia orgánica (MO) en disueltos y alga, fungi y bacteria en el grupo de materia orgánica en suspendidos. [5]

### Número más probable [NMP/100mL]

Este número es calculado a partir de la observación del crecimiento (aparición de turbidez, formación de gas), en cultivos en caldo duplicados, inoculados con porciones de un ml de diluciones decimales de la muestra. Se representan resultados positivos con crecimiento en tres diluciones sucesivas (número significativo)

### Unidades formadoras de colonias [UFC/mL]

Número mínimo de células separables que da lugar al desarrollo de una colonia visible. Las UFC pueden ser pares, cadena o racimos, así como células individuales.

### 7.1.3.3 Eliminación

Para el tratamiento es necesaria la eliminación de estos microorganismos, en la siguiente tabla se muestran diferentes métodos de eliminación para varios tipos de microorganismos:

Microorganismo	Métodos de tratamiento
1. Cryptosporidium	■ Turbidez a 0.5 NTU*
2. Giardia lamblia	■ Desinfección con Yodo, Cloración, Ozono, UV
3. Bacteria	■ Filtración absoluta <3 partículas tamaño micrómetro,

Heterotrófica (HPC*) 4. Legionella 5. Virus	excepto virus. ■ Destilación
6. Coliformes	■ Turbidez a 1 NTU* ■ Desinfección con Yodo, Cloración, Ozono, UV ■ Filtración absoluta submicrónica <0.45mm. ■ Destilación

Tabla 3 Métodos de eliminación de diferentes tipos de microorganismos en tratamiento de agua potable. [5]

#### 7.1.3.4 Contaminación microbiológica

Carbono orgánico total (COT): se determina mediante oxidación del carbono orgánico que se encuentra presente en una muestra de agua.

Demanda química de oxígeno (DQO): mide la cantidad de oxígeno necesario para realizar oxidación química de materia orgánica produciendo CO<sub>2</sub> y agua.

Por medio de Marcha Analítica + Digestión térmica (Hach o Digimed) + Espectrofotometría. [5]

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): cantidad de oxígeno consumido por una población mixta de microorganismos al oxidar la MO. Mide el potencial de contaminación y tratamiento requerido. [4]

Luego del tratamiento de potabilización del agua, quedan algunos subproductos de desinfección formados por la reacción desinfectante con la materia orgánica o sustancia química que con anterioridad ya existía en el agua, éstos se mencionan en la siguiente tabla:

Subproducto	Métodos de tratamiento
■ Bromato	■ Carbón Activado
■ Cloraminas	■ Osmosis Inversa
■ Cloro	■ Intercambio Aniónico (Br)
■ Dióxido de Cloro	
■ Clorito	
■ Ácidos haloacéticos HAAs	■ Coagulación y suavización realzada
	■ Carbón activado
	■ Aireación
■ Trihalometanos totales TTHMs	■ Osmosis Inversa (20 – 90%)
	■ Destilación (20 – 90%) menos efectiva

Tabla 4 Subproductos de los métodos de tratamiento de desinfección. [5]

## 7.2. AGUA POTABLE

El agua debe cumplir con ciertos requisitos, físicos, químicos y microbiológicos según las normas técnicas de calidad, que la hacen apta para el consumo humano sin producir efectos adversos a la salud, estas características o criterios se resumen en las siguientes tablas:

Agua Potable		
Organolépticos y Físicos		
Característica	Valor Permitido	
	Min Salud	Icontec
Color (UPC)	Max. 15	Max. 15
Olor y sabor	Aceptable	Inobjetable
Turbiedad (NTU)	Max. 5	Max. 2
Sólidos Totales (mg/L)	Max. 500	Max. 200
Conductividad (mΩ/cm)	50-1000	

Tabla 5 Características organolépticas y físicas con valores permitidos para agua Potable según el Ministerio de salud e Icontec. [5]

Agua Potable					
Característica	Valor		Característica	Valor	
	Min Salud	Icontec		Min Salud	Icontec
<b>Químicos nocivos para la salud humana</b>					
Aluminio (mg/L)	0.2	0.2	Mercurio (mg/L)	0.001	
Antimonio (mg/L)	0.005		Molibdeno (mg/L)	0.07	
Arsénico (mg/L)	0.01	0.05	Níquel (mg/L)	0.02	
Bario (mg/L)	0.5	1	Nitritos (mg/L)	0.1	0.01
Boro (mg/L)	0.3	1	Nitratos (mg/L)	10	45
Cadmio (mg/L)	0.003	0.005	Plata (mg/L)	0.01	0.05
Cianuro libre y disociable	0.05		Plomo (mg/L)	0.01	0.01
Cianuro Total (mg/L)	0.1	0.1	Selenio (mg/L)	0.01	0.01
Cloroformo (mg/L)	0.03		Sustancias activas		
Cromo (mg/L)	1	1	Al azul metileno (mg/L)	0.5	
Cr Hexavalente (mg/L)	0.01	0.05	Grasas y aceites	Ausentes	No detectable
Fenoles Totales (mg/L)	0.001	0.001	THM totales (mg/L)	0.1	
<b>Químicos con efectos indirectos sobre la salud humana</b>					
Calcio (mg/L)	60		Magnesio (mg/L)	36	36
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	50		Manganeso (mg/L)	0.1	0.1

Hidróxidos (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	<L.D.		Sulfatos (mg/L)	250	250
Alcalinidad Total	100		Zinc (mg/L)	5	
Cloruros (mg/L)	250	250	Fluoruros (mg/L)	1.2	
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	160	30-50	Fosfatos (mg/L)	0.2	
Hierro Total (mg/L)	0.3	0.3			
<b>Otros</b>			<b>Microbiológicas</b>		
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>		<b>Característica</b>	<b>Valor</b>	
Cloro Residual Libre (mg/L)	0.2-1		Coliformes Tot (ufc/100 cm <sup>3</sup> )	0	
pH	6.5-9		E. Coli (ufc/100 cm <sup>3</sup> )	0	
Plaguicidas y otros (mg/L)	0.0001		Mesófilos (ufc/100 cm <sup>3</sup> )	100	

Tabla 6 Características químicas, microbiológicas y otras con valores permitidos para agua Potable según el Ministerio de salud e Icontec [5]

El agua para consumo humano debe cumplir con las normas técnicas y requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos exigidos en el Decreto 1575 del 9 de mayo de 2007, expedido por el Ministerio de Salud. [2]

Las autoridades ambientales y sanitarias encargadas de la vigilancia de los sistemas de suministro de agua en cumplimiento de las normas, disposiciones y criterios contenidos en este decreto, así como también todo lo relacionado con la calidad del agua para el consumo humano deben asegurarse que lo que se dice en este decreto sea cumplido. [9]

## 8. ACUERDOS

- La calidad del agua potable debe cumplir con las normas y estándares establecidos por la ley según la resolución número 2115 (22 de Junio de 2007) del Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Se plantea estudiar el escenario de solo distribución, en caso de que todos los demás sistemas colapsen. Se tratará de buscar las configuraciones óptimas para cada tipo de albergue por separado.
- Los sistemas de tratamiento de agua que se implementen durante la emergencia deben usar el mínimo número de productos químicos para su funcionamiento, ya que esto implica una provisión de dichos productos previo a la emergencia y un almacenamiento condicionado a normatividades de seguridad exigentes.

## 9. ESTRUCTURA DE SERVICIO

A partir del plan integral de análisis de tecnologías para dotación de servicios vitales en alojamientos institucionales en caso de emergencia, dirigido por la Comisión de Infraestructura, Movilidad y Servicios Públicos, se determinaron conceptos importantes con los que se trabajarán para el desarrollo del proyecto, éstos son las etapas del proceso y los escenarios propuestos, éstos se describirán a continuación.

### 9.1 TIPOLOGÍAS DE ALOJAMIENTOS INSTITUCIONALES

Se establece un área mínima de 3 m<sup>2</sup>/hab. en alojamientos de 100, 500 y 1000 hab., el área estimada es la que se presenta en la Tabla 7.

TIPO	CAPACIDAD (hab)	Nº UH	Nº de MÓDULOS	ÁREA APROX. (m <sup>2</sup> )
1	100	20-25	4-5	400-500
2	500	100-125	20-25	2000-2500
3	1000	200-250	40-50	4000-5000

Tabla 7 Estimación de área y número de alojamientos por número de habitantes instalados.

Los alojamientos estarían ubicados en la ciudad de Bogotá en espacios abiertos (parques) durante un periodo máximo de un año. Estos alojamientos serían construcciones livianas o carpas que puedan mantener la población predicha.

### 9.2 ETAPAS

Según el escenario que se presente en el caso de emergencia pueden darse diferentes combinaciones, toda vez que puede existir o no la fuente de captación, el sistema de tratamiento o la distribución. A continuación se muestran las diferentes etapas que componen los escenarios con sus diferentes alternativas.

#### 9.2.1 Tratamiento *Ex – Situ*

Tratamiento *Ex – Situ* se refiere a los tratamientos de potabilización que irían fuera del albergue y que incluyen: las plantas de tratamiento y las fuentes ya instaladas que tiene la ciudad para surtir de agua a la población actualmente, y también los sistemas portátiles que se instalen en dichas fuentes, si por alguna razón fallan los sistemas y/o las redes de distribución actuales.

### **9.2.2 Distribución y Transporte**

Estas dos etapas vienen conjuntas toda vez que la distribución se puede hacer por las redes ya establecidas, si no llegaran a fallar. En caso contrario, la distribución utilizaría diversos medios de transporte como carrotanques y cisternas, entre otras.

### **9.2.3 Captación y Tratamiento *In-Situ***

En esta etapa se realiza la captación de agua por bombeo, principalmente subterráneo y su posterior tratamiento, en un lugar cercano o en el albergue institucional. Cuando la captación *In-Situ* se hace por fuera del albergue, tanto el sistema de captación como el de tratamiento estarían ubicados en un *Nodo de Distribución*.

### **9.2.4 Almacenamiento Modular**

Existen dos tipos de almacenamiento. El primero de ellos se ubica cercano al *Nodo de Distribución* y consta de tanques para un almacenamiento de gran volumen. El segundo tipo se ubicaría en las unidades habitacionales para surtir la demanda diaria por habitante y serían de volumen pequeño para surtir a 5 o 10 personas.

### **9.2.5 Tratamiento Final y Distribución Final**

En estas etapas se plantea como escenario que el agua pueda estar en un tratamiento preliminar y que en cada UH se realice un tratamiento, principalmente de esterilización y/o desinfección y se haga el almacenamiento de segundo tipo, explicado en el numeral anterior. Este almacenamiento a la vez sirve como sistema de distribución porque al ser sistemas modulares de volúmenes pequeños, se podrían transportar en carro, bicicleta o a pie.

En la figura 1 se muestran las diferentes etapas ensambladas son ningún escenario propuesto.

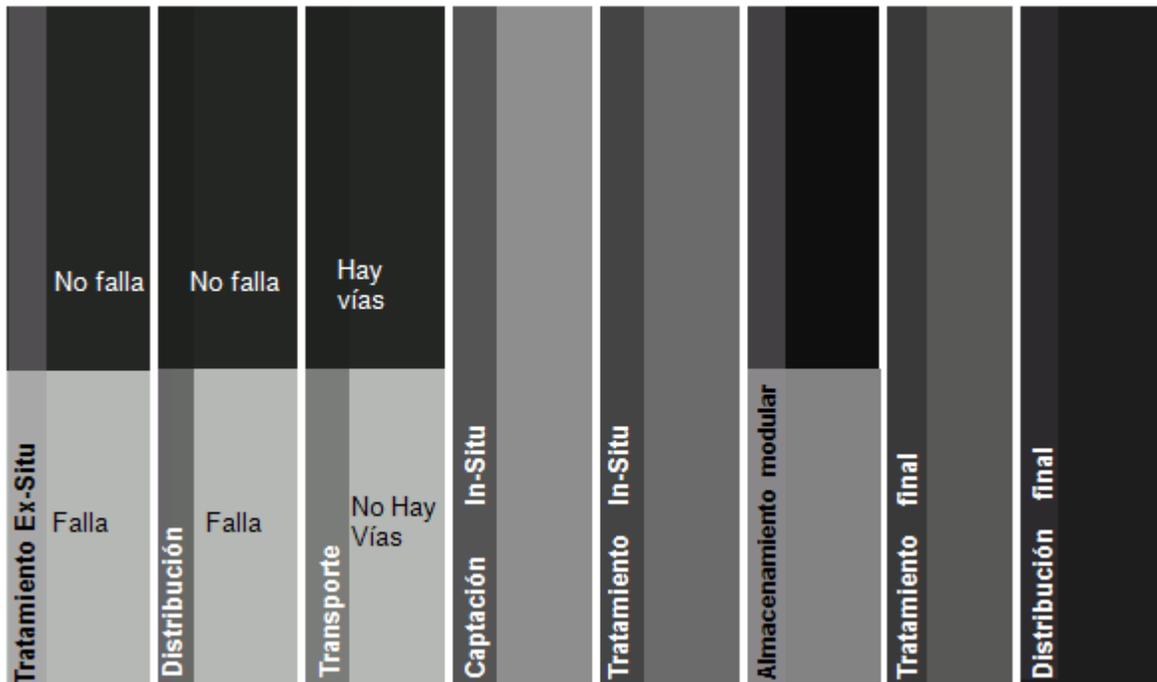


Figura 1. Etapas generales del plan integral de análisis de tecnologías para dotación de servicios vitales en alojamientos institucionales en caso de emergencia.

### 9.3 ESCENARIOS

Es necesario mencionar casos anteriores de atención de emergencias, en cuanto al suministro de agua potable para el estudio de las tecnologías que se usaron en estos eventos y los planes con los que actualmente cuentan los países para atender estas situaciones.

#### 9.3.1 Eventos de emergencias anteriores y distribución de agua

- Terremoto en El Salvador, 13 de enero de 2001: Durante el período de emergencia se distribuyó agua clorada a la población afectada por medio de camiones cisterna. Se instalaron plantas potabilizadoras portátiles en los sectores desabastecidos. El abastecimiento se prolongó hasta el 8 de febrero de 2001 aproximadamente. [9]
- Terremoto en Perú, 15 de agosto de 2007: Durante el período de emergencia, se utilizaron pastillas potabilizadoras de agua y plantas potabilizadoras de agua.
- Terremoto en Haití, 12 de enero de 2010: Para este evento se ha venido suministrando agua potable para la población, por medio de plantas de tratamiento de agua portátiles que fueron dispuestas a disposición de la población por varios países a nivel mundial que se solidarizaron con el desastre.

### **9.3.2 Planes de emergencia**

Actualmente, muchos países a nivel mundial cuentan o se encuentran en proceso de establecer planes de emergencia para un eventual caso de emergencia. Una de las mayores preocupaciones es el suministro de agua potable a la población, pues ésta es vital para la lograr una supervivencia mientras se da una recuperación del desastre.

Estos planes de emergencia, están constituidos principalmente por el diseño de equipos portables de tratamiento de agua con tecnologías sencillas que sean capaces de satisfacer las necesidades de la población con las características mínimas establecidas para estos casos.

Lo más importante en estos casos es lograr una configuración con la que se logren grandes capacidades de producción a un costo moderado en el menor tiempo posible.

### **9.3.3 Evento de emergencia en Bogotá**

Ante una eventual emergencia en la ciudad de Bogotá y sus alrededores, causada por alguna catástrofe natural (sismo, sequía, incendio forestal, etc.) se debe tener un plan maestro para el suministro y abastecimiento de agua potable para todos los habitantes ya que las plantas y redes de conducción y distribución de agua que operan normalmente en Bogotá pueden resultar afectadas.

Una de las primeras etapas del plan maestro de reacción, es la correcta identificación de fuentes alternas ya sean superficiales o subterráneas. Sin embargo, en términos generales es recomendable en lo posible acceder a fuentes subterráneas, debido a que estas presentan una menor contaminación gracias a la filtración que se lleva a cabo en los estratos subterráneos, presentando una remoción de partículas y sustancias orgánicas, lo cual indica una menor necesidad de tratar el agua, generando un suministro más inmediato a la población afectada. No obstante el proyecto abarca todo tipo de fuentes alternativas útiles, para lo cual se contemplan las diferentes tecnologías aplicables teniendo en cuenta de los elementos contaminantes presentes en el agua de la fuente.

### **9.3.4 Análisis para dotación de agua de emergencia en caso de terremoto en Bogotá.**

Los volúmenes mínimos de dotación se establecen de acuerdo con los tiempos posteriores al desastre así:

Abastecimiento de agua para supervivencia transportada de manera manual dentro de los tres días después del desastre. Hasta el tercer día: 3 L/hab · día.

- Abastecimiento temporal de agua dentro de las dos semanas después del desastre. Desde el cuarto hasta el décimo día: 20 a 30 L/hab · día.
- Abastecimiento de agua en estado estacionario. Desde el decimoprimer hasta el vigésimo día: 30 a 40 L/hab · día. Posterior a estos días se debe mantener esta dotación durante 2 meses a un año dependiendo de la magnitud del desastre y la capacidad de respuesta de los entes encargados.
- En cualquier caso, la capacidad mínima por persona debe ser de 20 L/hab · día. Si la capacidad instalada es menor, se deben proponer almacenamientos en lugares de evacuación zonal que generen este volumen.

### **9.3.5 Escenarios propuestos en caso de desastre.**

Cada uno de estos escenarios se puede dar de manera independiente y por zonas, por lo que en algunos lugares puede ser más crítica la situación. En todos los casos se debe plantear un tratamiento previo a la distribución final, excepto en el caso que las plantas de tratamiento y la red de acueducto permanezca funcionando.

- *Escenario Z:* la planta de tratamiento convencional y red de acueducto se mantiene intacta, por lo que se puede transportar el agua desde el punto de captación a los lugares de almacenamiento y distribución.
- *Escenario Y:* la planta de tratamiento convencional se mantiene intacta pero la red de acueducto no y se puede transportar el agua desde el punto de tratamiento a los lugares de almacenamiento y distribución por medio de transporte terrestre.
- *Escenario X:* la planta de tratamiento convencional se mantiene intacta pero la red de acueducto no y tampoco se puede transportar el agua por vía terrestre. Es necesario buscar fuente *in situ*.
- 
- *Escenario W:* la planta de tratamiento convencional no opera, se debe hacer captación y tratamiento portátil y se puede transportar el agua por vía terrestre.
- *Escenario V:* la planta de tratamiento convencional no opera, no hay red y/o no hay vías de transporte terrestre, se debe hacer captación y tratamiento portátil y se puede transportar el agua por vía terrestre. Es necesario buscar fuente *in situ*.

A continuación se visualizan cada uno de los escenarios propuestos con las respectivas etapas integradas.

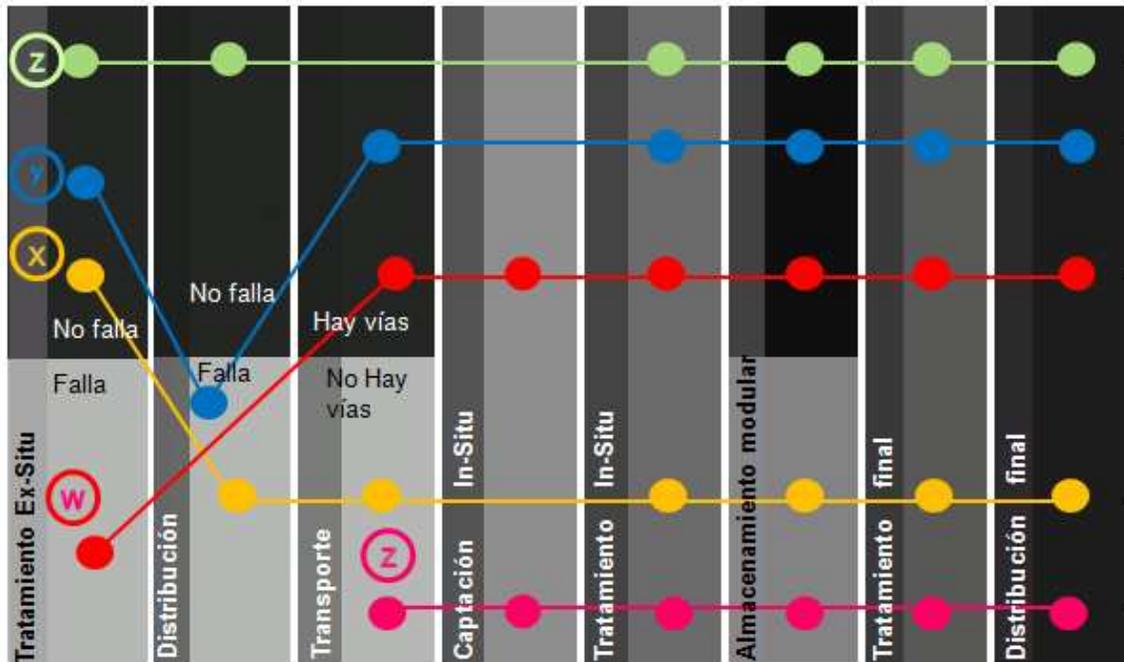


Figura 2. Escenarios propuestos para plan maestro con sus respectivas etapas

## 10 .CRITERIOS DE DEMANDA

En cuanto a la demanda se estimaron parámetros generales que no varían según el escenario planteado, ya que el agua debe cumplir con unas características determinadas sin importar la cantidad de población atendida y los posibles daños que se puedan presentar ya sea en la red, en la planta original o en las vías de transporte. A continuación se explican más claramente cada uno de los parámetros tenidos en cuenta:

### 10.1 CALIDAD

El agua debe cumplir con ciertos requisitos, físicos, químicos y microbiológicos según las normas técnicas de calidad, que la hacen apta para el consumo humano sin producir efectos adversos a la salud. Sin embargo en casos de emergencia existen parámetros de cumplimiento mínimos que garantizan un suministro adecuado de agua consumible a la población.

Para emergencias que presenten una duración inferior a 1 mes, los parámetros que se deben garantizar son los siguientes:

PARAMETROS FISICOQUIMICOS		
Determinación		Concentración o valor
Cloro Residual		0.5 -1 ppm*
Turbiedad	Agua Subterráneas	10 UNT
	Agua Superficiales	5 UNT
Iones hidronio (pH)		6.5 – 8.5

**Tabla 8 Parámetros fisicoquímicos del agua [1]**

Para emergencias de duración superior es necesario cumplir un número superior de parámetros de la calidad del agua de salida antes de ser suministrados al consumidor. (Ver anexo 1)

## 10.2 CANTIDAD

En situaciones de emergencia se necesario brindar la dotación de agua en el menor tiempo posible a la población afectada, para lo cual se establecen medidas que permitan aumentar su disponibilidad, en algunas ocasiones con fuentes alternas de agua. [1]

En el momento de la emergencia son sugeridos los valores de la tabla 3 que fueron compilados bajo la dirección de la OMS, ACNUR y el Proyecto esfera, siendo la población más vulnerable (mujeres y niños) la que presenta mayor prioridad.

Necesidad Básica	Litros por persona/día	Observaciones
Consumo de agua para beber y utilizar con los alimentos	2.5-3	Depende del clima y la fisiología individual
Prácticas básicas de higiene	2-6	Dependen de las normas sociales y culturales
Cocina	3-6	Depende del tipo de alimentos, normas sociales y culturales.
<b>Cantidad total de agua</b>	<b>7.5-15</b>	<b>Aproximado</b>

**Tabla 9 Tabla simplificada de necesidades básicas en cuanto a cantidad de agua para asegurar la supervivencia [1]**

Como factor de contingencia se sobre estimo el consumo de agua diario por habitante (25-30 Litros/Habitante-día) para asegurar una dotación suficiente de agua por unidad habitacional. Dicho valor es adaptado para cada uno de los alojamientos según el número

de población afectada, para así tener un estimativo del caudal requerido frente a la emergencia.

### **10.3 USABILIDAD**

En primera instancia debido a la situación de emergencia se requieren tecnologías que ofrezcan simplicidad en su ensamble y permitan ser transportadas fácilmente por vías terrestres. Adicionalmente debido a la alta logística que se requiere para atender todos los servicios vitales de la población, cada tipo de alojamiento requiere de tecnologías que sean relativamente sencillas de manipular y no requieran de personal capacitado para su uso, sino una simple capacitación inicial.

Por otro lado es importante para todos los tipos de alojamiento, la disponibilidad de un distribuidor de agua, entendiéndose como botellón, almohadilla, tanque que permita al usuario dotarse desde los puntos de abastecimiento globales.

## **11. CRITERIOS DE OFERTA**

A continuación se mencionan los criterios de oferta por etapa, se presenta una breve descripción de las tecnologías y su funcionamiento.

### **11.1 ETAPA: CAPTACIÓN IN-SITU**

#### **11.1.1 Bombeo**

Para aguas provenientes de pozos subterráneos se requieren incluir sistemas de bombeo desde el pozo hasta la superficie y tanques de almacenamiento. A continuación se describen las bombas comercialmente utilizadas y disponibles.

##### ***11.1.1.1 Bombas Multietapa***

Bombas centrífugas multicelulares verticales para aumento de presión y trasiego de agua. Estos equipos alcanzan alturas considerables y maneja un rango de caudales altos. Es un equipo de alto rendimiento ya que alcanza caballajes altos generando una eficiencia considerable en el consumo de energía. [8]



**Figura 3. Bombas multietapa [12]**

#### ***11.1.1.2 Bomba Sumergible.***

Motobomba diseñada para el movimiento de aguas profundas, permitiendo aprovechar las características geológicas subterráneas ubicadas a una distancia mínima de 30 metros de profundidad, su aplicación permite instalarse en funciones de riego, bombeo de agua a grandes alturas o como sistema de presión. [13]



**Figura 4. Bombas sumergibles [14]**

### **11.2 ETAPA: ALMACENAMIENTO**

El almacenamiento del agua es una de las etapas más importantes frente a una emergencia, ya que por medio de ella se garantiza que la población se dote del agua necesaria para sobre llevar el evento, además de asegurar el agua por medio de un extra almacenamiento como factor de contingencia, en caso que falle algunas de las etapas anteriores. Adicionalmente el almacenamiento puede llegar a mejorar la calidad del agua.

Entre las consideraciones que se deben tener a la hora de realizar un almacenamiento se encuentran las siguientes:

- Se recomienda tener una reserva adecuada de agua, como método de prevención en caso de que falle la fuente de suministro. Al menos un día de almacenamiento extra. [15]

- Ubicar los tanques en terrenos con buenos drenajes para evitar inundaciones
- Cubrir los tanques para evitar contaminación del agua.
- En la etapa inicial de la emergencia utilizar tanques que permitan una rápida utilización. A largo plazo, ensamblar tanques estáticos de mayores capacidades.
- Evitar la utilización de tanques elevados debido a grandes cantidades de tipo en su ensamble. Ubicar los tanques en posiciones elevadas para tener una cabeza de presión a favor, para utilizar la gravedad como medio de distribución. En caso de terrenos planos utilizar el bombeo como alternativa de distribución. [15]

Para la etapa de almacenamiento se seleccionaron las siguientes tecnologías:

### **11.2.1 Tanques Compactos de pequeñas capacidades**

Los Tanques y contenedores compactos son versátiles para ser usados en diferentes aplicaciones donde se requiere almacenar variedad de productos. Una de sus aplicaciones más comunes es el uso como tanques externos de almacenamiento y suministro de agua. En su gran mayoría presentan resistencia a la exposición solar (UV) evitando su deterioramiento resultando en una mayor vida útil. Adicionalmente son resistentes al impacto, permitiendo que su transporte, almacenamiento y manipulación requiera poco cuidado.

### **11.2.2 Tanques de Almohadilla**

Los tanques de almohadilla son depósitos flexibles impermeables elaborados con láminas de PVC o EVA, reforzados con tejidos de poliéster (PET), que responden perfectamente a las necesidades en materia de almacenamiento de líquidos. Fácil de plegar y transportar, así como de llenar y vaciar. El contenido del tanque está totalmente asilado permitiendo el almacenamiento seguro y de bajo costo de sustancias perecederas. [15]

Los tanques plegables son una buena alternativa de almacenamiento de agua por su fácil transporte, ya que puede ser movilizado, ya sea en camiones, camperos o en remolques con gran facilidad sin ningún riesgo de daño. Cuenta con una capacidad de 60 galones y el material de fabricación (nylon recubierto de poliuretano) es lo suficientemente fuerte brindándole resistencia, durabilidad y flexibilidad.

Existen diferentes especificaciones de tanques flexibles dependiendo de la demanda de agua debido al alcance de la emergencia [16]



Figura 5. Flexitanques Portátiles de almacenamiento AQUAFLEX[17]

### 11.2.3 Tanques de Flotación con cuello

Los tanques de flotación son bastante utilizados en emergencias gracias a su fácil desmonte y configuración. Comprenden de un tanque flexible de caucho sintético que le brinda mayor resistencia, el cual se encuentra ensamblado a un anillo superior flotante que evita el desbordamiento y salida lateral del agua. Adicionalmente, incluyen protectores externos en la cubierta, para evitar una posible contaminación del agua almacenada así como su propia evaporación. Finalmente, cuentan con soportes propios que le brindan estabilidad hasta una pendiente de  $10^\circ$ . En promedio es posible encontrar tanques desde 1800 litros hasta 90000 litros. [18]

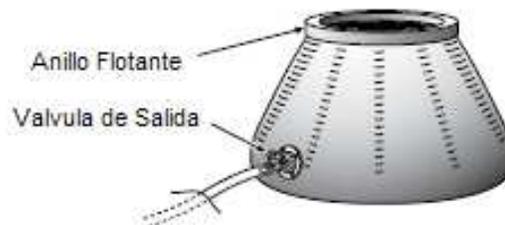


Figura 6. Tanques de Flotación para casos de emergencia

### 11.2.4 Ferro Tanques

Los tanques construidos en Ferrocemento son una alternativa de almacenamiento bastante sugerida en casos de emergencia ya que la materia prima, tal como agua, arena, cemento y alambre de refuerzo, se encuentra habitualmente disponible en la región. Además el conocimiento requerido es mínimo ya que los materiales son habitualmente conocidos por las comunidades y trabajadores no entrenados pueden trabajar satisfactoriamente bajo la supervisión en sólo unos pocos días.

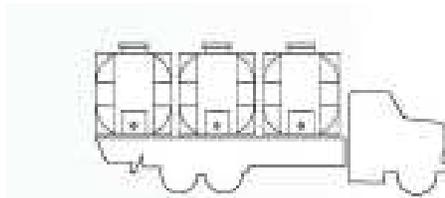
Las técnicas de construcción son simples y no requieren el uso de maquinaria cara y sofisticada ni el suministro de energía. [10]

### **11.2.5 Tanques subterráneos**

Son una alternativa tanto para almacenamiento de agua tratada como la captación de aguas lluvias, siendo esta última fuente alterna de suministro. Los tanques cuentan con un filtro en la entrada para asegurar la calidad del agua almacenada. Adicionalmente, presentan alta resistencia a tráfico pesado superficial sin riesgo de ruptura alguna. Los tanques cuentan con una bomba sumergible automática integrada que facilita la distribución del agua al usuario. Los tanques subterráneos son fáciles de transportar debido a su bajo peso y presentan un larga vida útil (15 -20 años aprox.)

### **11.2.6 Carro tanques**

Son contenedores modulares de rápida instalación en camiones para el transporte de líquidos, en este caso agua potable, convirtiéndolos en carro tanques modulares. Cuentan con caras laterales planas y paralelas que facilitan en ensamble y asimilan el comportamiento de un carro tanque grande.



**Figura 7. Camión transportando 3.300 lt ( 3 x 1.100 lt) [19]**

### **11.2.7 Tanques Desmontables**

Los tanques desmontables son utilizados en casos de emergencia por tener una capacidad de almacenamiento de agua en un rango de 8000 a 200.000 litros, que permite tener una cabeza de presión a favor facilitando así la distribución. En general son construidos con paneles de acero galvanizado y recubrimiento plástico para evitar contaminación y evaporación, adicionalmente cuentan con un recubrimiento interno de Nylon para brindar mejor conservación del líquido.

Para su construcción son necesarias tres personas que lo ensamblen en un tiempo aproximado de 8 horas. El sitio escogido para el tanque debe ser limpiado de vegetación,

suelo suelto y rocas que podrían perforar la base del tanque. Para los tanques más pequeños (hasta 10 m<sup>3</sup>) habitualmente solo es necesario limpiar el sitio y disponer una capa de unos 15 cm de arena y grava una vez todas las conducciones y tubos han sido dispuestos. Para los tanques más grandes es necesario un anillo de cimentación separado para soportar las paredes, que se prepara mediante la excavación de una zanja justo debajo de la línea de pared y rellenándola con hormigón. [20]



**Figura 8. Tanques desmontables OXFAM [21]**

### **11.3 Tratamiento final**

Al final de cada una de las líneas es recomendado realizar un tratamiento final que garantice que la calidad del agua cumpla con todas las especificaciones requeridas según el Decreto 1575 del 9 de mayo de 2007, expedido por el Ministerio de Protección Social. La desinfección es la última etapa en todas las líneas de tratamiento, y cuenta con las siguientes tecnologías disponibles:

#### **11.3.1 Cloración**

La cloración es un proceso común en este tipo de procesos, se puede emplear cloro gaseoso Cl<sub>2</sub>, el cual se genera a partir de la vaporización del cloro líquido almacenado bajo presión. También se puede utilizar Hipoclorito de Sodio líquido ó Hipoclorito de Calcio sólido en forma granular y cal clorada. Cada una de estas sustancias debe cumplir con las normas ya establecidas.

Se debe tener especial cuidado con los subproductos de cloración como los THM ya que pueden causar efectos secundarios adversos a la salud de los consumidores, para su eliminación se puede:

- Remover con carbón activado o por Aeración.
- Reducir de la concentración en compuestos orgánicos o reducir la demanda en cloro en el agua antes de clorar.
- Cambiar el cloro por otro desinfectante. [2]

### **11.3.2 Ozonización**

El ozono O<sub>3</sub> es un medio de desinfección del agua. Este es un gas inestable que se debe generar por medio de equipos especiales por descargas eléctricas en cámaras de aire seco. Es recomendado mantener una concentración residual de 0.2 a 0.4 mg/L durante cuatro minutos. [2]

Es el desinfectante más potente que existe para fines prácticos en el tratamiento de agua. Mata toda clase de microorganismos y tiene la enorme ventaja de revertir en oxígeno después de hacer su trabajo desinfectante, sin dejar residuos químicos en el agua. Usualmente es utilizado como paso final de tratamiento, garantizando que una vez sellado el producto se tenga residual de ozono, el cual desaparece en cuestión de una hora más o menos.

Permite la oxidación y volatilización de compuestos orgánicos, así como el control de algas y compuestos asociados. Desestabiliza ciertos tipos de turbiedad (microflóculos). Remueve componentes causantes de color, así como la oxidación de Hierro y Manganeseo. Presenta cortos tiempos de desinfección.

### **11.3.3 Luz UV**

La luz ultravioleta es otra de las alternativas de desinfección en el tratamiento de agua potable. Una de las más grandes ventajas de este proceso es que a diferencia de los ya mencionados anteriormente, éste no genera ningún subproducto de efecto negativo en la salud humana. [10]

La desinfección por ultravioleta usa la luz como fuente encerrada en un estuche protector, montado de manera que, cuando pasa el flujo de agua a través el estuche, los rayos ultravioletas son emitidos y absorbidos dentro el compartimento. Cuando la energía ultravioleta es absorbida por el mecanismo reproductor de las bacterias y virus, el material genético (ADN/ARN) es modificado de manera que no puede reproducirse. Los microorganismos se consideran muertos y los riesgos de enfermedades, es eliminado.

Los rayos ultravioleta están en la escala de ondas cortas, invisibles, con una longitud de vida de 100 a 400 (nm) (1 nanómetro=10<sup>-9</sup>m).

### **11.3.4 Microfiltración**

La propiedad desinfectante de estas membranas depende de la capacidad que tengan para “retener” los microorganismos patógenos debido a que las dimensiones de estos son

superiores al tamaño de los poros, en el caso de la microfiltración se tiene un tamaño de poro oscila entre 0.1 – 10  $\mu\text{m}$ .

Su fuerza motora es una baja presión que permite el paso de la sustancia soluble, en este caso el agua, a través de la membrana. Este caso el tamaño de poro oscila entre 0.1 – 10  $\mu\text{m}$ .

El tratamiento final también se contempla como el tratamiento que le hace cada usuario en su unidad habitacional, por lo cual se contemplaron las siguientes tecnologías:

### **11.3.5 Filtros múltiple casero y granular**

Estas son tecnologías usadas en la etapa final de todo el tren de tratamiento, ya como último recurso de desinfección antes del suministro de agua a las personas afectadas.

Se encontró que la capacidad de producción de agua limpia para los filtros de medio granular (arena) es mucho mayor que los de vela posibilitando el suministro de agua a una familia durante más tiempo. [22]

### **11.3.6 SODIS**

Existe un tratamiento alternativo de desinfección de agua, el cual se implementa en países en desarrollo donde no se tiene un fácil acceso a este recurso y que en casos de emergencia sería una opción de fácil uso, llamado SODIS, el cual se encuentra recomendado por La Organización Mundial de la Salud (OMS), UNICEF, y la Cruz Roja Internacional. La desinfección se da gracias a la acción de la luz solar. Es un procedimiento simple que consiste en el uso de botellas plásticas transparentes, las cuales deben ponerse al contacto con la luz solar por lo menos 6 horas, la radiación UV del sol elimina patógenos que generan enfermedades diarreicas. [23]

## **11.4 ETAPA: DISTRIBUCIÓN**

Para la distribución del agua desde la fuente a los sistemas de tratamiento o de los sistemas de tratamiento hasta los puntos de almacenamiento para su consumo es necesario un sistema de tuberías y bombas cuando se requiera. El material del sistema de tuberías generalmente es polietileno (PE) y polipropileno. A continuación se presenta una lista de productos del mayor proveedor a nivel nacional de tuberías y accesorios PAVCO. [24]

Adicionalmente para la distribución final domestica se recomienda la utilización de tecnologías de almacenamiento fácilmente disponibles y transportables, tales como los tanques rígidos y tanques de almohadilla.

## 11.5 ETAPA: TRATAMIENTO

### 11.5.1 Convencionales

**11.5.1.1 Rejilla:** Se encuentra en la parte inicial del tratamiento para la remoción de partículas de gran tamaño que pueden interferir con el buen funcionamiento de las tecnologías que siguen en el tren de tratamiento.

**11.5.1.2 Aireación u oxidación:** Por medio de estos procesos se puede oxidar el hierro y otros elementos haciéndolos salir de la solución. También es posible oxidar los compuestos orgánicos y reducir el DBO y DQO. [2]

- **Aireación**

En este proceso el agua a tratar se pone en contacto con aire con el fin de modificar la concentración de sustancias volátiles contenidas en ella. Por medio de la aireación se puede:

- Transferir oxígeno al agua y aumentar el oxígeno disuelto (OD).
- Disminuir la concentración del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- Disminuir la concentración del sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)
- Remover el metano (CH<sub>4</sub>).
- Oxidar hierro (Fe) y manganeso (Mn).
- Remover compuestos orgánicos volátiles (COV). [8]

- **Oxidación Química**

Este proceso debe emplearse cuando es necesario nivelar a valores permitidos los siguientes parámetros:

- Color
- Algas
- Nitrógeno amoniacal
- Olor y sabor
- Hierro y manganeso
- (THMs)

Para la oxidación química se pueden usar productos químicos como dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y cloro, pero se debe hacer un estudio técnico y económico previo para la selección del oxidante. [8]

**11.5.1.3 Coagulación-Floculación:** Uno de los pre-tratamientos más utilizados comercialmente es tanto la floculación como la coagulación de coloides suspendidos, los cuales tienen a estar presente en la mayoría de las fuentes de agua. El principio general de dichos tratamientos es la desestabilización del medio acuoso mediante la adición de coagulantes que elimine las fuerzas de repulsión entre las partículas, para luego propiciar un mezclado uniformemente que permita el aglutinamiento de la materia coloidal formando flocs (floculación) que posteriormente serán sedimentados, bajo el efecto de la gravedad.

Los coloides son partículas estables en solución que tienen un tamaño comprendido entre  $1\mu\text{m}$  y  $0,2\mu\text{m}$ . En general priman las fuerzas de repulsión (fuerzas electrostáticas e hidratación) entre las partículas haciéndolas más estables. Dichas repulsiones ocurren gracias a la carga que usualmente tienen los coloides en la superficie debido a la presencia de una capa doble de iones alrededor de cada partícula.

El coloide tiene una carga en su gran mayoría negativa, sin embargo existen factores tales como el pH los cuales logran alterar la carga. Así por ejemplo a bajos pH una carga positiva superficial prevalece, mientras que a altos pH prevalece la negativa y a pH intermedios podría haber un valor cero. [11]

Entre los coagulantes más utilizados en el mercado se encuentra el sulfato de aluminio, debido a su fácil producción y su precio asequible. Sin embargo existen otras alternativas tales como poli cloruro de aluminio (PAC), que ofrece un pH óptimo de coagulación más alto, además de propiciar una remoción más efectiva, ya que el PAC reacciona más rápido formando en menor tiempo los flocs con respecto al sulfato de aluminio.

Por otro lado se encuentran las sales de hierro férrico, los cuales son bastante utilizados comercialmente pero poseen la desventaja de presentar un color oscuro debido al hidróxido de hierro. Sin embargo el hierro (III) es un coagulante muy eficiente con dos rangos de trabajo de pH. El rango más bajo empieza en aproximadamente 3.5 y termina en pH 7.0 para un agua con alcalinidad alta. El rango más alto es de 8.0 hasta por lo menos 9.5. Es posible escoger el rango de pH para la coagulación dependiendo de las necesidades de purificación. En un pH bajo la remoción de las sustancias orgánicas y del color es buena, así como la remoción de bacteria y plankton. Para la remoción de hierro y manganeso se requiere el rango alto de pH. [25]

Entre los floculantes más utilizados se encuentran los adyuvantes de floculación minerales, la bentonita, el silicio activado, la micro arena, los polímeros orgánicos, los cuales permiten el aglutinamiento de los flocs formados en la coagulación.

En el Anexo 2 se muestra una tabla comparativa entre los coagulantes más utilizados recalcando sus ventajas y desventajas asociadas.

#### ***11.5.1.4 Decantación***

En el proceso de decantación gracias a la acción de la gravedad y la diferencia de densidades entre el agua y los contaminantes, se efectúa la separación, recolectando los lodos en el fondo del decantador. Generalmente esta tecnología es posterior a otros tratamientos que aglomeran los flocs para aumentar su peso y así reducir el tiempo de decantado.

#### **11.5.2 No Convencionales**

Las tecnologías de purificación de aguas por medio de membranas han surgido como una alternativa de purificación de aguas, que tiene ventajas sobre las demás tecnologías, entre las cuales se pueden destacar la obtención de una alta purificación del fluido contaminado sin la aplicación de sustancias químicas, además de su relativo bajo uso de energía y fácil disposición. En términos generales todas las tecnologías relacionadas involucran una membrana semi-permeable, la cual se encarga de filtrar los sólidos suspendidos y otras sustancias mientras permite el paso del agua.

Entre las tecnologías disponibles se encuentran las siguientes:

##### ***11.5.2.1 Filtros de Arena***

Los filtros de arena son los elementos más utilizados para filtración de aguas con cargas bajas o medianas de contaminantes, que requieran una retención de partículas de hasta veinte micras de tamaño. Las partículas en suspensión que lleva el agua son retenidas durante su paso a través de un lecho filtrante de arena. Una vez que el filtro se haya cargado de impurezas, alcanzando una pérdida de carga prefijada, puede ser regenerado por lavado a contra corriente.

La calidad de la filtración depende de varios parámetros, entre otros, la forma del filtro, altura del lecho filtrante, características y granulometría de la masa filtrante, velocidad de filtración, etc.

Estos filtros se pueden fabricar con resinas de poliéster y fibra de vidrio, muy indicados para filtración de aguas de río y de mar por su total resistencia a la corrosión. También en acero inoxidable y en acero al carbón para aplicaciones en las que se requiere una mayor resistencia a la presión.

#### ***11.5.2.2 Filtros de Carbón Activado***

El carbón activado es un medio filtrante que sirve para remover el cloro, mal olor y sabor del agua, así como sólidos pesados (plomo, mercurio) en el agua. Es el único que remueve los contaminantes orgánicos del agua (restos de insecticidas, pesticidas, herbicidas y bencenos, así como derivados del petróleo)

El filtro de carbón funciona por el mismo principio que el filtro de arena, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad. El carbón activado es un material natural que con millones de agujeros microscópicos que atrae, captura y rompe moléculas de contaminantes presentes.

#### ***11.5.2.3 Filtros Multimedia***

Los filtros multimedia permiten retirar sólidos suspendidos en el agua de tamaños de hasta 15 micrómetros, por medio de diferentes grosores o calibres de distintos medios filtrantes. Es un trabajo mecánico para remover todas las partículas suspendidas en el agua, al igual que los filtros de arena es económico, ya que requiere muy poco mantenimiento. Los filtros multimedia permiten la obtención de altos niveles de claridad del agua. [26]

#### ***11.5.2.4 Filtros de Cartucho***

Los filtros de cartucho permiten la remoción de partículas de carácter fisicoquímico, microbiológico y organoléptico, adicional a esto, presentan la facilidad de cambio de cartucho una vez se cumpla su vida útil.

#### ***11.5.2.5 Filtros biológicos***

Es una tecnología de membrana muy completa por su poder de remoción de sólidos suspendidos, partículas fisicoquímicas y microbiológicas, además de la facilidad de mantenimiento.

Los Biofiltros de arena son utilizados comercialmente para el tratamiento de hierro, parásitos, el color, quistes, manganeso, mercurio y turbidez, por medio de un tratamiento biológico en el cual los microorganismos presentes en el agua encuentran un medio natural

donde interactuar permitiendo la purificación del agua filtrante. Los microorganismos presentes en el filtro se alimentan de los contaminantes en el agua. En el sistema de Bioarena, la mayoría de los microorganismos que se concentran en la parte superior del filtro cubriendo varias pulgadas de arena, permitiendo de esta manera un tiempo de contacto adecuado que garantice la descontaminación del agua. [27]

La remoción biológica del Mn y el Fe está basada en diferentes etapas de Biofiltración en donde capas del filtro son colonizadas con bacterias oxidantes, las cuales se encuentran con gran frecuencia en las aguas subterráneas, pantanos, estanques, lagos, pozos de agua, entre otros. Estas bacterias son capaces de multiplicarse en los filtros de arena bajo condiciones apropiadas, permitiendo una oxidación divalente de los iones Fe (II) y Mn (II) precipitándolos en sus formas oxidadas Fe(III) y Mn(IV), las cuales son retenidas en el filtro. [27]

#### ***11.5.2.6 Suavización***

Existen muchas tecnologías disponibles para el ablandamiento de agua, entre las cuales se destacan el ablandamiento por medio de resinas de intercambio iónico y el ablandamiento por membranas.

##### **11.5.2.6.1 Resinas Iónicas**

Tradicionalmente el ablandamiento del agua se efectúa por medio de resinas intercambiadoras de iones en ciclo sodio en donde se intercambian iones sodio por iones calcio y magnesio principalmente, y de esta manera el agua ya no forman precipitados de sulfatos y carbonatos de calcio y magnesio que dañan tuberías, calderas, sistemas de enfriamiento y componentes de la planta de producción o del edificio donde se procesa agua de alta dureza.

Adicionalmente, el proceso de ablandamiento con resinas catiónicas en ciclo sodio no es muy amigable desde el punto de vista ecológico y sustentable, ya que en cada ciclo de regeneración debe desecharse al drenaje o algún sitio de captación y confinamiento el concentrado de sales que se genera en el proceso de reactivación de la resina; sitio con el cual no se tiene la certitud de contar en caso de una eventual emergencia.

##### **11.5.2.6.2 Membrana**

La tecnología de suavización por membrana se basa en fenómenos físicos, en los cuales por diferentes tamaños de poro se impide el paso a través del medio filtrante de iones de tamaño relativamente grande como:  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ . Debido a que la dureza del agua se debe a la presencia de iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , tecnologías como la nanofiltración son útiles para el ablandamiento del agua. [28]

## **12. EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS**

A continuación se mencionan las principales consideraciones que se tuvieron en cuenta para la realización de la evaluación de las tecnologías. Cabe mencionar que las tecnologías fueron agrupadas según la finalidad de su uso y sus principales características.

### **12.1 TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO**

Debido al importante papel que cumple el almacenamiento del agua en casos de emergencia por la discontinuidad del servicio vital a la población, se seleccionaron tecnologías que se encontraran comercialmente disponibles y que fueran fáciles de transportar y en algunos casos ensamblar en el sitio.

La evaluación de las tecnologías de almacenamiento para cada uno de los factores seleccionados se estimó cuantitativamente en un rango de 0 a 3, siendo 3 la máxima calificación que corresponde a una respuesta tecnológica comercial que cumple con el demanda por parte de la población atendida, y cero (0) como la más baja calificación posible.

A continuación se describen cada uno de los factores tenidos en cuenta en la evaluación:

**CANTIDAD:** Hace referencia a la capacidad de almacenamiento disponible como oferta comercial tecnológica, que supla las necesidades de la población como demanda según el escenario evaluado. Para dicha evaluación se tuvo en cuenta la cantidad de agua mínima para subsistir según su utilización en casos de emergencia.

**CALIDAD:** La calidad se evaluó bajo los siguientes criterios:

- Facilidad de limpieza en caso de contaminación de agua almacenada.
- Material apropiado en cuanto a calidad y duración en el tiempo.
- Hermeticidad para evitar contaminación del agua almacenada.

**USABILIDAD:** Los criterios incluidos en la evaluación fueron los siguientes:

- Modularidad: La modularidad hace referencia a la capacidad que tienen los tanques para poder aumentar su capacidad en el tiempo.
- Compatibilidad: La compatibilidad se definió como la dependencia que tiene la tecnología con otras para poder tener un buen desempeño.
- Operabilidad: La operabilidad hace referencia a la facilidad que tenga la tecnología para ser manipulada directamente por el usuario final.

*COSTOS:* Para la evaluación de costos de los tanques el único parámetro que se tuvo en cuenta fue el valor promedio comercial, a través del cual se realizó una comparación y una estimación siendo \$\$\$\$ la más costosa y \$ la más barata.

Para la etapa de almacenamiento aplican las siguientes tecnologías:

20. *Tanques Rígidos*
21. *Tanques de Almohadilla*
22. *Tanques de flotación con cuello*
23. *Tanques desmontables o almohadilla grandes*
24. *Tanques de Ferrocemento*
25. *Tanques Subterráneos*
26. *Carro tanques*

La etapa de almacenamiento se encuentra presente en dos momentos en la línea de ensamble de tecnologías, en primera instancia aparece en la etapa seis, en la cual se realiza un almacenaje y tratamiento de agua global que funciona como punto de abastecimiento de las unidades habitacionales. Por otro lado se tiene el almacenamiento de agua en la última etapa la cual hace referencia al almacenamiento y tratamiento doméstico por parte del consumidor final, el cual tiene su provisión de agua necesaria hasta la siguiente dotación del punto de abastecimiento.

Adicionalmente cabe mencionar que debido a la logística requerida para suplir agua a un tipo de alojamiento específico, los alojamientos tipo 1 y 2 en el caso de presentarse un escenario w ó v en donde se requiera realizar un tratamiento in-situ, se suplirán de un punto de abastecimiento común, mas no contarán con planta dentro del albergue individual. Por dicha razón escenarios w y v para el caso de los alojamientos tipo 1 y 2 cuentan en la etapa 3 con un “almacenamiento-transporte” de agua desde el punto de suministro hasta el sitio de estadía parcial según el caso.

En los distintos escenarios se evaluaron las tecnologías de la siguiente manera:

- Para albergues tipo 1 y 2, tanto los tanques rígidos como los tanques de almohadilla y tanques de flotación con cuello obtuvieron la puntuación máxima en cuanto a capacidad por ofrecer capacidades adecuadas para el suministro de agua para esa cantidad de usuarios.
- En cuanto a calidad los tanques rígidos obtuvieron la puntuación máxima en comparación de los tanques con cuello y almohadilla, por presentar una facilidad de limpieza, hermeticidad y el material más adecuado para el almacenamiento de agua.
- Para el criterio de usabilidad, las tres características evaluadas fueron modularidad, compatibilidad y operabilidad. Los resultados fueron los siguientes:
  - o La puntuación más alta fue para tanques rígidos y de almohadilla, ya que cumplen con todos los criterios mencionados y frente a las demás tecnologías almacenamiento son las de mayor facilidad de uso.
  - o En el caso de los tanques de flotación con cuello, la puntuación fue de 2, ya que requieren de personal capacitado para su instalación adecuada.

Finalmente la evaluación queda de la siguiente manera:

- a. Cantidad
- b. Calidad
- c. Usabilidad
- d. Costo

20				21				22			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
3	3	3	\$	3	2	3	\$\$\$	3	2	2	\$\$\$

**Tabla 10. Calificación final tecnologías de almacenamiento, alojamientos tipo 1 y 2**

Para alojamientos tipos 3 se incluyeron las demás tecnologías, las cuales fueron evaluadas comparativamente de la siguiente manera:

- Todas los diferentes tipos de tanques tienen una oferta comercial de capacidad que suple las necesidades requeridas por este tipo de albergue, obteniendo por esta razón la puntuación máxima.
- Los tanques en Ferrocemento obtuvieron la puntuación máxima en cuanto a calidad por ser herméticos, presentar facilidad de limpieza y tener un material apto para el almacenamiento de agua en condiciones de emergencia. El resto de las tecnologías

comparadas obtuvieron una puntuación de 2 por dificultades en la limpieza, como en el caso de los tanques subterráneos y los tanques desmontables.

- En cuanto a usabilidad, la tecnología más apta para el almacenamiento de agua de grandes poblaciones corresponde a los tanques desmontables, ya que a pesar de que requiere personal capacitado para su montaje sus instalaciones son relativamente sencillas y se tienen tiempos de construcción bajos (8 horas).

Finalmente en la evaluación de costos se compararon volúmenes iguales para cada una de las tecnologías y se realizó una evaluación cualitativa en un rango de \$\$\$\$ a \$.

Las tecnologías que generan un mayor costo son los tanques de Ferrocemento y los carro tanques, sin embargo los primeros son muy utilizados en casos de emergencia, ya que se pueden ensamblar fácilmente con materiales disponibles en su gran mayoría y con una adecuada capacitación, los mismos usuarios pueden servir como mano de obra, reduciendo considerablemente los costos y generando una respuesta más rápida frente a la emergencia.

La evaluación para este grupo de tecnologías se resume en la siguiente tabla:

23				24				25				26			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
3	2	2	\$	3	3	1	\$\$\$\$	3	2	1	\$\$	3	2	3	\$\$\$\$

Tabla 11. Calificación final tecnologías de almacenamiento, alojamientos tipo 3

## 12.2 TECNOLOGÍAS PARA DESINFECCIÓN FINAL

Para este grupo aplican las siguientes tecnologías:

18. *Desinfección final*
27. *Lámparas UV*
28. *Ozonizadores*
29. *Cloración*
30. *Microfiltros*

Para el criterio de cantidad en la evaluación, el factor seleccionado fue el rango de caudales ofrecidos comercialmente que suplieran la demanda requerida para cada uno de los trenes de tratamiento. La puntuación cuantitativa se efectuó en el mismo rango utilizado en almacenamiento.

Para el criterio de calidad, el factor a tener en cuenta fue la flexibilidad del tratamiento frente a su efectividad para la desinfección del agua de entrada con respecto a todas sus características microbiológicas. La puntuación cuantitativa se efectuó en el rango de 3 a 0, siendo 3 la que aplica a las tecnologías que generan los resultados de desinfección más favorables, es decir un agua de mejor calidad y 0 las que no generan una calidad favorable del agua de salida. Se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Para las lámparas UV se generó la puntuación más alta, ya que este es un tratamiento efectivo contra los organismos microbiológicos presentes en el agua y no genera ningún subproducto de efecto negativo en la salud humana a diferencia de la desinfección con cloro u ozono. Sin embargo cabe mencionar que no cuenta con poder remanente y el efecto bactericida no es inmediato a la puesta en marcha de la lámpara.
- Para la microfiltración la puntuación fue de 2, debido a que pese a ser un tratamiento muy efectivo, no cuenta con residuales que aseguren la calidad del agua después de un determinado periodo de tiempo. Adicionalmente existen bacterias y virus que debido a su tamaño, no son rechazadas por la membrana.
- Para la ozonización la puntuación en este criterio fue de 2, debido a la generación de subproductos, sin embargo es importante mencionar que en comparación a la cloración, este proceso tiene una acción más rápida de desinfección al necesitar tiempos de contacto mucho menores.
- La cloración cumple con varios roles, además de la desinfección, permite la eliminación de hierro, manganeso, sulfuros, amoníaco y otras sustancias reductoras.

Para el criterio de usabilidad, las tres características evaluadas fueron modularidad, compatibilidad y operabilidad. Se tuvo en cuenta lo siguiente:

- La puntuación más alta fue para cloración, ya que cumple con todos los criterios mencionados y frente a las demás tecnologías de desinfección es la de mayor facilidad de uso.
- Para la microfiltración, lámparas UV y ozono, la puntuación fue de 1, ya que no cumplían los criterios de operabilidad y compatibilidad, el primero porque es necesario la presencia de personal capacitado para su instalación y manipulación y el segundo porque se requiere de un tratamiento a priori o posteriori según sea el caso, para un adecuado tratamiento del agua por ejemplo en el caso de la desinfección por UV es necesario un constante mantenimiento y reemplazo de las lámparas además de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos objetivo no están blindados de la radiación UV.

Para la evaluación de costos de las tecnologías de desinfección nuevamente el parámetro tenido en cuenta fue el valor promedio comercial, a través del cual se realizó una comparación y una estimación siendo \$\$\$\$ la más costosa y \$ la más económica.

Las puntuaciones se resumen a continuación:

18				27				28				29				30			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
3	2	3	\$	3	3	1	\$\$\$\$	3	2	1	\$\$\$	3	2	3	\$	3	2	1	\$\$

Tabla 12 Calificación final tecnologías de desinfección final

A continuación se muestra una tabla de comparación de desinfectantes donde +++++ es excelente, +++ bueno, ++ mediano, + bajo y 0 nulo.

Reactivo		Eficacidad			Poder remanente	Efecto bacterioestático (biofilm)
		Bacterias	Virus	Quistes		
Cloro	HOCl	++++	++++	++	++++	++
	O Cl	+++	++	+	+++	+++
	NH <sub>2</sub> Cl	++	+	+	++++	++++
Ozono	ClO <sub>2</sub>	++++	++++	++++	0	0
UV 254 nm		+++	+++	+	0	0

. Tabla 13. Comparativa de desinfectantes.10]

### 12.3 TECNOLOGÍAS PARA DESINFECCIÓN FINAL CASEROS

En este caso aplican las siguientes tecnologías:

31. Filtro múltiple casero (granular)

32. Filtro cerámico casero (vela)

Por lo encontrado con respecto a las especificaciones y características de los dos tipos de filtros caseros, se concluyó que la capacidad de producción de agua limpia para los filtros de medio granular (arena) es mucho mayor que los de vela posibilitando el suministro de agua a una familia durante más tiempo antes de la limpieza del filtro. Por tal motivo la calificación cuantitativa para el criterio de cantidad para los filtros granulares es de 3 mientras que para los de vela es de 2.

Para el criterio de calidad, se tiene que la capacidad de retención de un filtro granular es mucho mejor, por ejemplo si se tienen aguas ligeramente turbias no es conveniente el uso de un filtro de vela ya que demandaría una limpieza continua a fin de recuperar su capacidad de filtración. Por tal motivo la calificación máxima en este criterio nuevamente la tiene el filtro granular.

Para el criterio de usabilidad se evaluaron las siguientes características: modularidad, compatibilidad y operabilidad, nuevamente se tiene que el filtro granular supera al de vela por su operabilidad principalmente porque este último al tener una capacidad de filtrado menor requiere un mayor lavado del medio filtrante deteriorándolo y disminuyendo su vida útil, mientras que la limpieza o cambio del medio granular no reviste ninguna dificultad para el usuario.

Para la evaluación de costos de las tecnologías de desinfección caseras se realizó de la misma manera que las tecnologías anteriores.

Finalmente la evaluación queda de la siguiente manera:

31				32			
a	b	C	d	a	b	c	d
3	3	3	\$	2	2	2	\$\$\$

Tabla 14. Calificación final tecnologías de desinfección final caseros

## 12.4 TECNOLOGÍAS PARA AIREACIÓN Y OXIDACIÓN

En este caso aplican las siguientes tecnologías:

5. *Pulverización/Aireación*

6. *Pre-oxidación*

13. *Oxidación intermedia*

Para la evaluación del criterio de cantidad se tuvo en cuenta la capacidad de operación de los equipos para los caudales requeridos en los trenes de tratamiento. Se encontró que hay disponibilidad comercial de estas tecnologías que trabajen bajo estos requerimientos, por tanto la puntuación es la más alta.

Para el criterio de calidad, el factor a tener en cuenta fue la flexibilidad de la tecnología frente a su efectividad en el tratamiento del agua con respecto a todas sus características

microbiológicas, fisicoquímicas y organolépticas. Para todos los casos se tiene que las tecnologías cumplen por tanto obtienen la calificación más alta.

Para el criterio de usabilidad, las tres características evaluadas fueron modularidad, compatibilidad y operabilidad. Para las tecnologías de oxidación se tiene una dificultad mayor para ser manipulada directamente por el usuario final, por tanto tiene un punto menos en la calificación comparada con aireación.

Para la evaluación de costos de estas tecnologías el único parámetro tenido en cuenta fue el valor promedio comercial, a través del cual se realizó una comparación y una estimación siendo \$\$\$\$ la puntuación dada a la de mayor valor y \$ a la de menor valor comercial.

Finalmente la evaluación queda de la siguiente manera:

5				6				13			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
3	3	3	\$\$\$	3	3	2	\$\$	3	3	2	\$\$

Tabla 15. Calificación final tecnologías para aireación y oxidación

## 12.5 TECNOLOGÍAS DE FILTRACIÓN

En este caso aplican las siguientes tecnologías:

- 9. Filtración sobre arena
- 10. Filtración bicapa / TRICAPA
- 11. Filtración en CAG
- 12. Filtración en otro material (Arena verde)
- 16. Filtración con cartuchos
- 17. Filtración biológica

Para la evaluación del criterio de cantidad se tuvo en cuenta la capacidad de operación de los equipos de filtración para los caudales requeridos, se encontró que todas las tecnologías aquí evaluadas cumplían con las especificaciones de caudal, por tanto obtienen todas la puntuación más alta.

Para el criterio de calidad, el factor a tener en cuenta fue la flexibilidad de cada tecnología frente a su efectividad en el tratamiento de filtración, con respecto a todas sus

características microbiológicas, fisicoquímicas y organolépticas. Las principales consideraciones para la puntuación son:

- Para los filtros de cartucho y filtración biológica se encontró que cumplían con todos los criterios de evaluación (remoción de partículas de carácter fisicoquímico, microbiológico y organolépticos) por tanto obtienen la puntuación más alta.
- Para los filtros de arena, bicapa y de arena verde se encontró cumple con la remoción de partículas de carácter fisicoquímico y organoléptico, mas no microbiológicos, por lo tanto tienen una puntuación de 2.
- El filtro en CAG tiene una capacidad de adsorción muy buena reduciendo la materia orgánica y el cloro, sin embargo es ineficaz contra muchos compuestos inorgánicos, bacterias y virus, razones por las cuales es calificado con una puntuación de 2.

Para el criterio de usabilidad se evaluaron las siguientes características: modularidad, compatibilidad y operabilidad.. Para operabilidad los filtros de cartucho, y los biológicos a pesar de requerir un personal capacitado para su instalación, presentan la facilidad de cambio del medio filtrante una vez se cumpla su vida útil, por lo cual fueron calificados con la puntuación máxima.

De la misma manera los filtros de arena obtuvieron la puntuación máxima al manejar un material filtrante que no requiere de un personal capacitado para su correcta operación. Finalmente todos los filtros cumplen con el criterio de compatibilidad, ya que evaluado como tren de filtración, no depende de ninguna otra tecnología. Sin embargo se recomienda realizar un ensamble con otras tecnologías (ej. rejillas para alargar la vida útil de los equipos, haciendo más rentable la inversión.

Para la evaluación de costos de las tecnologías de filtración el parámetro evaluado fue el valor promedio comercial, por tanto se realizó una comparación y una estimación siendo \$\$\$\$ la más cara y \$ la más económica.

Finalmente la evaluación queda de la siguiente manera:

9				10				11			
a	b	c	d	A	b	c	d	a	b	c	D
3	2	3	\$	3	2	2	\$\$\$	3	2	2	\$\$\$

12				16				17			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	D
3	2	2	\$\$	3	3	3	\$\$	3	3	3	\$\$\$

Tabla 16. Calificación final tecnologías de filtración

## 12.6 TECNOLOGÍAS EVALUADAS INDEPENDIENTEMENTE

Algunas de las tecnologías fueron evaluadas independientemente bajo los mismos criterios que se tuvieron en consideración para las otras tecnologías referentes al tratamiento del agua.

En este caso se tuvieron las siguientes tecnologías:

4. *Rejillas*

7. *Coagulación- Floculación*

8. *Decantación*

14. *Tanque de Break Point (Cloro)*

Al igual que en el caso de las demás tecnologías, evaluando el criterio de cantidad se encontraron ofertas comerciales disponibles que suplían las especificaciones de los caudales requeridos, razón por la cual todas las tecnologías aquí mencionadas obtuvieron la puntuación máxima.

En cuanto a calidad cada tecnología fue evaluada independientemente ya que son complementarias y sirven de soporte para el tratamiento del agua. Así por ejemplo en un tren de tratamiento se tiene en primera instancia la coagulación–floculación, la cual se encarga de clarificar el agua por medio de la desestabilización de las partículas suspendidas produciendo un aglutinamiento de las mismas, las cuales posteriormente pasan por una decantación para efectuar su separación.

Las principales consideraciones que se tuvieron en cuenta para su acertada evaluación fueron las siguientes:

- Tanto la coagulación como la floculación tratan primordialmente los coloides suspendidos en el agua los cuales pueden llegar a ser causantes de parámetros organolépticos y físicos, tales como la turbiedad, el color, entre otros. Algunos coagulantes tratan parámetros microbiológicos (ej. Bacterias) que se comportan como coloides, sin embargo no es una generalidad, por lo cual dicha tecnología obtuvo una puntuación mediana de 2.

- Al igual que la coagulación, la decantación en principio se encarga de la eliminación de materia en suspensión (MES) del agua cruda, hidróxidos insolubles (Fe,Mn), precipitados de una descarbonatación, así como los flocs formados durante una coagulación-floculación. Sin embargo no es una tecnología apta para eliminación de contaminantes microbiológicos, por lo cual tiene una puntuación de 2.

Las rejillas obtuvieron una puntuación de 1, ya que según sus características, es la primera que aparece en un tren de tratamiento reteniendo únicamente partículas de grande tamaño que pueden interferir en el buen funcionamiento de las demás tecnologías durante el proceso de purificación.

Para el tanque de Break Point (Cloro), cabe resaltar que la adición de cloro en el punto inicial cumple con dos funciones, de desinfección y oxidación. Por tanto pueden eliminar hierro, manganeso, sulfuros, amoniaco y otras sustancias reductoras, además de sabores existentes antes de la cloración y reduce el crecimiento de algas y otros microorganismos presentes en el agua. Esto se consigue añadiendo cloro hasta conseguir cloro residual libre en el agua (Break point) normalmente se busca 0.5 ppm de cloro libre. El cloro se puede adicionar en forma de cloro líquido, solución de hipoclorito de sodio o tabletas de hipoclorito de calcio. Por todo lo mencionado se tiene una puntuación de 2. [2]

Para el criterio de usabilidad se evaluaron las mismas características: modularidad, compatibilidad y operabilidad. En todos los casos se cumple el criterio de modularidad, al igual que en criterio de operabilidad no se cumple en ninguno a excepción de las rejillas, debido a que es necesario la presencia de una persona capacitada para su instalación y mantenimiento, además de incluir químicos que requieren ser dosificados adecuadamente. Para los decantadores y las rejillas, se cumple el criterio de compatibilidad ya que no es necesario el uso de una tecnología previa para su uso, mientras que para las otras tecnologías si la necesitan.

Al igual que en tecnologías pasadas, se realizó una comparación del valor comercial de cada una de las tecnologías y se evaluó en un rango de [\$\$\$-\$\$\$\$].

A continuación se muestra el resultado de la evaluación comparativa de las tecnologías:

4				7				8				14			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
3	1	3	\$	3	2	1	\$\$	3	2	2	\$\$\$	3	2	1	\$\$\$

Tabla 17. Calificación final tecnologías evaluadas independientemente

## 12.7 TECNOLOGÍA DE SUAVIZACIÓN

En cuanto a calidad el filtro de suavización se tienen películas que son de un tamaño suficientemente grande para permitir el paso de agua y de iones de diámetro pequeño que rechazan o impiden el paso a través de la película de iones de tamaño relativamente grande como:  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$  entre ellos los causantes de la dureza en el agua.

Para evaluación del parámetro de cantidad para esta tecnología fue evaluado con la puntuación máxima, ya que existen equipos comercialmente disponibles para manejar los caudales requeridos. Sin embargo es importante mencionar que debido al modo de funcionamiento de la tecnología y el pequeño tamaño de la película, el rechazo o desecho de agua que se produce en la membrana es de un 50% (cuando es muy alta la dureza del agua cruda) hasta un 25% (cuando la dureza del agua a procesar es relativamente baja), por lo cual se requiere tener equipos con mayores capacidades para obtener los caudales requeridos.

En cuanto a calidad, las membranas de nanofiltración, tienen un pequeño tamaño de película que termina siendo una ventaja, ya que previene el paso de una porción del total de sólidos disueltos (TSD) (principalmente iones divalentes) y remueven la mayor parte de la materia orgánica disuelta presente en las aguas naturales.

Las membranas de nanofiltración, al tener poros de menor diámetro, pueden retener sustancias orgánicas, así como moléculas medianas y grandes presentes en el agua, sin necesidad de añadir productos químicos, razones por las cuales se calificó con la máxima puntuación. Sin embargo hay que tener en cuenta que el costo de contar con poros más pequeños es la necesidad de una mayor presión para hacer pasar el agua limpia a través de la membrana, lo que se traduce en mayores requerimientos energéticos.

Finalmente en operabilidad, los nanofiltros de suavización son una opción bastante adecuada, ya que presentan una buena modularidad y a pesar de que requerir limpieza y mantenimiento, dándoles unas buenas condiciones de uso, las visitas para tales propósitos son distanciadas. Al igual que en los casos anteriores se evaluaron los precios promedios de la tecnología para los caudales requeridos.

Finalmente la evaluación queda de la siguiente manera:

19			
a	b	c	d
3	3	2	\$\$

Tabla 18. Calificación final tecnología de suavización

Adicionalmente es importante tener en cuenta que el costo de mantenimiento de los filtros de suavización es mínimo comparado con el costo de operación del proceso tradicional de suavización por intercambio iónico.

## 12.7 TECNOLOGÍAS DE BOMBEO

En este caso aplican las siguientes tecnologías:

1. *Bombas multietapa*
2. *Bombas sumergibles*
3. *Bombas manuales*

Para la evaluación del criterio de cantidad se tuvo en cuenta la capacidad de operación de los equipos de bombeo para los caudales requeridos. Las dos primeras tecnologías cumplen con los requerimientos, mientras que las bombas manuales trabajan con caudales bajos, por lo tanto en este criterio obtiene una puntuación de 1.

Para el criterio de calidad se tuvo en cuenta criterios como la flexibilidad, tipo de agua y fácil mantenimiento. Nuevamente las bombas manuales se encuentran en desventaja con respecto a los otros dos tipos, por tanto la puntuación es de 2.

Para el criterio de usabilidad, se tuvo en cuenta criterios como la operabilidad, es decir si el equipo operaba fácil o difícilmente, la compatibilidad o adaptación al medio de trabajo y el gasto energético. En este caso las primeras dos cumplen con los criterios de operabilidad y compatibilidad pero al requerir el uso de energía eléctrica no obtiene la puntuación máxima. Por otro lado las bombas manuales se sabe que exigen de un esfuerzo extra para su uso por lo tanto no cumplen el criterio de operabilidad, pero si los otros dos.

Para la evaluación de costos de las tecnologías de bombeo el parámetro evaluado fue el valor promedio comercial, por tanto se realizó una comparación y una estimación siendo \$\$\$\$ la más barata y \$ la más costosa.

Finalmente la evaluación queda de la siguiente manera:

1				2				3			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	C	d
3	3	2	\$\$\$	3	3	2	\$\$\$\$	1	2	2	\$

Tabla 19. Calificación final tecnologías de bombeo

## **13. RECOMENDACIONES SEGÚN ESCENARIO Y TIPO DE ALOJAMIENTO**

### **13.1 ESCENARIO Z**

Para el escenario Z en el cual no existe daño alguno ni de la planta de tratamiento convencional ni de la red del acueducto, se requiere simplemente de un transporte desde la fuente hasta los lugares de almacenamiento y un tratamiento final que corresponde a una desinfección final.

Para el tipo de alojamiento 1 según los resultados obtenidos en cuanto a calidad se recomiendan los tanques rígidos para realizar un almacenamiento desde el punto de abastecimiento y un filtro múltiple casero como tratamiento final para garantizar la calidad del agua en el momento del consumo, lo cual según la tabla de evaluación corresponde a la VII. Adicionalmente cabe mencionar que la selección de dicha línea no presenta una alta inversión en comparación a las demás. En el caso del alojamiento 2, según los resultados obtenidos se recomienda la misma tecnología de almacenamiento y tratamiento final, la cual corresponde a la ruta V, sin embargo se sugiere tener en cuenta los tanques de almohadilla los cuales brindan una solución viable y practica de almacenamiento debido a su facilidad de ubicación y transporte además de contar con las capacidades requeridas por dicho tipo de alojamiento. Finalmente en el caso del tipo de alojamiento 3, se incluye un almacenamiento domestico debido a la magnitud de la población atendida. Según los resultados obtenidos se encontró que la línea más apta corresponde a la XXXIII, en donde se tienen 2 tecnologías de almacenamiento (tanques rígidos y tanques desmontables) y el mismo filtro múltiple casero y cloración como tratamiento final. Es importante mencionar que existen otras líneas q ofrecen el mismo puntaje en cuanto a calidad en este tipo de alojamiento y escenario pero que resultan ser más costosas como lo son las líneas XXXIV .XXXVI y XXXVIII.

### **13.2 ESCENARIO Y**

Para el escenario Y al igual que el escenario z la planta de tratamiento se mantiene intacta pero las redes de distribución fallan, por lo cual se requiere un transporte terrestre desde la planta hasta los distintos alojamientos.

En el caso del alojamiento tipo 1 la línea que obtuvo mayor puntaje en cuanto a calidad con un costo aceptable fue la VII, en la cual se destacaron las tecnologías de tanques rígidos para el almacenamiento y filtros múltiples casero como tratamiento final.

A partir del alojamiento tipo 2, debido a la cantidad de población afectada, fueron incluidos los carrotanques para llevar a cabo el transporte del agua, en la etapa 3, lo cual incrementa los costos en todas las líneas. La línea de ensamble recomendada es la V que incluye los carrotanques para el transporte, los tanques de almohadilla para el almacenamiento y los filtros múltiples para el tratamiento final. Es recomendable de igual manera tener en cuenta los tanques de flotación con cuello abierto ya que son una muy buena alternativa para almacenar el agua y presentan costos en un rango similar.

Finalmente en el caso de los alojamientos tipo 3, la línea que ofrece un mayor puntaje de calidad y un menor costo corresponde a la XXXIII en donde se tienen carrotanques para el transporte desde la fuente hasta el alojamiento, los filtros múltiples caseros como tratamiento final y los tanques rígidos para el almacenaje domiciliario. Sin embargo es importante tener en cuenta que las pastillas de cloro son una buena alternativa de tratamiento final, si se tiene la adecuada precaución de dosificación por volumen de agua tratado.

### **13.3 ESCENARIO X**

En el caso del escenario X se tiene una planta convencional intacta pero una red de acueducto averiada y la carencia de vías para transportar el agua, razones por las cuales es necesario buscar una fuente *in situ*. Es importante hacer la aclaración que debido al volumen de población a atender en los alojamientos tipo 1 y 2, no es rentable ni económica ni logísticamente tener una planta de tratamiento en el sitio. Dicho tipo de alojamientos se suplirán del agua desde un punto de abastecimiento.

La línea más recomendada para el alojamiento tipo 1 en este escenario es la I en donde se tienen tanques rígidos para el almacenamiento y la cloración para tratar el agua por medio de pastillas. Sin embargo se recomienda la utilización de tanques de almohadilla para facilitar el transporte desde el punto de abastecimiento hasta la unidad habitacional.

Para el alojamiento tipo 2 al igual que en el caso anterior en la línea I, se recomiendan los tanques tanto rígidos como flexibles para el almacenamiento, en cuanto al tratamiento final se recomiendan los filtros múltiples caseros por ser fáciles de utilizar y ser relativamente económicos frente a las otras tecnologías.

En el caso del alojamiento tipo 3 se incluye el tren de tratamiento por presentar un mayor volumen de población, recomendado en general la línea

Para el escenario X, tipo de alojamiento 3, se tiene que el tipo de bomba recomendada es la multietapa o sumergible dependiendo del tipo de fuente si es superficial o subterránea, con respecto al tratamiento se recomienda el tren de tratamiento 9-10-11-16-17-18-19 por las razones mencionadas anteriormente con un posterior almacenaje en tanques desmontables o almohadilla grande ,una desinfección con pastillas de cloro y un almacenaje final con tanques rígidos; dichas tecnologías corresponden a la línea XCVIII.

#### **13.4 ESCENARIO W**

Para el escenario W, tipo de alojamiento 1, se tiene a partir de la evaluación, que la línea recomendada es la correspondiente a la I, donde hay inicialmente un almacenamiento en tanques rígidos o cantinas el cual sirve como etapa de distribución desde el punto de tratamiento hasta el alojamiento con un posterior tratamiento de desinfección con cloro.

Para el escenario W, tipo de alojamiento 2, la línea de proceso recomendada (I) al igual que en la anterior en una distribución inicial desde el punto de tratamiento con cantinas, con una posterior desinfección con filtros múltiples caseros.

Para el escenario W, tipo de alojamiento 3, se tiene que el tipo de bomba recomendada es la multietapa o sumergible dependiendo del tipo de fuente si es superficial o subterránea, con respecto al tratamiento se recomienda el tren de tratamiento 9-10-11-16-17-18-19 por las razones mencionadas anteriormente con un posterior almacenaje en tanques desmontables o de almohadilla grande y finalmente una desinfección con cloro, dichas tecnologías corresponden a la línea XCVIII.

#### **13.5 ESCENARIO V**

Para el escenario V, tipo del alojamiento 1, al igual que en el escenario anterior se obtuvieron los mismos resultados, se recomienda una distribución por cantinas hasta el alojamiento desde el punto de tratamiento con una posterior desinfección con cloro, lo cual es equivalente a la línea I.

Para el escenario V, tipo del alojamiento 2, se recomienda la línea I, en la cual se propone una distribución con cantinas desde el punto de tratamiento hasta el alojamiento con una posterior desinfección con filtros múltiples caseros.

Para el escenario V, tipo del alojamiento 3, en la línea VCIII se tiene que el tipo de bomba recomendada para la captación es la multietapa o sumergible dependiendo del tipo de fuente (superficial o subterránea), seguido de un tratamiento recomendado 9-10-11-16-17-

18-19 por las razones mencionadas anteriormente con un posterior almacenaje en tanques desmontables o de almohadilla grande, una desinfección con cloro y almacenamiento en tanques rígidos Sin embargo se recomiendan tener en cuenta las almohadillas flexibles por su fácil montaje y transporte.

#### **14. CONCLUSIONES & RECOMENDACIONES**

A partir del análisis realizado en el presente documento y con base en la evaluación de cada uno de los criterios descritos que se deben tener en cuenta para el suministro adecuado de agua potable en un eventual caso de emergencia, es posible hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Las normas bacteriológicas deben respetarse íntegramente cualquiera sea la emergencia. Por el contrario, las normas físico-químicas no requieren ser aplicadas en su integridad sino en tiempo normal, ya que la contaminación bacteriana produce enfermedades agudas a corto plazo, mientras que la contaminación por sustancias químicas produce enfermedades solo a largo plazo.
- Con base a los resultados obtenidos de la evaluación se puede observar que para los diferentes escenarios estudiados, los puntajes más altos para los criterios de calidad, cantidad y usabilidad, se tienen en el tren de tratamiento correspondiente al tren de tecnologías 9-10-11-16-17-18. Se recomienda utilizar esta ruta de tratamiento para garantizar un adecuado suministro de agua potable que cumpla con todas las características físicoquímicas, organolépticas y microbiológicas siendo apta para su consumo, además de los requerimientos de cantidad que suplan las necesidades para los distintos alojamientos descritos.
- La filtración como método de tratamiento no convencional resulta ser la opción más viable en caso de emergencia por presentar una ventaja considerable en cuanto a funcionalidad con relación a los tratamientos convencionales.
- Los almacenamientos flexibles son los más apropiados en casos de emergencia, sin embargo debido a la disponibilidad regional de almacenamientos rígidos, éstos son una buena alternativa de uso.
- Los filtros múltiples caseros resultan ser una mejor alternativa de desinfección final casera que los filtros múltiples de vela por presentar una mayor capacidad de producción de agua limpia y por presentar mayores ventajas de funcionalidad.

- Según el tipo de fuente, sea subterránea o superficial, se recomienda el uso de bombas multietapa o sumergibles por encima de las manuales por presentar altas ventajas a nivel funcional y alcanzar los caudales requeridos de operación.
- Con respecto a la evaluación de costos, no se encontraron variaciones significativas entre trenes de tratamientos convencionales y no convencionales, que justifiquen un cambio de selección de tecnologías, razón por la que se recomienda la utilización de mecanismos de filtración para atender la emergencia así se tenga costos iguales o ligeramente superiores.
- Basándose en los distintos escenarios posibles en caso de emergencia, fue posible encontrar la mejor combinación de tecnologías por etapa, que permitirá al evaluador tomar una decisión efectiva y rápida para mitigar los daños y proveer satisfactoriamente el servicio a la población afectada. Sin embargo, se plantearon diferentes tecnologías disponibles alternas con el fin de proporcionar flexibilidad al plan maestro.
- Con el apoyo del grupo de análisis de emergencia liderado por la universidad de los andes- DPAAE, se determinaron factores importantes como las tipologías de alojamientos posibles para la atención a la población.
- Al ser el agua el recurso más importante en caso de emergencia, se recomienda enfatizar en su calidad y vigilancia para suplir las cantidades necesarias.
- Debido a que se trata de una situación de emergencia se recomiendan trenes de tratamiento fáciles de modular y manipular debido al alto nivel de logística requerido y la necesidad de implementación en el menor tiempo posible.
- Toda agua que sale de una planta de tratamiento debe protegerse para que no se contamine entre ella y el consumidor. Por lo expuesto anteriormente, en situaciones normales, la distribución se lleva a cabo por tuberías cerradas de la red de distribución, sin embargo en emergencias catastróficas, estas tuberías dejan de ser confiables, ya que se puede presentar un desajuste entre ellas o incluso una ruptura total, permitiendo la entrada de agua contaminada con fugas de alcantarillados. En estas condiciones lo mejor es el suministro en cantidad suficiente solo para consumo humano, por carro tanques debidamente desinfectados. El agua de la red solo debe usarse para limpieza personal.

- En casos de emergencia se debe minimizar la utilización de productos químicos ya que requiere administración para su utilización y almacenamiento seguro.
- Se recomienda realizar una experimentación a priori a escala menor del tren de tratamiento seleccionado, con el objetivo de garantizar paso a paso la eliminación de compuestos patógenos que afecten la salud del ser humano, además de poner a prueba en tiempo real los equipos, verificando así su funcionalidad y compatibilidad operacional.
- Como acción inmediata en emergencia se debe cuidar las fuentes de agua existentes post- catástrofe para evitar contaminación.
- Localizar los tanques de almacenamiento en posiciones elevadas para su posterior distribución. ( No bombeo)
- Se debe involucran a la población como participantes activos del plan maestro, ya que estos garantizan nivel domestico la calidad del agua consumida, implantando tecnologías tales como filtración y desinfección además de un adecuado almacenamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Guía para la Vigilancia y Control de Calidad del agua en Situaciones de Emergencia u Desastre. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente & Unidad de Saneamiento Básico.
- [2] Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Ras-2000. Título C. Sistemas de Potabilización. Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C. Noviembre de 2000.
- [3] Gómez E. Lucevin (2009). Bogotá perforará 64 pozos subterráneos para tener agua en casos de emergencia. [Consultado en abril de 2009]. Disponible en <<http://www.eltiempo.com/colombia/bogota>>
- [4] Gustavo Castro Soto. Otros Mundos, A.C. Diccionario del Agua. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. 2 de Julio de 2008.
- [5] Purificación y análisis de fluidos Ltda. Presentación Agua purificada para la industria de alimentos y farmacéutica.
- [6] Francisco Fuentes, Arturo Massol-Deyá. Manual de Laboratorios. Ecología de Microorganismos. Segunda Parte. Parámetros Físicoquímicos: Alcalinidad. Universidad de Puerto Rico. 2002.
- [7] Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución Numero 2115. Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. 22 de Junio de 2007.
- [8] Álvaro Sanjinés. Presentación Suministro de agua potable en emergencias.
- [9] Naciones Unidas, Comisión económica para América Latina y el Caribe. El terremoto del 13 de enero de 2001 en El Salvador. Impacto socioeconómico y ambiental. 21 de febrero de 2001.
- [10] AQUINO, Tertuliano. Captación de agua lluvia y almacenamiento en tanques de Ferrocemento [en línea]. 2006 Instituto Politécnico Nacional. [Consultado en abril de 2009] Disponible en < <http://www.libros.publicaciones.ipn.mx>>.
- [11] Enrique Causa, Carlos Pinto, Santiago. Investigación sobre procesos de coagulación. Floculación de aguas en plantas de tratamiento. Chile, 1974.

- [12] Beyond Industrial Ltda. [Consultado en febrero de 2009]. Disponible en <<http://bombasbeyond.com/Imagenes/BombaMultietapaHEGA.gif>>
- [13] Proveedor KOLL IMPORTACIONES S.A. [Consultado en febrero de 2010]. Disponible en <<http://www.koollimportaciones.com>>
- [14] Proveedor Ahiton. [Consultado en febrero de 2010]. Disponible en <<http://www.ahiton.com.ve/sp/index.php?cPath=119>>
- [15] DAVIS, Jan Engineering in Emergencies Second Edition.2002.
- [16] Technoflex. 3e Technology Co., ltd. [Consultado en febrero de 2010]. Disponible en <<http://3eft.en.ecplaza.net/>>.
- [17] Survival and Emergency Preparedness Supplies. Survival Unlimited. [Consultado en enero de 2010]. Disponible en <<http://www.survivalunlimited.com/waterstorage.htm>>.
- [18] H. B. Wright y W. L. Cairns. Trojan Technologies Inc. Desinfección de agua por medio de Luz Ultravioleta. 3020 Gore Road, London, Ontario, Canadá N5V 4T7.
- [19] COLEMPAQUES. [Consultado en febrero de 2010]. Disponible en <<http://www.colempaques.com/>>.
- [20] Productos: Compañía Europea del Agua S.A. [Consultado en enero de 2010]. Disponible en <<http://www.ceasaespana.com/html/esp/index.html>>.
- [21] Oxfam International. [Consultado en febrero de 2010]. Disponible en <<http://www.oxfam.org/en>>.
- [22] R. Rojas Vargas, S. Guevara Vázquez. Filtros de mesa. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE. Lima, 2000.
- [23] Safe Drinking Water for all. SODIS. [Consultado en mayo de 2009]. Disponible en <[http://www.sodis.ch/index\\_EN](http://www.sodis.ch/index_EN)>.
- [24] PAVCO.SA [Consultado en febrero de 2010]. Disponible en <<http://www.pavco.com.co/>>.
- [25] Tuomas Rinne. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. Mexico, 1998.
- [26] Filtros Multimedia..Tecnología Aquatica,S.A de C.V Citado Junio de 2010. Disponible en <<http://www.aquatica.com.mx>>.

[27] Chemical- Free Drinking Water Treatment. Mainstream Water Solutions Inc. [Consultado en febrero de 2009]. Disponible en <<http://www.mainstreamwater.com>>.

[28] FESTA. Sistemas para el ablandamiento de aguas por membranas. [Consultado en Junio de 2010]. Disponible en <<http://filtrosyequipos.com/softanano.htm>>.

[29] Química Tritón, S.A. de C.V. [Consultdo en febrero de 2010]. Disponible en <<http://quimicatriton.sitiosprodigy.com.mx>>.

[30] Tuomas Rinne. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. Mexico, 1998.

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Parámetros fisicoquímicos del agua para emergencias en tiempos mayores a un mes

<i>Parámetro Físico/ Químico</i>	<i>Valores estándares</i>	<i>Valores Críticos y Problemas Potenciales</i>
Hierro y Manganeseo	Fe < 0.3 mg/l Mn < 0.1 mg/l	Fe y Mn no son directamente perjudiciales, a altas [ ] pueden generar un sabor desagradable en el agua. Rechazo por parte del usuario, prefiriendo fuentes alternas contaminadas
Fluoruro	< 1 mg/l Caries dental 1 mg/l Protección contra caries dental > 1.5 mg/l Mancha de Dientes > 4 mg/l Efectos adversos en el crecimiento de huesos	La exposición corta a altos niveles de fluoruro en un caso de emergencia es poco crítica. Sin embargo si la emergencia es extendida a largo plazo la exposición empieza a ser importante.
Cloruros y Sulfatos	Cloruros 200 – 300 mg/l. Sulfuros 200-900 mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua con altas concentraciones tanto de sulfuros como de cloruros resulta desagradable para el consumo.</li> </ul>

<i>Nitratos</i>	< 45mg/l	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fatales en los niños - causa metahemoglobinemia.</li> <li>• Posibles Fuentes : filtración de fertilizantes y contaminantes orgánicos, movimientos de aguas subterráneas desde tanques sépticos y letrinas</li> </ul>
<i>Turbiedad</i>	<p>Agua Consumible &lt; 5 NTU Para la eficiencia de desinfección &lt; 1 NTU</p>	<p>Causada por % de sólidos suspendidos en el agua y es examinada visualmente.</p> <p>Agua con un alto grado de turbiedad puede desencadenar crecimiento bacterial, reducir los efectos de la desinfección y aumentar la demanda de cloro.</p>
Color		<p>Afectado por sustancias provenientes de materia orgánica , hierro, manganeso o residuos industriales.</p>
Sabor		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciertos olores y sabores pueden indicar características del agua que deben ser analizadas a profundidad ( ej . contaminación orgánica). En ocasiones agua con un partícula olor y sabor puede llegar a ser rechazada por el usuario, prefiriendo fuentes contaminadas.</li> </ul>
pH	4 < pH <9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos pH pueden llegar a contribuir a la corrosión de metales en contacto con el agua, en particular en bombas y tuberías.</li> <li>• Corrosión afecta el sabor y la aceptabilidad del agua.</li> </ul>

**Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del agua para emergencias en tiempos mayores a un mes**

## Anexo 2

### Floculantes y coagulantes utilizados comercialmente

COAGULANTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sulfato de Aluminio	<p>Conocido, Buena disponibilidad.</p> <p>Plantas normalmente diseñadas para el Alum</p> <p>El personal capacitado para el Alum y conoce su comportamiento</p> <p>Autoridades no cuestionan el uso del Alum</p> <p>Forma floculo blanco casi invisible</p>	<p>Se requiere normalmente un control del pH</p> <p>El rango de trabajo de pH muy limitado</p> <p>La remoción de material orgánica en el proceso limitada</p> <p>Problemas con agua de alta turbiedad</p> <p>Muchas veces requiere un ayudante de floculación (polimero) para flocular</p> <p>Problemas con alto contenido de Aluminio residual</p>
Policloruro de Aluminio	<p>Normalmente no requiere un ajuste del pH</p> <p>En comparación con el Alum:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Un rango de trabajo de pH más amplio</li> <li>* Aluminio residual más bajo</li> </ul> <p>Mejor comportamiento que el Alum:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* En aguas frías</li> <li>* En la remoción de sustancias orgánicas</li> <li>* En la remoción de turbiedad y color</li> <li>* Produce menos lodo</li> </ul> <p>Manejo más fácil de producto líquido y sólido</p> <p>Menor consumo de polímero</p> <p>Menor dosis de Aluminio que con el Alum</p> <p>Velocidad de reacción muy alta</p> <p>Ahorro importante en feltes cuando Se utiliza un producto seco</p> <p>El producto sólido Se disuelve fácil, sin insolubles</p>	<p>Precio más alto por kg que con el Alum (compensado con una menor dosis)</p> <p>Un pH demasiado alto para La coagulación puede bajar La remoción de sustancia orgánica</p>
Cloruro Férrico	<p>Muchas veces el coagulante de bajo costo</p> <p>Alta Velocidad de reacción</p> <p>El rango bajo de pH 3.5 – 7.0 es superior en la remoción de sustancias orgánicas, bacteria y plankton</p> <p>El rango alto de pH 8.0-9.5 es usado para la remoción de Fe y Mn</p> <p>No hay Problemas con el Aluminio residual</p> <p>Muchas veces eficiente sin ayudante de floculación (polímero)</p>	<p>El producto requiere un mejor diseño de proceso que el Alum o PAC</p> <p>Problemas en el proceso pueden causar un color y precipitación en el agua tratada</p> <p>La dosis de Hierro es mayor a la dosis de Aluminio (el peso molecular de Fe es mayor)</p> <p>Muy corrosivo para manejar y almacenar</p> <p>Comercialmente disponible solo en presentación líquida</p>
Sulfato Férrico	<p>Muchas veces el coagulante de bajo costo</p> <p>Alta Velocidad de reacción</p> <p>El rango bajo de pH 3.5 – 7.0 es superior en la remoción de sustancia bacteria y plankton</p> <p>El rango alto de pH 8.0-9.5 es usado para la remoción de Hierro y Ma</p> <p>No hay Problemas con el Aluminio residual</p> <p>Muchas veces eficiente sin ayudante de floculación (polímero)</p> <p>Fácil y seguro a manejar y almacenar, tanto líquido como sólido</p>	<p>El producto requiere un Mejor diseño de proceso que el Alum o PAC</p> <p>Problemas en el proceso pueden causar un color y precipitación en el agua tratada</p> <p>La dosis de Hierro es mayor a la dosis de Aluminio (el peso molecular de Hierro es mayor)</p> <p>El producto sólido necesita una muy buena mezcla en La unidad de dilución</p>

**Tabla 2. Tipos de coagulantes, ventajas y desventajas [30]**

### Anexo 3

#### Tuberías y accesorios

A continuación se muestra la lista de las tuberías en diferentes materiales y accesorios ofrecidos por el proveedor PAVCO S.A.:

<b>POLIETILENO- ALTA DENSIDAD</b>				
<b>Tuberías</b>	<b>Referencia</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Precio x Metro</b>	<b>Long.Mts.</b>
<b>AQUAFLEX PN10 PE 100</b>	12671	63	\$ 7.637	Rollo-100
	12674	90	15.372	Rollo-100
	12659	110	23.026	Rollo-50
	12663	160	48.202	Tramo-12
	12666	200*	75.496	Tramo-12
	12668	250*	127.610	Tramo-10
<b>AQUAFLEX PN16 PE 100</b>	12672	63	\$ 11.192	Rollo-100
	12675	90	22.688	Rollo-100
	12660	110	33.778	Rollo-50
	12664	160	71.617	Tramo-12
<b>ESTAS TUBERIAS CUMPLEN CON LA NORMA ISO 4427</b>				
<b>POLIETILENO- BAJA DENSIDAD</b>				
<b>Tuberías PE</b>	<b>Referencia</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Precio x Metro</b>	<b>Long.Mts.</b>
<b>AQUAFLEX PN10 PE 40</b>	12661	16	\$ 1.245	Rollo-150
	12665	20	1.810	Rollo-150
	12667	25	2.808	Rollo-150
	12669	32	4.489	Rollo-150

Tabla 3. Sistema de tuberías y conexiones PEAD (alta densidad) para agua potable. [23]

<b>CONEXIONES</b>				<b>CONEXIONES</b>			
<b>UNION ELECTROFUSION</b>				<b>UNION TERMOFUSION</b>			
	Referencia	Diámetro mm	Precio x Unid		Referencia	Diámetro mm	Precio x Unid
<b>Uniones</b>				<b>Codos 45</b>			
<b>PE100, PN16</b>	12888	63	25.724	<b>PE 100, PN10</b>	10775	63	20.632
	12889	90	46.530		10777	90	64.625
	12885	110	55.684		10766	110	67.829
	12886	160	116.876		10768	160	210.785
	12887	200	235.023		10770	200	269.349
<b>PE80, PN16</b>	12890	250	307.265	10772	250	639.771	
				<b>PE100, PN16</b>	10778	90	*37207
					10767	110	*67209
					10769	160	*155933
					10773	250	*430171

<b>CONEXIONES UNION MECANICA</b>				<b>CONEXIONES UNION MECANICA</b>			
	Referencia	Diámetro mm	Precio x Unid		Referencia	Diámetro mm	Precio x Unid
<b>Uniones Rápidas</b>				<b>Collares Derivación Sencillo Tornillo Metálico</b>			
<b>PN10</b>	12986	90	82.286	<b>PN10</b>	11006	63x1/2"	23.815
	12980	110	178.139		11007	63x3/4"	23.815
<b>PN16</b>	12981	16	4.954		11005	63x1"	23.815
	12982	20	10.509		11009	90x1/2"	25.663
	12983	25	12.509		11011	90x3/4"	25.663
	12984	32	15.892		11008	90x1"	25.663
	12985	63	37.912		10994	110x1/2"	26.802
<b>Adaptadores Hembra</b>					10997	110x3/4"	26.802
<b>PN16</b>	10083	20x1/2"	2.928		10992	110x1"	26.802
	10084	63x1 1/2"	*8884		10996	110x2"	*10917
<b>Adaptadores Macho</b>					11001	160x1/2"	53.055
<b>PN16</b>	10154	16x1/2"	*2517		11004	160x3/4"	53.055
	10155	20x1/2"	5.044		10999	160x1"	53.055
	10156	20x3/4"	*6661		11000	160x1 1/2"	*33116
	10157	25x1/2"	*6189	11003	160x2"	*39657	
	10158	25x3/4"	5.320				
	10160	32x1"	6.703				
	10161	63x2"	30.105				
<b>PN10</b>	10162	90x3"	65.524	<b>Collares Derivación Doble Tornillo Metálico</b>			
				<b>PN 10</b>	11010	90x1/2"x1/2"	*6547
					11002	160x1/2"x1/2"	*26128
<b>Tee Rápida</b>				<b>Codo Rápido</b>			
<b>PN 10</b>	12036	90	*67672	<b>PN 10</b>	10763	90	*31255
	12020	110	*138021		10757	110	*64832
<b>PN 16</b>	12033	63	*69987	<b>PN 16</b>	10758	16	*2740
					10759	20	*3895
				<b>PN 16</b>	10761	32	*9363
					10762	63	*44304

Tabla 4. Sistema de tuberías y conexiones PEAD (alta densidad) para agua potable. [23]

CONEXIONES UNION TERMOFUSION			
	Referencia	Diámetro mm	Precio x Unid
<b>Codos 90</b>			
PE100, PN16	10788	63	* 29.465
	10790	90	* 32.007
	10780	110	* 59.141
	10782	160	* 170.029
	10784	200	* 228.529
10786	250	* 564.601	
PE100, PN10	10787	63	57.941
	10789	90	41.488
	10779	110	77.465
	10781	160	213.284
	10783	200	298.589
10785	250	1.081.465	
<b>Reducciones</b>			
PE100, PN16	11547	110x63	* 22.853
	11549	110x90	* 31.496
	11555	200x160	* 126.361
11557	250x200	* 284.988	
PE100, PN10	11563	90x63	23.520
	11546	110x63	29.960
	11548	110x90	35.173
	11552	160x90	110.901
	11551	160x110	171.429
	11554	200x160	239.219
11556	250x200	445.794	
<b>TEES</b>			
PE100, PN16	12038	90	* 43.016
	12023	110	* 57.255
	12027	200	* 368.084
PE100, PN10	12034	63	55.598
	12037	90	49.200
	12022	110	84.373
	12024	160	241.550
	12026	200	400.408
	12028	250	773.613
	12106	110x90	* 107.087
	12107	160x110	* 310.383
	12109	200x160	* 522.556

	Referencia	Diámetro mm	Precio x Unid
<b>Portaflanches</b>			
PE100, PN16	11518	250	* 219.376
	11520	63	20.088
PE100, PN10	11522	90	26.105
	11512	110	28.690
	11514	160	72.640
	11516	200	102.510
	11519	250	247.779
<b>Tapones</b>			
PE100, PN16	11847	63	* 16.119
	11838	110	* 17.320
	11841	160	* 70.667
	11843	200	* 161.315
11845	250	* 241.973	
PE100, PN10	11846	63	34.286
	11848	90	47.038
	11837	110	67.465
	11840	160	98.647
	11842	200	279.231
11844	250	389.107	
<b>Silletas</b>			
PE100, PN10	11707	90x16	13.646
	11708	90x20	13.646
	11703	110x16	13.646
	11704	110x20	13.646
	11705	160x20	13.646
	11706	200x20	13.646
<b>METALICOS</b>			
<b>Flanche Universal</b>			
PN16/10	11122	63	* 22.853
	11123	90	* 31.725
	11118	110	* 39.332
	11119	160	* 93.213
	11120	200	* 93.265
	11121	250	* 157.725

Tabla 5. Sistema de tuberías y conexiones PEAD (alta densidad) para agua potable. [23]

TUBERIA FUSION AGUA CALIENTE				CONEXIONES				
Tramos de 4 mts.								
	Referencia	Diámetro	Precio x Tubo		Referencia	Diámetro	Precio x Un.	
<b>PN 16</b>	26099	20 mm (1/2")	7.187	<b>TEE 90°</b>	13973	20 mm (1/2")	725	
	26100	25 mm (3/4")	12.127		13974	25 mm (3/4")	1.143	
	26101	32 mm (1")	19.624		13975	32 mm (1")	2.211	
	26102	40 mm (1 1/4")	34.820		14004	40 mm (1 1/4")	4.668	
	26103	50 mm (1 1/2")	51.088		14005	50 mm (1 1/2")	7.414	
	26104	63 mm (2")	120.037		14006	63 mm (2")	13.950	
	26105	75 mm (2 1/2")	201.910		47447	75 mm (2 1/2")	35.311	
	26106	90 mm (3")	245.875		26145	90 mm (3")	36.687	
	27855	110 mm	373.407		26146	110 mm (4")	100.029	
	<b>PN 20</b>	43345	20 mm (1/2")		8.624	<b>TEE 90° RED.</b>	13982	25x20 mm
43346		25 mm (3/4")	13.946	14016	32x20 mm		1.793	
43347		32 mm (1")	22.568	13983	32x25 mm		1.793	
43348		40 mm (1 1/4")	40.043	14017	40x25 mm		7.236	
43349		50 mm (1 1/2")	58.751	14018	40x32 mm		6.015	
43350		63 mm (2")	138.043	14026	50x25 mm		8.808	
43387		75 mm (2 1/2")	190.234	14019	50x32 mm		8.808	
43351		90 mm (3")	282.756	14020	50x40 mm		8.808	
43352		110 mm	429.418	14021	63x40 mm		17.662	
					14022		63x50 mm	17.662
CONEXIONES								
	Referencia	Diámetro	Precio x Un.		Referencia	Diámetro	Precio x Un.	
<b>CODO 90°</b>	13970	20 mm (1/2")	573	<b>UNION H.</b>	13976	20 mm (1/2")	384	
	13971	25 mm (3/4")	991		13977	25 mm (3/4")	573	
	13972	32 mm (1")	1.869		13978	32 mm (1")	1.067	
	13995	40 mm (1 1/4")	3.615		14007	40 mm (1 1/4")	2.140	
	13996	50 mm (1 1/2")	6.016		14008	50 mm (1 1/2")	3.444	
	13997	63 mm (2")	10.947		14009	63 mm (2")	5.581	
	47445	75 mm (2 1/2")	23.160		47448	75 mm (2 1/2")	20.422	
	26139	90 mm (3")	30.832		26147	90 mm (3")	21.782	
	26140	110 mm (4")	80.173		26148	110 mm (4")	39.574	
	<b>CODO 90° C/INSERTO MET. H</b>	14280	20mm x1/2"		3.381	<b>UNION REDUCIDA</b>	13979	20x25 mm
26141		25mm x3/4"	5.807	13980	32x20 mm		649	
<b>CODO 45°</b>	13967	20 mm (1/2")	649	13981	32x25 mm		687	
	13968	25 mm (3/4")	1.067	26134	40x20 mm		1.312	
	13969	32 mm (1")	2.025	14010	40x25 mm		1.312	
	13992	40 mm (1 1/4")	4.099	14011	40x32 mm		1.312	
	13993	50 mm (1 1/2")	7.414	14025	50x25 mm		1.962	
	13994	63 mm (2")	12.250	14012	50x32 mm		1.962	
	47446	75 mm (2 1/2")	21.221	14013	50x40 mm		1.962	
	26138	90 mm (3")	22.042	26135	63x32 mm		2.911	
<b>TEE C/ INSERT MET. H</b>	26410	20mm x1/2"	3.928	14014	63x40 mm	2.911		
				14015	63x50 mm	2.911		
<b>CURVA SOBREPASO</b>	14281	20 mm (1/2")	1.799	47449	75x63mm	16.657		
	14282	25 mm (3/4")	3.160	26136	90x63 mm	10.215		
	14283	32 mm (1")	4.959	47450	90x75mm	16.889		
				47451	110x75mm	18.599		
<b>UNIVERSAL</b>	26157	20 mm (1/2")	8.372	26137	110x90 mm	32.100		
	26158	25 mm (3/4")	12.619	<b>UNION C/INSERTO METALICO H.</b>	26403	20mmx1/2"	3.552	
	26159	32 mm (1")	18.354		13958	25mmx1/2"	4.104	
	<b>VALVULA CORTINA</b>	26180	20 mm (1/2")		6.232	13959	25mmx3/4"	5.098
26181		25 mm (3/4")	7.554		13960	32mmx3/4"	6.018	
26182		32 mm (1")	10.737		13961	32mmx1"	9.986	
26183		40 mm (1 1/4")	38.742		<b>UNION C/INSERTO METALICO M.</b>	13962	20mmx1/2"	5.394
26184		50 mm (1 1/2")	49.007			13988	20mmx3/4"	11.640
26185		63 mm (2")	88.980			13963	25mmx1/2"	5.787
<b>VAL. CORTINA CROMADA</b>	26166	20 mm (1/2")	17.077			13964	25mmx3/4"	9.642
	26167	25 mm (3/4")	33.207			13965	32mmx3/4"	8.962
<b>VAL. ESF. CROMADA</b>	26409	20 mm (1/2")	26.504	13966		32mmx1"	13.024	
				13989		40mmx1 1/4"	32.260	
<b>VALVULA ESFERICA MANIJA</b>	26168	20 mm (1/2")	11.944	13990		50mmx1 1/2"	34.653	
	26169	25 mm (3/4")	16.380	13991		63mmx2"	59.172	
	26170	32 mm (1")	25.072	47452		75x21/2"	137.821	
	26171	40 mm (1 1/4")	43.579	47453	90x3"	202.225		
	26172	50 mm (1 1/2")	62.441					
	26132	63mmx2"	83.494					

Tabla 6. Sistema de tuberías y conexiones POLIPROPILENO (alta densidad) para agua potable.

[23]

CONEXIONES			
	Referencia	Diámetro	Precio x Un.
<b>TAPON H.</b>	13998	20 mm (1/2")	384
	13999	25 mm (3/4")	612
	14000	32 mm (1")	991
	14001	40 mm (1 1/4")	1.879
	14002	50 mm (1 1/2")	2.789
	14003	63 mm (2")	4.183
<b>BARRA REPARACION</b>	14279	12 mm	9.493
<b>FLANCHE</b>	47455	75 mm (2 1/2")	86.994
	26133	90 mm (3")	88.928
	26142	110 mm (4")	91.780
<b>PORTAFLANCHE</b>	47454	75 mm (2 1/2")	13.805
	26143	90 mm (3")	14.974
	26144	110 mm (4")	15.050

CONEXIONES			
	Referencia	Diámetro	Precio x Un.
<b>UNION ELECTROFUSION</b>	26149	20 mm (1/2")	16.698
	26150	25 mm (3/4")	17.503
	26151	32 mm (1")	17.882
	26152	40 mm (1 1/4")	19.111
	26153	50 mm (1 1/2")	21.428
	26154	63 mm (2")	28.146
	26155	90 mm (3")	44.845
	26156	110 mm (4")	62.348

Equipos			
	Referencia	Diámetro	Precio x Un.
<b>Plancha termofusión y</b>	27287	20mm a 63mm	1.189.898
<b>Plancha termofusión y</b>	27291	90mm a 110mm	1.493.790
Tijera	27285	hasta 43mm	206.523
	27288	hasta 51mm	313.658
Corta tubo	27284	hasta 75mm	592.979
	27286	hasta 140mm	369.088
<b>Equipo electrofusión</b>	27290	para alquiler	
<b>Carro alineador, plancha</b>	27289	para alquiler	

Equipos			
	Referencia	Diámetro	Precio x Un.
<b>Matrices</b>	27309	20 mm (1/2")	89.527
	27305	25 mm (3/4")	103.792
	27310	32 mm (1")	106.290
	27306	40 mm (1 1/4")	120.204
	27311	50 mm (1 1/2")	131.258
	27307	63 mm (2")	157.296
	47456	75 mm (2 1/2")	191.672
	27312	90 mm (3")	315.448
	27308	110 mm (4")	380.910
	27304	reparación 11mm	166.929

Tabla 7. Sistema de tuberías y conexiones POLIPROPILENO (alta densidad) para agua potable.

[23]