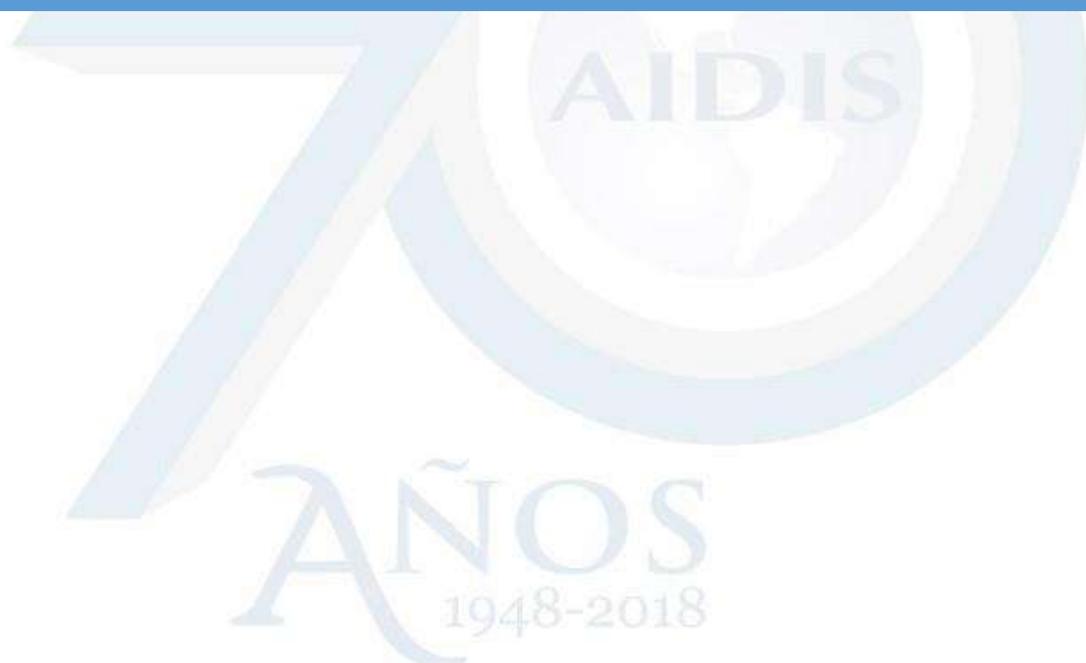


**XXXVI CONGRESO
INTERAMERICANO
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**
"En vfa al Desarrollo Sostenible"
28 - 31 OCTUBRE/2018 GUAYAQUIL - ECUADOR



LIBRO DE TRABAJOS TÉCNICOS ORALES



[00168] EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN DESASTRES Y EMERGENCIAS

ANTÔNIO DOMINGUES BENETTI¹; DANIELA ADALIA DURAN ROMERO²; PAULO AUGUSTO MAVAIEIE JUNIOR³

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas^{1,2,3}

benetti@iph.ufrgs.br¹; dduranr.ing@gmail.com²; pmavaieie01@gmail.com³

Palabras clave: agua potable, saneamiento, desastres, emergencias.

Abstract

Natural and man-made disasters have been on the rise in the last decades. Also, the number of refugees has increased due to armed conflicts, political persecutions and escape from hunger and poverty. The emergencies created by these circumstances need fast action to minimize the risks of epidemics and deaths. One of the most important aspects in emergencies is the delivery of safe drinking water for the affected population. Water must be supplied in quantity that is enough for the minimum needs for drinking, cooking and hygienic. Also, water must be free of pathogenic microorganisms and other contaminants that can cause diseases. In most scenarios the infrastructure is deficient and often unavailable. This article discusses the alternatives to source water selection, the levels and methods of drinking water treatment under those circumstances. It is seen that different sources of water are chosen depending on the local conditions. Also, the quality requirements may vary depending on the urgency of the need and the availability of water. Methods of treatment also differ, depending on variables such as cost, simplicity, energy and local acceptance. Technology advancements are changing the options to supply safe water to disasters relief, and this trend is expected to continue in the following years.

1. Introducción

Los desastres son eventos en los cuales un gran número de personas es expuesto a peligros que generan heridos y muertes, además de daños a sus medios de subsistencia y propiedades (Wisner y Adams, 2002). Las emergencias se asocian a los desastres porque las comunidades afectadas no consiguen, por sí mismas, manejar las enormes dificultades que traen las mismas. Por esto, necesitan auxilio de forma rápida y eficiente para reducir los riesgos a la vida y sus medios de subsistencia. Las personas afectadas por desastres se encuentran, con frecuencia, malnutridas, estresadas, con SEDE PERMANENTE “ABEL WOLMAN” – Av. Angélica 2355 cj 132, 01227-200 São Paulo, SP, BRASIL

fatiga y hasta heridas. Estas situaciones, asociadas a la falta de agua potable, saneamiento inadecuado y condiciones precarias de refugio, hacen que las personas estén más vulnerables a enfermedades (John Hopkins y Red Cross, 2008).

Los desastres pueden tener causas naturales o humanas. Entre los primeros están los terremotos, tornados, ciclones, inundaciones, incendios, sequías, tempestades, deslizamiento de tierras, tsunamis, oleadas de calor, avalanchas y explosiones volcánicas. Los desastres causados por humanos incluyen el rompimiento de presas, descargas industriales tóxicas, accidentes con reactores nucleares, accidentes con barcos y trenes que transportan substancias tóxicas, explosiones en gasoductos y oleoductos. Un ejemplo de desastre de causa natural es el terremoto que ocurrió en Haití en 2010, con 220 mil muertes, más de 300 mil heridos y 1.5 millones de personas viviendo en refugios temporales (DEC, 2018). Un desastre causado por fallas humanas ocurrió en Brasil, en 2015, con el rompimiento de una represa de almacenamiento de residuos de minería de la empresa Samarco, con la liberación de 34 millones de m³ de desechos que recorrieron 664 km en ríos hasta llegar al océano en la costa del estado de Espírito Santo (IBAMA, 2016). Los desechos causaron la interrupción en el abastecimiento de agua en nueve áreas urbanas (Volschman Jr, 2017).

Otra causa de emergencia son los desplazamientos forzados realizados por personas como consecuencia de conflictos. De acuerdo con datos de la Agencia para Refugiados de la ONU, en el año 2016, 65.6 millones de personas fueron forzadas a dejar sus ciudades y modos de vida debido a conflictos, opresión, violencia y violaciones a los derechos humanos (UNHCR, 2017). El número de refugiados ha aumentado a lo largo de los años con 33.9 millones en 1997 y 50 millones en 2013.

La Tabla 1 presenta ejemplos de emergencias con respectivos factores de riesgo y enfermedades asociadas. Además de estas, otros tipos de enfermedades comunes en desastres son: infección respiratoria aguda, sarampión, meningitis, difteria, tétano y tifus de piojo. Enfermedades causadas por agua, saneamiento e higiene pueden ser prevenidas y controladas.

Tabla 1: Ejemplos de emergencias, factores de riesgo y enfermedades asociadas

Tipo de	Factores de riesgo	Enfermedades
---------	--------------------	--------------

Emergencia		asociadas
Inundaciones	Vertimiento de alcantarillado; agua contaminada para beber e higiene; pérdida de artículos de higiene; creación de vectores	Cólera, shigelosis; tifoidea, hepatitis A; sarna; infecciones en ojos y piel; malaria, dengue.
Sequias	Falta de agua para uso personal; deshidratación.	Cólera, shigelosis; tifoidea, hepatitis A; sarna; infecciones en ojos y piel; malaria, dengue.
Desplazamientos forzados	Defecación en lugares abiertos; pérdida de artículos de higiene; agua contaminada; prácticas higiénicas no seguras.	Cólera, shigelosis; tifoidea, hepatitis A; sarna; infecciones en ojos y piel

Fuente: adaptado de Bastable y Harvey (2015)

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es presentar y discutir alternativas de abastecimiento de agua para consumo humano en poblaciones afectadas por desastres naturales y tecnológicos, o que son forzadas a desplazamientos involuntarios. El abastecimiento de agua se incluye dentro del contexto de un programa de emergencia que combina abastecimiento de agua, disposición segura de excrementos y residuos sólidos e higiene.

3. Metodología

Fueron realizadas consultas de bibliografía especializada en abastecimiento de agua y saneamiento en situaciones de desastres y emergencias para el análisis de las alternativas y factores a ser considerados en las decisiones sobre la escogencia de las fuentes de abastecimiento y métodos de tratamiento de agua. Fueron enfocadas especialmente las variables cantidad, calidad y tratamiento de agua, así como su relación con otras medidas sanitarias.

4. Resultados Y Discusión

4.1 Cantidad de agua

Las necesidades de agua para uso familiar pueden variar en función del clima, hábitos, tipos de alimentación y vestimenta, costumbres sociales y culturales. En general, es deseable asegurar un mínimo de 15 litros de agua por persona por día, conforme la Tabla 2. En algunas situaciones muy desfavorables, como en el momento inmediato de la ocurrencia de un desastre, es posible que el volumen de agua tenga que ser limitado a 7.5 L.d⁻¹, pero este valor es considerado insuficiente. Más allá de las necesidades

familiares, hay todavía requerimientos de agua para el funcionamiento de instituciones esenciales, como hospitales y centros de salud, que requieren 40-60 litros por paciente por día (SPHERE, 2011). El agua también debe ser prevista para los animales de granja, que pueden ser importantes para la provisión de alimentos para las familias. Se deben tomar cuidados especiales para asegurar el acceso al agua para personas con problemas de salud o que se encuentran frágiles.

Tabla 2 – Necesidades básicas de agua para sobrevivencia

Uso	Volumen diario (l/día)	Observaciones
Bebida y alimento	2.5 – 3.0	Depende del clima y fisiología
Prácticas básicas de higiene	2.0 – 6.0	Depende de las costumbres sociales y culturales
Necesidades de preparación de alimentos	3.0 – 6.0	Depende de los tipos de alimentos y costumbres sociales y culturales
Necesidad total básica	7.5 – 15.0	

Fuente: SPHERE (2011)

Las prácticas de higiene personal incluyen lavado de manos, baño y aseo del inodoro. Las prácticas de higiene domésticas son relacionadas al lavado de utensilios, recipientes de almacenamiento de agua y lavado de ropas.

Para grifos públicos, pozos abiertos y bombas manuales, se recomienda que el número de personas atendidas por unidad no exceda a, respectivamente, 250, 400 y 500. La distancia máxima entre la residencia y el lugar de colecta de agua no debe exceder los 500 m, mientras el tiempo máximo de espera en la fila no debe exceder los 30 minutos. Distancias excesivas, filas y tiempos de espera prolongados estimulan la búsqueda de fuentes no protegidas de agua. Para cada residencia, se debe disponer de dos recipientes limpios de 10 – 20 litros cada uno, que son usados para el transporte y almacenamiento de agua.

Las fuentes de agua deben ser cuidadosamente escogidas considerando factores como disponibilidad de agua para atender las necesidades mínimas, proximidad de los usuarios y la necesidad de tratamiento para tornarla segura para el consumo. Las fuentes de agua que son consideradas para el abastecimiento en emergencias son: (1) aguas subterráneas – pozos superficiales, profundos o fuentes naturales, (2) aguas superficiales – ríos, corrientes, lagos y reservorios y (3) agua de lluvia.

Las fuentes de agua naturales son preferibles ya que pueden ser transportadas por gravedad, además de necesitar tratamiento mínimo. Los pozos freáticos protegidos también son favorables por que presentan, normalmente, mejor calidad que las aguas superficiales. Las aguas de lluvia deben ser colectadas para uso, aunque con estas no se consigue suplir con la cantidad requerida para atender todas las necesidades.

En condiciones de sequía, la cantidad de agua es una prioridad y el uso restringido contribuye a enfermedades como el tracoma y sarna, además del aumento en la incidencia de cólera y diarreas. Una alternativa para minimizar la falta de agua en las sequías es el uso de camiones cisterna para el transporte de agua potable para las comunidades afectadas. Sin embargo, esta alternativa es dispendiosa e insuficiente, y depende todavía de las condiciones de acceso a los lugares afectados.

De acuerdo con la UNHCR (2007), es preferible una mayor cantidad de agua disponible con calidad razonable que poca agua de alta calidad. Se deben dar condiciones especiales para la viabilidad de la fuente para su uso a largo plazo, la confiabilidad de la fuente y los procesos de tratamiento requeridos para tornar el agua potable.

4.2 Calidad del agua

En desastres naturales, la calidad del agua es una gran preocupación. Las inundaciones contaminan los pozos y las aguas superficiales con materia fecal de letrinas y redes de alcantarillas desbordadas. En terremotos y deslizamientos de tierras, materia fecal puede entrar en la red de agua por medio de los colectores de alcantarillado dañificados. En sequías, la falta de agua obliga a las personas a usar agua de fuentes contaminadas. (John Hopkins y Red Cross, 2008).

El agua para consumo humano es un problema importante de salud pública durante desastres, especialmente por las enfermedades transmitidas por agua contaminada con microorganismos patogénicos de origen fecal. El agua con calidad segura para el consumo humano debe estar disponible para las familias en el punto de distribución. Su calidad debe ser mantenida durante el transporte y el almacenamiento dentro de las residencias.

El mayor riesgo de salud en desastres es la contaminación fecal debido a la falta de saneamiento, higiene y protección de las fuentes, que conllevan al contacto del agua con excremento. Las enfermedades transmitidas por el agua contaminada incluyen diarrea, tifoidea, cólera, disentería y hepatitis infecciosa. Sin embargo, los desastres causados por acción humana como instalaciones industriales y nucleares pueden liberar al ambiente compuestos tóxicos que no permiten el uso del agua para su consumo.

En la evaluación de las posibles fuentes para suplemento de agua, debe ser realizado un levantamiento sanitario con el objetivo de identificar actuales y potenciales fuentes de contaminación. Por ejemplo, se debe verificar si hay descarga de aguas residuales o residuos sólidos que puedan contaminar la fuente de agua. Las heces humanas y de animales contienen microorganismos patogénicos como *Salmonella*, *Cryptosporidium* y calicivirus. Se debe dar preferencia a la fuente que presenta bajo riesgo de contaminación fecal, al mismo tiempo que tenga la capacidad de suplir las cantidades mínimas requeridas.

Además de la inspección sanitaria, también se deben realizar análisis para evaluar la calidad del agua. La calidad microbiológica es evaluada principalmente por medio de test de coliformes fecales o *Escherichia coli*, pero otros indicadores como *Streptococos* y los coliformes totales, son usados también. Los análisis complementarios básicos para la evaluación de la calidad del agua para consumo humano son mostrados en la Tabla 3.

Dependiendo de las condiciones locales, otros parámetros de calidad que pueden ser evaluados son el fluor, hierro, manganeso, arsénico, nitrato, algas, contaminantes industriales, y agroquímicos, esquistosomiasis y el gusano de guinea (House y Reed, 1997).

El agua no debe contener bacterias de grupo coliformes fecales, cuya principal especie es la *Escherichia coli*, que es un indicador de contaminación por heces humanas y de animales. La presencia de *E. coli* en el agua indica que esta no es segura para el consumo humano, debiendo ser tratada. La Tabla 4 indica el nivel de riesgo microbiológico en el consumo de agua basado en la concentración de coliformes fecales. Sin embargo, un agua que contenga concentraciones bajas de *E. coli* puede presentar riesgos a la salud si se tienen presentes virus y protozoarios. Algunos de estos microorganismos pueden ser más resistentes a la desinfección que las bacterias fecales (Wisner y Adams, 2002).

Tabla 3 – Test básicos de evaluación de calidad de agua para consumo humano

Test	Importancia	Recomendación	
		Sobrevivencia	Guía OMS
Turbidez	Reduce la eficiencia de desinfección; aceptabilidad	20 UNT	5 UNT
Olor	Aceptabilidad ; puede indicar la presencia de otros contaminantes	Sin restricción	Debe ser aceptable para los consumidores
Color	Aceptabilidad ; puede indicar la presencia de otros contaminantes	Sin restricción	Hasta 15 unidades de color
Conductividad	Aceptabilidad ; corrosión, incrustación	Sin restricción	1 400 μ S/cm
pH	Afecta el tratamiento del agua; corrosión; aceptabilidad	Sin restricción	< 8.0 para a desinfección con cloro
<i>Escherichia coli</i>	Indica presencia potencial de patógenos	Debe haber desinfección; si no es posible < 1000/100 mL	0 NMP/100 mL

Fuente: John Hopkins y Red Cross (2008)

Tabla 4 – Calidad del agua y presencia de coliformes fecales

Concentración de Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	Calidad del agua
0	Agua segura para consumo
1 – 10	Riesgo tolerable
10 – 100 o mas	Necesita tratamiento
> 1000	Contaminación excesiva

Fuente: Wisner y Adams (2002)

El agua que es segura para el consumo humano se puede contaminar en el punto de distribución, en la recolección, en el transporte y en el almacenamiento en el lugar de consumo. La contaminación puede ocurrir, por ejemplo, a través del contacto de manos sucias con el agua durante la recolección, o con uso de recipientes con escombros para el transporte y el almacenamiento en la residencia.

El agua usada en emergencias debe ser desinfectada para reducir el riesgo de enfermedades transmisibles. La desinfección puede ser hecha en la fuente de distribución o en el punto de uso, en la propia residencia. Hay diversos tipos de tratamiento en el punto de uso que pueden ser utilizados, conforme a lo discutido en la próxima sección.

Puede ocurrir que el agua disponible para el uso doméstico durante una emergencia sea segura desde el punto de vista microbiológico, pero presente concentraciones de compuestos químicos o radiológicos que estén encima de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2011a). En la falta de opciones, es posible que el riesgo de consumo de corto plazo de esta agua sea menor que el riesgo de usar un agua contaminada con microorganismos patogénicos. Esta situación debe ser evaluada por las autoridades sanitarias.

El agua de lluvia, por más pura, no es una fuente suficiente para proveer agua para poblaciones mayores. Aguas superficiales de ríos, corrientes, lagos y lagunas son accesibles y de fácil recolección. Sin embargo, requieren de tratamiento por estar contaminadas con microorganismos y turbidez. Debe ser usada solamente si no hay otras opciones. Las aguas de pozos son, en general, más seguras por haber sido filtradas por el suelo hasta alcanzar el nivel freático. Sin embargo, puede ser más difícil extraerla, requiriendo tecnología y energía. Los pozos deben estar, por lo menos, 30 m de posibles fuentes de contaminación, además deben estar situados en cotas superiores a estas. La recolección en pozos abiertos debe ser hecha, preferiblemente, con bombas manuales en vez de cuerdas y baldes para evitar contaminación (John Hopkins y Red Cross, 2008). Los pozos profundos son más protegidos de la contaminación, pero en terremotos puede haber aberturas por las cuales el agua puede ser contaminada (Assar, 1971).

La Tabla 5 indica, para las diferentes fuentes de agua, las necesidades de tratamiento y métodos de extracción. Todas estas fuentes deben ser protegidas de contaminación de heces por humanos y animales.

SEDE PERMANENTE “ABEL WOLMAN” – Av. Angélica 2355 cj 132, 01227-200 São Paulo, SP, BRASIL

Tabla 5 – Tipos de fuentes de agua, necesidades de tratamiento y método de extracción

Fuente	Tratamiento	Extracción
Agua de lluvia	No necesario si el área de captación y los recipientes están limpios. ¹	Por gravedad.
Fuentes naturales	No necesario, si está protegido. ¹	Por gravedad.
Pozos superficiales	No necesario, si está protegido. ¹	Bomba manual, o balde con cuerda.
Pozos profundos	No necesario, si está protegido. ¹	Bomba mecánica.
Ríos y corrientes	Siempre necesario.	Puede haber necesidad de bombas mecánicas.
Lagos y reservorios	Siempre necesario.	Puede haber necesidad de bombas mecánicas.

¹ Excepto desinfección. Fuente: Adaptado de Wisner y Adams (2002)

4.3 Tratamiento del Agua

El principal objetivo del tratamiento de agua para consumo humano es eliminar los contaminantes que pueden causar daños a la salud, como organismos patógenos, toxinas y compuestos cancerígenos (House y Reed, 1997). Asumiendo que no hay altas concentraciones de tóxicos en el agua, los microorganismos patógenos son la mayor amenaza a la salud a corto plazo. La desinfección debe usarse siempre, incluso en fuentes de agua más puras como pozos profundos o fuentes en montañas. Esto es porque el agua puede contaminarse en el transporte y en el depósito familiar. La desinfección es muy afectada por la turbidez y si está presente, se deben utilizar las etapas previas de tratamiento. A continuación, se presentan algunos métodos de tratamiento para la remoción de la turbidez y de patógenos del agua (Wisner y Adams, 2002).

Almacenamiento y sedimentación plena: el almacenamiento del agua posibilita la sedimentación de partículas, reduciendo un poco la turbidez. También facilita una muerte natural de microorganismos patogénicos. Este proceso puede ser realizado centralizado o a nivel familiar.

Coagulación y floculación: en este proceso, un coagulante químico o natural se añade al agua para favorecer la formación de flocos de partículas coloidales. Puede quitar alrededor del 90% de la turbidez del agua.

Filtración gruesa: proceso que combina sedimentación y filtración de material granular con tamaños entre 5 y 25 mm. El agua clarificada puede ser encaminada a filtros lentos o rápidos de arena, o directamente para desinfección si la turbidez es menor que 5 UNT.

Filtración rápida o lenta en arena: la filtración rápida utiliza una tasa de aplicación superficial que es aproximadamente 20 veces superior a la utilizada en la filtración lenta. Sin embargo, la remoción de microorganismos es limitada, además de tener una operación más compleja y requerir

energía eléctrica. Así, en emergencias, la filtración lenta es más adecuada. Es simple de construir y es eficiente en la remoción de microorganismos. Sin embargo, funciona mejor para aguas con baja turbidez.

Desinfección: el agua usada para el consumo humano en emergencias debe ser desinfectada como medida de prevención de enfermedades transmisibles por ella. En emergencias, el método más común de desinfección es el uso de cloro. Es sencillo de aplicar y de medir, además de dejar un residuo en el agua que disminuye la posibilidad de contaminarse nuevamente durante la distribución. El hipoclorito de calcio en las formas granular y en polvo es la forma más común de cloro utilizado en la desinfección en emergencias. Loo *et al.* (2012) resaltan que el cloro en forma de tableta, como dicloroisocianurato de sodio, también es muy usado en emergencias debido a su estabilidad, seguridad, bajo costo y facilidad de transporte. El cloro libre residual de 0.3 mg.L⁻¹ y el tiempo de contacto por encima de 30 minutos son necesarios para matar bacterias y la mayoría de los virus. En el punto de uso, la concentración de cloro mínima debe ser de 0.2 mg.L⁻¹, o 0.5 mg.L⁻¹ en situaciones de mayor riesgo. La concentración de cloro residual libre debe monitorearse diariamente en el sistema de distribución y los lugares de almacenamiento del agua. Assar (1971) subraya que el tratamiento depende de la calidad del agua, de los materiales y equipos disponibles. Cita el cloro y sus varias formas como el agente desinfectante más común. Los factores que afectan la desinfección con cloro son: demanda de cloro, concentración aplicada, tiempo de contacto, temperatura, concentración de iones de hidrógeno y el cloro residual libre. La coagulación previa posibilita la remoción de partículas y materia orgánica, reduciendo la necesidad de cloro para desinfección. La adición de una unidad de filtración antes de la desinfección proporcionará un agua de aún mejor calidad.

En algunas situaciones, es posible el uso de estaciones de tratamiento de agua móviles, que tratan el agua localmente. Pero esta alternativa depende de que haya condiciones de acceso adecuadas a través de carreteras hasta los lugares de atención del desastre.

Otros métodos de tratamiento

La ebullición (hervir) del agua es muy eficiente para inactivar bacterias, virus y protozoos. El agua debe ser previamente filtrada en tejido para remoción de material grueso. Para mayor escala, la ebullición del agua no es una técnica viable para la producción de agua debido al alto consumo de combustible (1 kg de madera para cada litro de agua).

La filtración en margen es una técnica de uso común en países europeos. Agua de río es infiltrada en las márgenes y almacenada en el acuífero. En el proceso de infiltración ocurre una remoción natural de microorganismos y sólidos presentes en el agua (House y Reed, 1997).

Otros métodos de tratamiento pueden incluir el ajuste de pH, aireación, adsorción en carbón y alúmina activada, ósmosis inversa y filtración en membranas. El uso de estos métodos dependerá de la calidad del agua bruta y de las condiciones locales.

Ray y Jain (2014) dividen las tecnologías para aplicaciones de asistencia humanitaria a corto y largo plazo. Las de corto plazo pueden ser sistemas con alta o baja demanda de energía. Entre las primeras, los autores destacan la ósmosis inversa y la destilación, que produce agua en su forma más pura. Entre los procesos de poca demanda de energía está la ósmosis directa. Para aplicaciones a largo plazo, los autores citan la filtración lenta y la filtración en margen. A nivel de tratamiento en el punto de uso, se citan filtros de vela y cerámicos, potes cerámicos y recipientes Jerrycan, que funcionan con membrana de ultrafiltración. Para grupos de familias se describen los filtros de ósmosis inversa portables, que pueden producir hasta 340 litros de agua al día. A nivel individual están los filtros Lifestraw, que operan mediante succión humana a través de un filtro de microfiltración.

La pasteurización emplea el calor durante un período para alcanzar la inactivación de microorganismos. La Pasteurización Solar (SOPAS) es un proceso térmico que se basa en la destrucción de organismos por aumento de temperatura logrado a través de la exposición al sol. Por ejemplo, el tiempo requerido para inactivar el virus de la hepatitis A a la temperatura de 65°C es de 12 s. La desinfección solar (SODIS) utiliza el efecto combinado de la radiación ultravioleta y el aumento de la temperatura para inactivar microorganismos en el agua. SODIS y SOPAS se pueden utilizar conjuntamente. La desinfección con radiación ultravioleta es un método más eficiente que el cloro para inactivar los protozoarios *Giardia* y *Cryptosporidium*. Esta técnica puede ser usada para asistencia humanitaria principalmente si no hay filtración lenta del agua. Los electrocloradores producen hipoclorito de sodio a partir del paso de corriente eléctrica en aguas salinas. Ray y Jain (2014) destacan las tecnologías emergentes que incluyen la nanotecnología. Por ejemplo, los nano tubos de carbono pueden eliminar bacterias y virus por adsorción y eliminación por tamaño.

Loo *et al.* (2012) hacen una comparación entre las 16 principales tecnologías de tratamiento de agua que pueden ser consideradas para uso en situaciones de desastres y emergencias. Las tecnologías fueron evaluadas considerando los siguientes criterios: costo, facilidad de transporte, facilidad de uso, impacto ambiental, mantenimiento, desempeño, aceptación local, requerimiento de energía, requerimiento y disponibilidad de reposición de suministros y producción de agua. Considerando estos criterios, estos autores llegaron a clasificar las tecnologías en términos de puntuaciones obtenidas. Aquellas que fueron más favorables en el ranking son: 1) sistema de ultrafiltración portable, 2) ultrafiltración modular, 3) saché PuR®, 4) sistema de micro filtración portátil

y 5) filtro de matriz estructurada. El saché PuR® combina sulfato férrico, bentonita, carbonato de sodio, poliacrilamida, quitosana, permanganato de potasio e hipoclorito de calcio en un saché que tiene capacidad para tratar 10 litros de agua. El tratamiento se da con la aplicación del saché en el agua turbia. Después de un tiempo de contacto, la mezcla se filtra en un tejido de algodón. PuR® inactiva microorganismos y reduce la turbidez, produciendo agua segura para el consumo humano. También tiene la ventaja de eliminar el arsénico del agua. Es fácil de transportar debido a su tamaño compacto. El filtro de matriz estructurado incorpora materiales con capacidad de adsorción, de filtración molecular y con cargas electrostáticas en su microestructura. Su eficiencia en la remoción de bacterias, virus y protozoos puede ser superior a, respectivamente, seis, cuatro y tres unidades logarítmicas de remoción.

La OMS (WHO, 2011b) estableció, para las tecnologías de tratamiento de los hogares y de punto de uso, referencias de remoción de bacterias, virus y protozoos para los siguientes métodos de tratamiento: (1) la desinfección química con cloro, (2) filtración sobre membranas cerámicas porosas (3) filtración granular en tierra diatomácea, carbón activado y filtración lenta en arena, (4) desinfección solar, (5) radiación ultravioleta, (6) térmico por ebullición, (7) sedimentación y (8) combinación de floculación, con desinfección en sachés o tabletas. Las remociones máximas para bacterias, virus y protozoarios son alcanzadas por el sistema combinado (saché) y la ebullición.

4.4 Relación con otras medidas sanitarias

El suministro de agua potable es sólo uno de los factores que contribuyen a la preservación de la salud en situaciones de desastres y emergencias. Además del agua de calidad adecuada, otras intervenciones que minimizan la propagación de las enfermedades incluyen (Bastable y Harvey, 2013): (1) la disponibilidad de agua en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades mínimas; (2) la recolección y disposición adecuada de excretas; (3) la disponibilidad de recipientes limpios para el transporte y el almacenamiento del agua; (4) la promoción de prácticas higiénicas, en particular el lavado de manos con jabón; (5) la recolección y disposición adecuada de residuos sólidos domésticos; (6) el control eficiente de vectores de enfermedades a través del manejo adecuado de sus lugares de reproducción y (7) el drenaje de aguas estancadas.

5. Conclusiones

En las últimas décadas se ha producido un aumento en la frecuencia de desastres naturales y tecnológicos, además de los desplazamientos involuntarios de poblaciones. En estas situaciones, uno de los aspectos más críticos es el abastecimiento de agua potable, el cual tiene que ser realizado, normalmente, en condiciones precarias de infraestructura. Este artículo analizó varios aspectos del abastecimiento de agua en

emergencias, destacando las necesidades de cantidad, calidad y tratamiento del agua. Se discutieron las variables importantes en la elección de fuentes de agua y las características de calidad que deben ser atendidas para que el agua sea segura para el consumo humano. El mínimo tratamiento que debe ser garantizado al agua es la desinfección, pero los procesos complementarios pueden ser necesarios. Hay muchas opciones de tratamiento de agua, tanto a nivel centralizado, como en el punto de uso (*in situ*). La elección del método de tratamiento más viable depende de factores como facilidad de movilización de las estructuras, simplicidad, costo y requerimiento de energía.

6. Referencias Bibliográficas

Assar M. (1971). *Guide to Sanitation in Natural Disasters* (1971). World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Bastable A. and Harvey B. (2015). Emergency and disasters. In: *Routledge Handbook of Water and Health*, J. Bartram (ed.), Routledge, London, pp. 387-396.

Disasters Emergency Committee - DEC (2018). *Haiti Earthquake: Facts and Figures*. www.dec.org.uk/articles/haiti-earthquake-facts-and-figures (accessed 20 March 2018)

House S. and Reed B. (1997). *Emergency Water Sources. Guidelines for Selection and Treatment*. Water, Engineering and Development Centre, Leicestershire, United Kingdom.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA (2016). *Rompimento da Barragem do Fundão. Documentos relacionados ao desastre da Samarco*. <http://www.ibama.gov.br/recuperacao-ambiental/rompimento-da-barragem-de-fundao-desastre-da-samarco/documentos-relacionados-ao-desastre-da-samarco-em-mariana-mg>. (Acceso en 10 de marzo de 2018)

John Hopkins Bloomberg School of Public Health and International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2008). *The John Hopkins and Red Cross Red Crescent Public Health in Emergencies*. 2nd ed. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva, Switzerland.

Loo S-L., Fane A.G., Krantz W. B. and Lim, T-T. (2012) Emergency water supply: a review of potential technologies and selection criteria. *Water Research*, **46**, 3125-3151.

Ray C. and Jain R (2014). *Low Cost Emergency Water Purification Technologies*. Elsevier/IWA, Amsterdam.

SPHERE (2013) *The Sphere Handbook, Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response*.

Bourton on Dunsmore, United Kingdom: The SPHERE Project.

United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR) (2007). *Handbook for Emergencies*. 3rded. UNHCR, Geneva. <http://www.ifrc.org/PageFiles/95884/D.01.03.%20Handbook>