

TRATAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA SU ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN. TECNOLOGÍAS DE LOS CUIDADOS Y AGUA DE LLUVIA COMO ALTERNATIVA ANTE EL DESABASTO

*Liliana Estrada Zarza,¹ Lilia Zizumbo Villarreal,²
Oliver Gabriel Hernández Lara³ y Verónica Martínez Miranda⁴*

INTRODUCCIÓN

A pesar de los esfuerzos para aumentar el acceso al agua, la realidad es que en la mayoría de los países en desarrollo persisten varios obstáculos. Principalmente, los patógenos del agua continúan causando problemas en los hogares, de manera que las enfermedades relacionadas con el agua están contribuyendo a las tasas de morbilidad y las cargas económicas en países en desarrollo. En todo el mundo, una de las principales causas del aumento de la morbilidad y la mortalidad prematura sigue siendo la diarrea infecciosa (bacteriana, viral y parasitaria) y no infecciosa (causada por intolerancia a los alimentos o enfermedades intestinales) de origen hídrico, que provoca alrededor de 829 mil muertes cada año, a consecuencia de un saneamiento insuficiente, insalubridad del agua o mala higiene (OMS, 2022).

Por otro lado, en la actualidad se encuentran otras situaciones que hacen que el agua no llegue a las casas. Mucho es debido a la sobreexplotación de los pozos acuíferos que hace insuficiente el abasto de este líquido a las viviendas. Otro problema es la distribución, que suele priorizar el abasto a procesos productivos industriales y agrícolas, lo que provoca que el uso domiciliario –principalmente en vivienda popular– sufra de falta de agua. Por otro lado, se padece de contaminación en ríos, lagunas y mantos acuíferos. Frente a esta situación, distintos sectores poblacionales han venido recurriendo a otros sistemas de abastecimiento como es la captura de agua

¹ Facultad de Química. uaemex. lestradaz712@alumno.uaemex.mx

² Facultad de Turismo y Gastronomía. uaemex. lzizumbov@uaemex.mx

³ Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. uaemex. oghernandezl@uaemex.mx

⁴ Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua. uaemex. mmirandav@uaemex.mx

de lluvia. Muchas familias que viven en las periferias de las ciudades, así como en zonas rurales carecen de agua potable, viéndose en la necesidad de recurrir a capturar agua de lluvia, siendo principalmente las mujeres las que buscan de manera colectiva resolver este problema ya que son las encargadas de las actividades del hogar.

La captación de lluvia ha dado pasos importantes detonándose como una estrategia enraizada en prácticas populares, pero que –aplicando conocimiento científico e ingenieril– ha ido consolidando tecnologías centradas en la reproducción y los cuidados, con el objetivo de aminorar el problema de la falta de acceso del agua, teniendo un creciente interés en diversos sectores de la población por encontrar modelos que contemplen este recurso tanto a nivel individual como de manera colectiva.

El agua de lluvia cuenta con una alta calidad fisicoquímica en comparación con otras fuentes, el bajo consumo energético y su costo de distribución, tratamiento y aprovechamiento posibilita que familias se beneficien de este recurso de manera individual o colectiva utilizando materiales y mano de obra local para la edificación de los espacios de almacenamiento (Posadas; 2015).

El aprovechamiento directo del agua de lluvia sin tratar se puede ocupar en el riego del jardín, limpieza de zonas exteriores y aseos. La importancia de captarla, almacenarla y emplearla para estos fines es de gran valor para la mayoría de las poblaciones, especialmente aquellas que no tienen acceso al agua o en donde es escasa. Para darle otros usos, es necesario cumplir con los límites permisibles de calidad del agua especificados en la NOM-127-SSA1-2017, relativa al agua destinada al uso y consumo humano.

Actualmente, ante este problema complejo y creciente con el agua –presente tanto en grandes ciudades como en pequeños pueblos cualquiera que sea su clima o su aparente acceso al recurso–, se está recurriendo a la captura de lluvia sin tomar las previsiones para su utilización.

El objetivo de este capítulo es abordar los distintos tipos de tratamiento que se le pueden dar al agua de lluvia para su almacenamiento y posterior distribución para consumo humano en las distintas actividades que se requiera a nivel doméstico. Consideramos que este tipo de conocimientos y tecnologías –centradas y adaptadas a los ciclos naturales– son relevantes no solo por los fines que buscan –en torno de facilitar condiciones para la reproducción de la vida a nivel doméstico – sino por la manera en la que lo hacen – trabajando con los ritmos mismos de la naturaleza (Herrero, s/f). En dicho sentido, es que caracterizamos los Sistemas de Captación de

Agua de Lluvia (SCALL) como Tecnologías de los Cuidados centradas en la reproducción de la vida. Toda vez que el acceso al agua es elemental para la reproducción de la vida, y que los estados han reconocido el derecho a la misma e, incluso, derechos de cuerpos de agua o de la tierra como tal; es fundamental avanzar hacia diseños domésticos, urbanos y tecnologías que transformen nuestra relación con la misma. Además de las iniciativas jurídicas y científicas que se están desarrollando con el propósito de reevaluar nuestra relación con el recurso hídrico, es imperativo llevar a cabo un trabajo de índole técnica y arquitectónica para materializar dicha reconsideración. En dicho sentido consideramos la resonancia del urbanismo feminista del que nos inspiramos (Collectiu Punt 6, 2019).

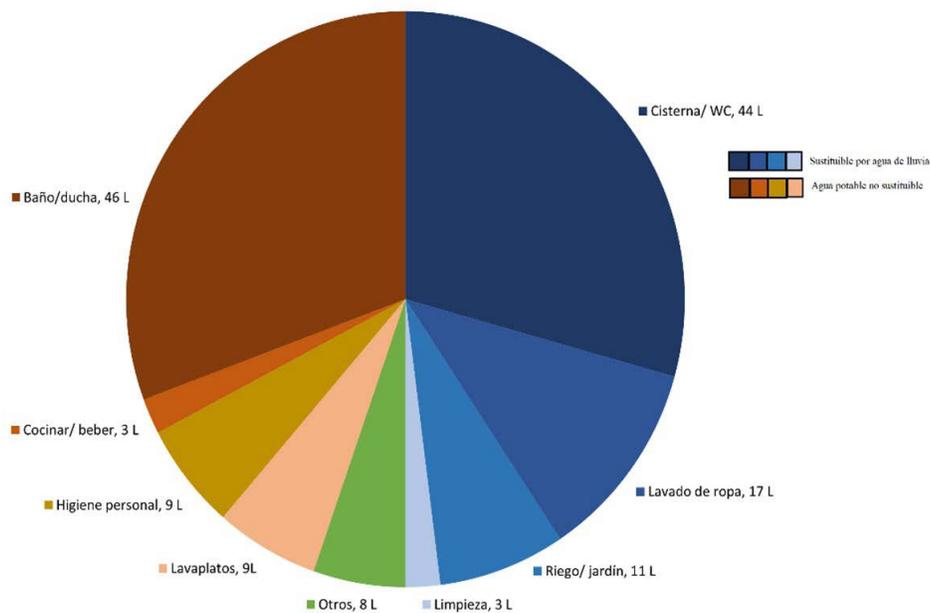
ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA. UN ANÁLISIS METODOLÓGICO

En general, las tecnologías de captación de agua de lluvia tienen origen empírico y se desarrollaron a partir de civilizaciones antiguas de América Central y del Sur, y otras partes del mundo. Medina Martín (2013) reseña aportes críticos de autoras feministas que, desde contextos periféricos y en el sur global han producido conceptos y prácticas en vistas a hacerse cargo de su propia situación. Sin embargo, estos métodos se han perfeccionado adecuándose a diversas situaciones con distintas finalidades (Silva *et al.*, 2000).

La lluvia, al ser un mecanismo natural de limpieza, se puede emplear en una multitud de aplicaciones diarias que no requieren una alta calidad y para las cuales el agua de lluvia es una alternativa eficaz y adecuada, pudiendo reducir más del 40 % del consumo de agua potable en un hogar (Fresquet, 2018).

Aprovechar la lluvia tiene diversos beneficios económicos, sociales y ambientales. La Gráfica 1 muestra un consumo doméstico en el que al menos 77 litros de agua al día pueden ser sustituidos por agua de lluvia. El agua que se puede utilizar en la cisterna o WC, lavado de ropa, riego o jardín y limpieza, son las actividades de usos del agua sustituibles por el agua de lluvia. El agua de la ducha, agua para cocinar o beber, agua para higiene personal, lavaplatos y otros usos, es agua que no se puede sustituir por agua de lluvia sin ningún tipo de tratamiento de desinfección. Después de un tratamiento de desinfección, el agua de consumo doméstico puede ser sustituida, en su totalidad, por agua de lluvia.

Gráfica 1. Consumos sustituibles por agua de lluvia en un hogar promedio



Fuente: Modificado de Fresquet (2018)

Es importante estudiar distintos métodos de tratamiento que se adecuen al agua de lluvia, considerando tiempos de implementación, ventajas y desventajas, así como periodos máximos y mínimos de autosuficiencia.

En los últimos años ha aumentado el interés en la recolección de agua de lluvia en los países desarrollados y en desarrollo, principalmente porque el agua de lluvia puede mitigar los efectos de la rápida urbanización y mejorar su seguridad hídrica frente a las condiciones climáticas futuras inciertas. Por lo regular, el agua de lluvia se recolecta a través de un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), que la recolecta de los techos y la almacena en un depósito apropiado para su uso (Lee *et al.*, 2017).

Existe la posibilidad de contaminar la escorrentía del agua de los materiales del techo con diversos contaminantes microbianos y químicos que deben eliminarse mediante un proceso de tratamiento adecuado. Ahmed y colaboradores (2012), han informado la presencia de varios microorganismos nocivos (bacterias indicadoras de heces y patógenos zoonóticos, incluidos *Campylobacter sp.*, *Salmonella sp.*, *Giardia lamblia* y *Escherichia coli*), en el agua de lluvia. La calidad del agua de lluvia almacenada está controlada por varios factores, incluida la ubicación de la captación del techo, la existencia de fuentes contaminantes (árboles grandes, nidos de pájaros, etc.), materiales

del techo, contaminación / deposición atmosférica, tamaño de la cisterna, e intrusión de animales y materiales utilizados para los sistemas de recolección y almacenamiento (Morrow *et al.*, 2010).

ETAPAS DEL PROCESO DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

El abastecimiento de agua se ha vuelto una prioridad, empleando sistemas de captación de agua de lluvia para mejorar la calidad de vida de las personas. Estos sistemas permiten obtener agua en cantidad y calidad suficientes para consumo humano.

Se pueden definir 5 etapas principales en el proceso de captación de agua de lluvia: recolección, conducción, sistema de filtración, almacenamiento y distribución.

1) Recolección

El agua que se precipita es captada por medio de canaletas acopladas al área de captación de agua de lluvia. Es importante mantener limpia esta área para que el agua no se contamine y se facilite su filtración.

La cantidad de agua que se puede captar está en función de la superficie de captación y la precipitación anual de la zona. Asimismo, la cantidad de agua de lluvia se afecta por el material, salpicaduras, evaporación, fugas y absorción del área de captación.

2) Conducción

El módulo de conducción es una tubería que ayuda a que el agua se mueva desde el área de captación hasta el depósito de almacenamiento.

3) Filtración

El agua de lluvia se puede emplear para actividades domésticas después de la recolección de manera inmediata. Sin embargo, el agua de lluvia se debe conducir a un sistema de filtración para convertirla en apta para consumo humano. El agua, después de esta etapa, se considera de calidad aceptable para su consumo, a condición de que se agregue una etapa de desinfección que garantice su calidad bacteriológica.

4) Almacenamiento

Durante la temporada de lluvias se puede captar un gran volumen de agua para almacenarla. Una fase muy importante al construir un sistema de captación de agua de lluvia será la definición de la estructura de almacenamiento, la cual se utilizará para almacenar el agua captada para ser utilizada de manera gradual de acuerdo con las necesidades del usuario.

Generalmente se hacen cisternas que son reservorios de agua cerrados, contruidos con diferentes materiales y formas. Se recomienda que la ubicación sea en un terreno plano y de suelo firme. La forma circular es también la más eficiente, desde el punto de vista de la construcción, operación y mantenimiento, facilitando la limpieza.

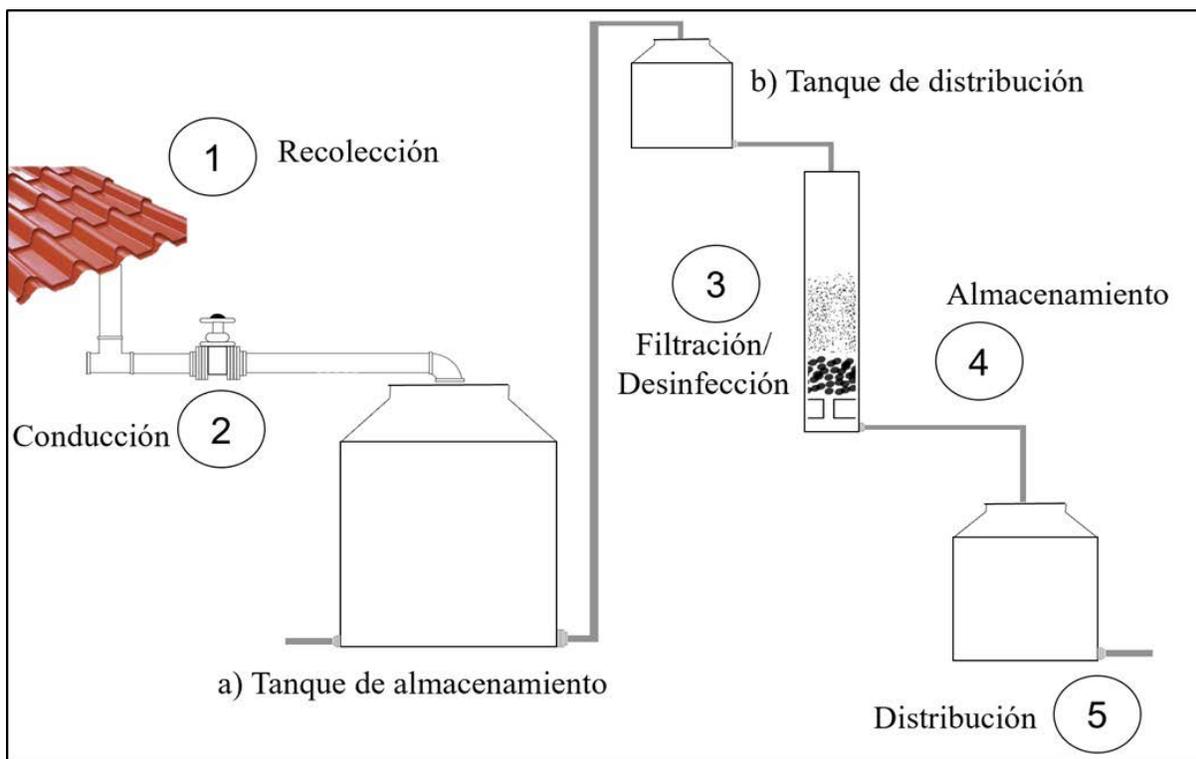
En los depósitos de agua se debe mantener el agua en buenas condiciones por largos periodos. Esta fase va a garantizar el suministro adecuado.

5) Distribución

En la última fase del sistema de captación de agua de lluvia, se debe tener en cuenta que el volumen captado cumpla con la demanda de agua del usuario. La demanda en cantidad y calidad del agua será determinada por el consumo del usuario para satisfacer un determinado objetivo.

En la figura 1 se pueden observar las etapas de captación de agua de lluvia. En ellas se visualiza que el modelo es más complejo del sistema de captación de agua de lluvia al agregar dos pasos extras: a) tanque de almacenamiento y b) tanques de distribución. En ocasiones se puede utilizar un primer tanque de almacenamiento que no lleva ningún tipo de filtración/ desinfección, para usos de agua directa. Posteriormente el tanque de distribución, normalmente de menor tamaño, es donde se envía el agua a filtración/ desinfección, después a un segundo paso de almacenamiento y posterior distribución, entonces el agua puede utilizarse para consumo humano.

Figura 1. Etapas de captación del agua de lluvia



Fuente: Elaboración propia

Fuentes de contaminación

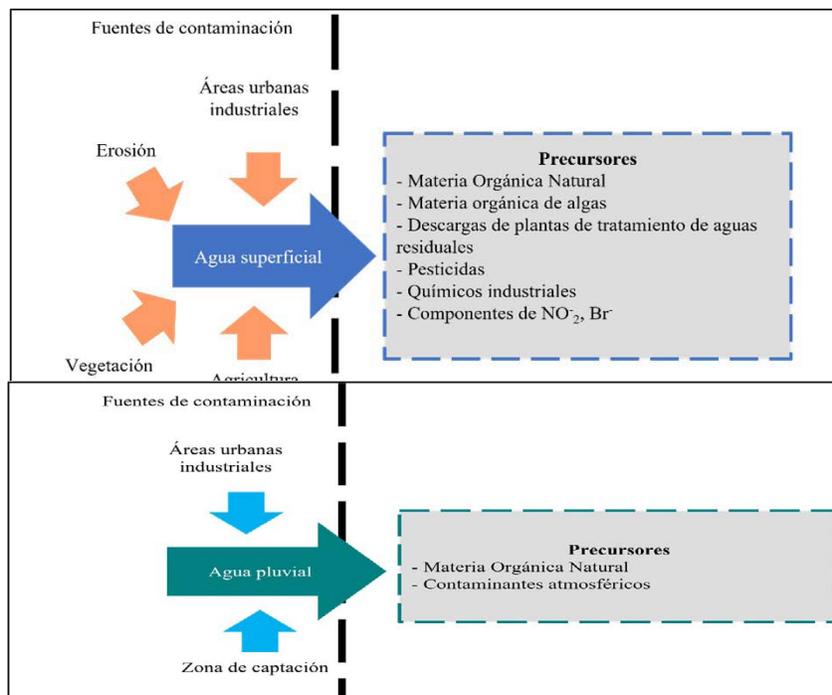
Las fuentes de agua superficiales a menudo se ven afectadas por descargas industriales, escorrentías agrícolas, floraciones de algas, descargas de aguas residuales municipales, escorrentías de aguas pluviales, incendios forestales y concentraciones elevadas de bromo y yodo (Ding *et al.*, 2019). Los productos farmacéuticos llegan al agua potable por el tratamiento inadecuado de las aguas residuales, por el consumo humano exagerado de medicamentos, el uso veterinario, o a través de fugas de las tierras agrícolas. Inclusive si están presentes en bajas concentraciones, los productos farmacéuticos pueden resistir el tratamiento de agua convencional (floculación, sedimentación, filtración) y la desinfección química (a través de cloro, cloraminas, ozono o dióxido de cloro) (Kaplan, 2013).

Las fuentes de contaminación del agua de lluvia en comparación con las del agua superficial son notoriamente menores (figura 2). Sin embargo, aunque el agua

de lluvia en su mayoría puede proporcionar agua limpia, segura y confiable, deben tomarse en cuenta ciertas medidas, dentro de las principales están, que los sistemas de recolección sean construidos adecuadamente y lleven un proceso de mantenimiento. El agua de lluvia debe ser almacenada para los usos previstos. Prestar atención a la calidad de agua de lluvia recolectada, ya que generalmente el área de captación empleada no siempre es construida especialmente para ese propósito. Una vez que la lluvia entra en contacto con un techo o superficie de recolección, puede arrastrar muchos tipos de bacterias, moho, algas, protozoos y otros contaminantes al sistema de almacenamiento.

Vialle y colaboradores (2004) encontraron contaminantes fecales y de calidad bacteriológica en agua de lluvia almacenada, recomendando tener el sistema de captación de agua de lluvia siempre equipado con un proceso de desinfección, así mismo, desviar las primeras descargas de agua para mejorar la calidad de agua de lluvia recolectada.

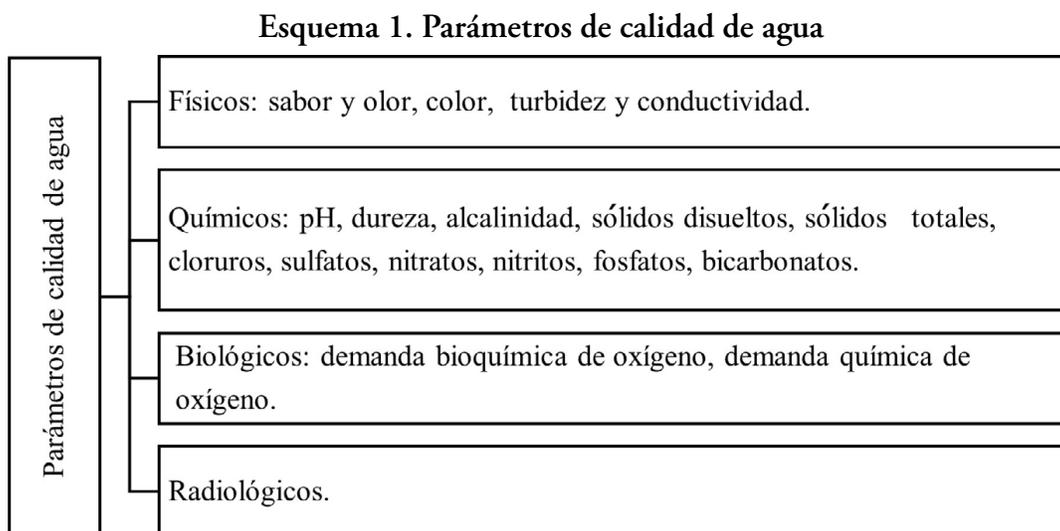
Figura 2. Comparación de fuentes de contaminación del agua de lluvia y el agua superficial



Fuente: Modificado de Gilca *et al.*, 2020

Parámetros de calidad de agua

Los parámetros se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: físicos, químicos, biológicos y radiológicos.



Fuente: Elaboración propia

Parámetros físicos

El sabor y olor del agua son de determinación subjetiva, no existen instrumentos de observación ni unidades de medida. Estos parámetros físicos son muy importantes porque de ello depende el interés de que sea una agua potable destinada a consumo humano (Lapeña, 1999).

El color en el agua indica la presencia de materia disuelta que afecta la transmisión de la luz. Este parámetro puede ser resultado de materia orgánica disuelta en el agua, como ácidos húmicos y fúlvicos procedentes del suelo, y taninos provenientes de vegetación en descomposición (Government of Canada, 2013).

Parámetros químicos

El pH es una medida de acidez o basicidad en una muestra. Los valores de pH van de 0 a 14, donde 7 es un valor neutro. Este parámetro puede ayudar a determinar el efecto tóxico de otras sustancias como el hierro, aluminio, amoníaco o mercurio (Sánchez y Bridgewater, 2007).

Los sólidos disueltos son una medida de cantidad disuelta en el agua, su procedencia puede ser orgánica o inorgánica. El valor máximo para agua potable es de 500 ppm, sin embargo, este parámetro por sí solo no es suficiente para determinar si un agua tiene la calidad suficiente para consumo humano (Lapeña, 1999).

Los nitratos son sales solubles. Es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede tener en el agua. Se forman en la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas (Sierra, 2011).

Parámetros biológicos

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. Representa, por tanto, una medida de concentración de la materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente (Sánchez y Bridgewater, 2007).

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se va a requerir para descomponer la materia orgánica e inorgánica. Se emplea para tener una medida de los contaminantes orgánicos e inorgánicos en una muestra de agua (Sánchez y Bridgewater, 2007).

Parámetros radiológicos

Los contaminantes radiológicos pueden proceder de fuentes naturales y antropogénicas. La presencia de radionúclidos naturales en el agua potable se asocia más frecuentemente con el agua subterránea. Los radionúclidos naturales están presentes en bajas concentraciones en todas las rocas y suelos. Cuando el agua subterránea ha estado en

contacto con la roca durante cientos o miles de años, pueden acumularse en el agua concentraciones importantes de estos contaminantes (Government of Canada, 2013).

Desinfección

Un logro importante para la protección de la salud humana es la obtención de agua potable segura a partir de agua sin tratar. El trabajo en dicho sentido ha ido desde soluciones domésticas y prácticas cotidianas, hasta el uso de tecnologías de gran escala. La desinfección y tratamiento de agua para usos antropogénicos es un trabajo que nos debe implicar a todos más allá de nuestra condición social, ingreso, género, etc. Sin embargo, también es necesario señalar las restricciones que existen para el manejo y utilización del recurso ya que depende en muchos casos de las condiciones de las poblaciones, de las precipitaciones de acuerdo con los ciclos. Es imperativo que los gobiernos otorguen prioridad y garanticen el acceso a agua de calidad para su ciudadanía. No obstante, en muchas instancias, se observa que la infraestructura se destina a fines más orientados a la comercialización o almacenamiento del recurso, en detrimento de su empleo primordial para la satisfacción de las necesidades básicas de la población. Por ello, es primordial hacer uso de tecnologías populares y de bajo costo que, junto con conocimientos técnicos más especializados nos permitan garantizar el acceso al agua desde las mismas unidades domésticas y respetando ciclos naturales (Collectiu Punt 6, 2019).

Se han sugerido y probado varias configuraciones del sistema para purificar el agua de lluvia almacenada (Eroksuz y Rahman, 2010; Ghisi *et al.*, 2007). Entre muchas operaciones unitarias sugeridas para el tratamiento del agua de lluvia almacenada, la operación unitaria más estudiada es la desinfección.

La desinfección es un proceso de oxidación que conlleva a la eliminación, la desactivación o eliminación de microorganismos presentes en el agua (bacterias, protozoarios, helmintos y virus). La acción de los desinfectantes en los microorganismos se puede explicar mediante cuatro mecanismos: daño a la pared celular, alteración de la permeabilidad de las células, alteración de la naturaleza coloidal del citoplasma e inhibición de la actividad enzimática (Martínez y Brillas, 2021).

Es bien conocida la amplia variedad de enfermedades infecciosas que provoca el consumo de agua contaminada con microorganismos (disentería amebiana,

disentería bacilar, enfermedades diarreicas, cólera, hepatitis A, fiebre paratifoidea y tifoidea, poliomielitis, etc.), ante tal situación se han desarrollado diversos métodos de desinfección, físicos y químicos (tabla 1).

Tabla 1. Sistemas y métodos de desinfección químicos y físicos

<i>Métodos químicos</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplos</i>
Cloro y sus derivados	Desinfectante de gran poder bactericida, aún en dosis pequeñas. Es económico y de fácil empleo, aunque requiere precaución en su manejo.	Compuestos de cloro, cloro gaseoso, dióxido de cloro
Bromo y derivados	Ocasionalmente se emplea. Para dosis iguales, el bromo es más efectivo que el cloro a valores de pH por arriba de 4. Sin embargo, su costo es más elevado.	Bromo, óxidos de bromo
Yodo y derivados	Raras veces empleado. Su aplicación requiere el uso de un neutralizante, por lo que resulta costoso para ser usado en grandes volúmenes de agua.	Yodo, hipoyodatos, yodatos
Sales metálicas	Se emplea para desinfectar alimentos, raras veces para desinfección de agua	Cobre, plata
Ácidos y álcalis	Se emplea en procesos tales como proceso cal/soda ash y en reciclado de aguas.	Cal, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico
Ozono	Después de la cloración es el método de desinfección más frecuentemente empleado.	Gas ozono generado <i>in situ</i>

Continúa...

<i>Métodos físicos</i>	<i>Descripción</i>	<i>EJEMPLOS</i>
Filtración	Consiste en hacer pasar una mezcla sólida-líquida a través de un medio poroso (filtro), que retiene los sólidos y permite el paso de los líquidos, remueve las partículas y materia coloidal no sedimentables.	Filtros de arena, de cerámica y de membrana
Radiación ultravioleta	Método eficiente para la desinfección de aguas claras y su efectividad decrece en aguas turbias, requiriendo algún proceso auxiliar (por ejemplo, filtración).	Lámparas que emiten radiación con una frecuencia de 254 nm
Temperatura	Sistema muy empleado en procesos de pasteurización o en desinfección casera.	
Radiación gamma	Solo se emplea para esterilización de equipo, no para desinfección de aguas. El costo de producción y seguridad de su manejo son una fuerte limitación	Cobalto-60.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA, 2016

RESULTADOS

El desabasto de agua ocurre cada vez con mayor frecuencia, haciendo que la búsqueda de fuentes alternativas de agua y las formas de promover su uso racional sean más relevantes no solo en regiones con escasez de agua, sino también buscando proporcionar un suministro estable de agua que se adecue al aumento de la demanda de agua, la rápida urbanización y el cambio climático (Ghisi *et al.*, 2007).

La recolección y el tratamiento del agua de lluvia suministra agua directamente a los hogares permitiendo a los miembros de la familia tener el total control de su propio sistema de agua, reduciendo la operación centralizada y los costos de mantenimiento (Naddeo *et al.*, 2013). Por otro lado, la recolección de agua de lluvia no sólo es efectiva en la disminución de la escasez de recursos hídricos, minimización de la erosión del suelo y daños por inundaciones, también puede proporcionar la posibilidad para el

desarrollo agrícola y tiene pocos impactos ambientales negativos en comparación con otras tecnologías de abastecimiento de agua (Zhu *et al.*, 2004).

El agua pluvial ha sido caracterizada por diversos autores, Vialle *et al.* (2011) obtuvieron datos de una villa rural ubicada al sureste de Francia (760 mm de precipitación media anual), la superficie de captación corresponde a un techo fabricado de tejas. Gallego (2010) caracterizó agua pluvial proveniente de un techo fabricado de acero galvanizado (818 mm de precipitación media anual), en el municipio de Toluca, Estado de México. Posadas (2015) utilizó agua de una bajante de agua pluvial correspondiente a 100 m² de techo, en el interior del Laboratorio de Modelos Hidráulicos, ubicado dentro de las instalaciones del entonces llamado Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), en Toluca, México y Estrada (2022), donde se obtuvieron datos de agua pluvial del municipio de Ixtapan de la Sal, México, para analizar la historia ambiental del agua entorno a su manejo, como base de una propuesta de la implementación de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL), como un instrumento de convivencialidad (Illich, Iván; 2019).

La tabla 2 presenta una comparación de distintos datos obtenidos de agua pluvial en función de los parámetros de calidad de agua con los límites permisibles de estos parámetros según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, que establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional. Basándonos en los datos obtenidos, se puede destacar la alta calidad fisicoquímica que tiene el agua pluvial al observar que la mayoría de los parámetros están muy por debajo de los límites permisibles según la NOM-127-SSA1-1994 aún sin algún tipo de tratamiento previo de potabilización, lo que la hace una alternativa eficaz para consumo humano.

Tabla 2. Caracterización del agua pluvial

<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Vialle et al. (2011)</i>	<i>Gallego (2010)</i>	<i>Posadas (2015)</i>	<i>Estrada (2022)</i>	<i>LÍMITE PERMISIBLE NOM-127-SSA1-1994</i>
pH		6.5	5.5	5.1	7.21	6.5-8.5
Temperatura	°C	14.9	17	17.6	19	-
DQO _T	(mg/L)	2.3	4.9	-	21.2	2
SST	(mg/L)	-	14	4	178	1000
N-NH ₃	(mg/L)	0.58	0.92	-	0	0.50
N-NO ₂ ⁻	(mg/L)	-	0.021	-	0.01	1
N-NO ₃ ⁻	(mg/L)	2.8	1.7	8.3	2.44	10
Cl ⁻	(mg/L)	1.9	2.30	7.4	14.6	250
Fe	(mg/L)	-	0.14	< 0.5	-	0.30
Mn	(mg/L)	-	0.25	-	-	0.15
Na	(mg/L)	1.1	0.22	< 0.5	-	200
SO ₄ ²⁻	(mg/L)	1.9	< 5.0	8.3	24.1	400
Alcalinidad	(mg/L CaCO ₃)	-	3.21	2.8	68.87	-
Acidez	(mg/LCaCO ₃)	-	5.16	4.7	-	-
Dureza	(mg/LCaCO ₃)	-	-	11.4	88.77	500
Total de coliformes	Ufc/ 100 mL	656 ± 2189	-	1030 ± 1060	4	2

Fuente: Elaboración propia con base en los datos proporcionado de los autores (Vialle *et al.*, Gallego, Posadas y Estrada

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA

Cloro y sus derivados

La cloración es el proceso de desinfección más común y asequible en plantas de tratamiento de agua centralizadas a gran escala, que elimina efectivamente la mayoría de los microorganismos en el agua (Sobsey *et al.*, 2002).

El agua se tiene que desinfectar porque existen microorganismos que pueden causar enfermedades a las personas (bacterias, virus, protozoos y otros microorganismos). Es la razón por la que se requiere extraer o inactivar los microorganismos dañinos. El químico más utilizado en el proceso de desinfección es el cloro y la dosis necesaria de cloro en el agua para su desinfección se determina de acuerdo con la “demanda de cloro”. Dentro de las principales ventajas del uso del cloro es el efecto residual que tiene este químico, es decir, tiene efecto desinfectante sobre el agua, mientras es transportada. Además, el cloro no interfiere en otras propiedades de agua, como la temperatura y pH (Aconsa, 2012).

Sin embargo, la cloración puede no ser la mejor opción para aplicaciones a pequeña escala, ya que requiere un proceso de mezcla química, almacenamiento químico y también distorsiona los parámetros secundarios de calidad del agua (sabor y olor) (Alekal *et al.*, 2005). Además, el almacenamiento de cloro gaseoso plantea importantes riesgos para la salud y, por lo tanto, se usa solo en grandes instalaciones de agua.

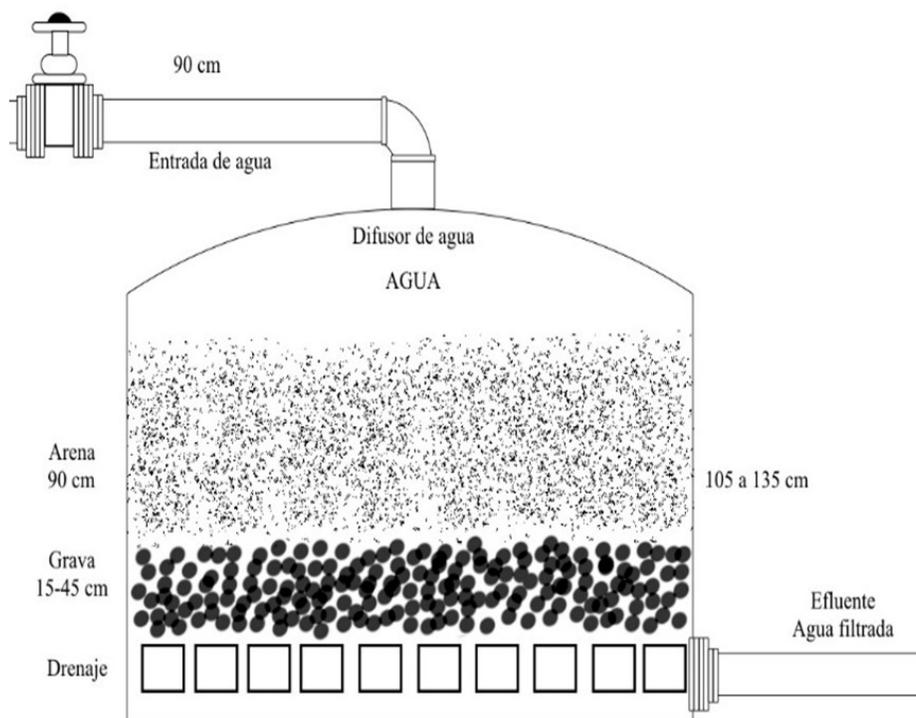
Filtración

La filtración lenta en arena se ha adaptado para uso doméstico y es también conocida como filtración de bioarena (figura 3). Los filtros de bioarena son tanques llenos de arena en los que se permite que crezca una capa bioactiva como medio para eliminar los microorganismos que causan enfermedades. Los filtros de bioarena eliminan las bacterias de manera constante, si no completamente, en un promedio del 81 al 100 %, y los protozoos en un promedio de 81 a 100 %. Sin embargo, estos filtros tienen una eficiencia de eliminación de virus limitada (Lantagne *et al.*, 2007).

La calidad del agua se puede mejorar mediante la filtración lenta en arena, que es una de las tecnologías más antiguas con resultados de tratamiento de agua, fácil de usar que genera efluentes de agua de alta calidad. Su funcionamiento consiste en hacer pasar lentamente el agua cruda a través de un lecho de arena porosa, que puede ser de diferentes tipos (con diferentes granulometrías), con la adición de diferentes tipos de arena, proporcionando mayor caudal de servicio y mejores tasas de filtración. Durante el funcionamiento, el agua entra en la superficie del filtro y sale por la parte inferior (Lesikar y Russell, 2000).

La filtración lenta en arena se puede considerar como biorremediación, utilizando otros organismos a favor del ser humano, y también puede ocurrir mediante procesos naturales a través de la proliferación de microorganismos que se alimentan de compuestos orgánicos en aguas con altas concentraciones de hidrocarburos. Sin embargo, las actividades humanas pueden acelerar las tendencias naturales.

Figura 3. Biofiltro de arena



Fuente: Elaboración propia

Los filtros de carbón activado, a menudo en forma de bloques prensados, seguidos de desinfección UV, se utilizan como unidades de mesa para el tratamiento adicional

del agua del grifo. Sin embargo, tienen una vida útil limitada (6- 8 meses) y costos relativamente altos. Este tipo de filtración, que utiliza carbón, es muy eficaz para eliminar ciertos sabores, olores y colores. Se puede utilizar carbón activado o convencional disponible localmente, que es más eficiente, pero aumenta los costos. (OMS, 2022).

El carbón activado granular a menudo se instala en las plantas de tratamiento de agua potable para controlar el sabor y el olor. El carbón activado tiene una estructura de partículas porosas y grupos funcionales de superficie donde los microbios que están presentes en el agua pueden adherirse y crecer para formar una biopelícula (denominada “biofiltración”), eliminando así los contaminantes a través de la adsorción y la biodegradación (Yuan *et al.*, 2022).

DISCUSIÓN

El agua apta para consumo humano es suficiente para satisfacer a la población actual, sin embargo, la inequidad en el acceso a la misma, la desviación de los ríos y fuentes pluviales, la contaminación, entre otros factores han hecho del agua limpia un bien escaso y controlado. Se han explorado varias tecnologías, solo o en combinación, como sistemas para tratar la fracción de agua de lluvia que se va a utilizar para beber (Sobsey, 2002). Algunos de estos métodos, como hervir agua, son tradicional y ampliamente utilizados, aunque no siempre pueden ser la solución óptima (Mintz *et al.*, 2001) en términos de cuestiones financieras y de calidad final del agua.

Las principales desventajas de la captación de agua de lluvia son la dependencia sobre la variabilidad estacional de las lluvias, la incertidumbre de las precipitaciones y también la calidad del agua de lluvia, que se caracteriza por un comportamiento fluctuante; además, las enfermedades pueden propagarse con las personas que consuman agua de un mismo sistema ya que el agua de lluvia tiene que ser almacenada, a veces por un largo periodo. Varias técnicas utilizadas para recolectar la escorrentía de precipitación caminos, campos o techos después de periodos secos pueden proporcionar a los usuarios finales suministro de agua contaminada debido a los contaminantes depositados que son arrastrados durante la precipitación (Zhu *et al.*, 2004).

Para asegurar la recolección de agua de lluvia de buena calidad, los procesos de recolección deben desviar la escorrentía muy sucia de los primeros milímetros

de lluvia lejos de los depósitos de almacenamiento para evitar la contaminación. Por lo tanto, el agua de lluvia solo se desvía a los depósitos después de que se haya lavado el área de captación (Zhu *et al.*, 2004).

Al evaluar distintos parámetros de calidad de agua de lluvia varios estudios llegan a la conclusión de que el agua de lluvia recolectada no es potable, presentando datos por encima de los niveles aceptables de contaminación microbiológica y parámetros de calidad fisicoquímica. Si bien es cierto que “no se ha alcanzado un consenso claro sobre la calidad y el riesgo para la salud asociados con el agua de lluvia recolectada” (Evans *et al.*, 2006), esto se debe al hecho de que la calidad del agua de lluvia recolectada y almacenada depende de una serie de factores que va a incluir la ubicación geográfica, tiempo que pasa almacenada, material del área de captación, mantenimiento y gestión del agua (Vialle *et al.*, 2004).

La recolección de lluvia ha alcanzado progresos importantes, estallando como una estrategia emergente para reducir el problema de la escasez de agua, despertando un creciente interés en diversos sectores de la población por encontrar modelos que consideren este recurso tanto de forma individual como colectiva.

En un mundo en constante evolución, la búsqueda de un futuro más próspero y equitativo se entrelaza estrechamente con la preservación de nuestros ecosistemas y la resiliencia de nuestras comunidades. Los “Usuarios Saludables” desempeñan un papel crucial al acceder a agua potable segura y adoptar prácticas sostenibles en el uso del agua, contribuyendo no solo a su propia salud, sino al bienestar colectivo y al fortalecimiento de la sociedad.

- | | |
|-------------------------|--|
| Usuarios saludables | <ul style="list-style-type: none"> • El acceso universal al agua potable segura, saneamiento e higiene, mejorando la calidad del agua y elevando los estándares de los servicios. |
| Mayor prosperidad | <ul style="list-style-type: none"> • El uso y el desarrollo sostenible de los recursos hídricos, aumentando y compartiendo los beneficios disponibles. |
| Sociedad equitativa | <ul style="list-style-type: none"> • Una gobernanza del agua sólida y eficaz, con instituciones y sistemas administrativos eficaces. |
| Ecosistemas protegidos | <ul style="list-style-type: none"> • Una mejor calidad de agua y de la gestión de aguas residuales, tomando en cuenta los límites ambientales. |
| Comunidades resilientes | <ul style="list-style-type: none"> • La reducción del riesgo de desastres relacionados con el agua para proteger a grupos vulnerables y minimizar las pérdidas económicas. |

REFLEXIONES FINALES

Aprovechar la lluvia tiene numerosos beneficios sociales, económicos y ambientales. Los estudios sobre calidad del agua de lluvia demuestran que independientemente de la zona de captación, tiene una alta calidad y se puede emplear para consumo humano.

La captura de agua de lluvia es una alternativa ante el desabasto de agua, así se entendería como una tecnología centrada en lo doméstico y en las necesidades para la reproducción, poniendo en el centro a la vida y los cuidados. Además, puede ser una forma de convivencia entre las poblaciones, organizándose para diseñar y construir los lugares de recolecta y almacenamiento de agua de lluvia.

Conocer la fuente de agua y características es el primer paso para saber qué sistema de tratamiento se requiere para obtener un agua potable para consumo humano segura. Para tomar las decisiones correctas en función al tratamiento deben conocerse características biológicas, químicas y físicas del agua.

Aunque el conocimiento sobre las técnicas de captación de agua de lluvia tiene un origen empírico y se han desarrollado a lo largo del tiempo, éstas se han perfeccionado y adaptado a diversas situaciones y finalidades, siendo de gran importancia el apoyo técnico externo para lograr almacenar mayores volúmenes de agua con calidad adecuada para consumo.

Los sistemas de captación de agua de lluvia suelen ser económicos, dependiendo del tipo de sistema de desinfección que se le implemente. Estos sistemas se consideran una alternativa para territorios que cuentan con una buena precipitación.

REFERENCIAS

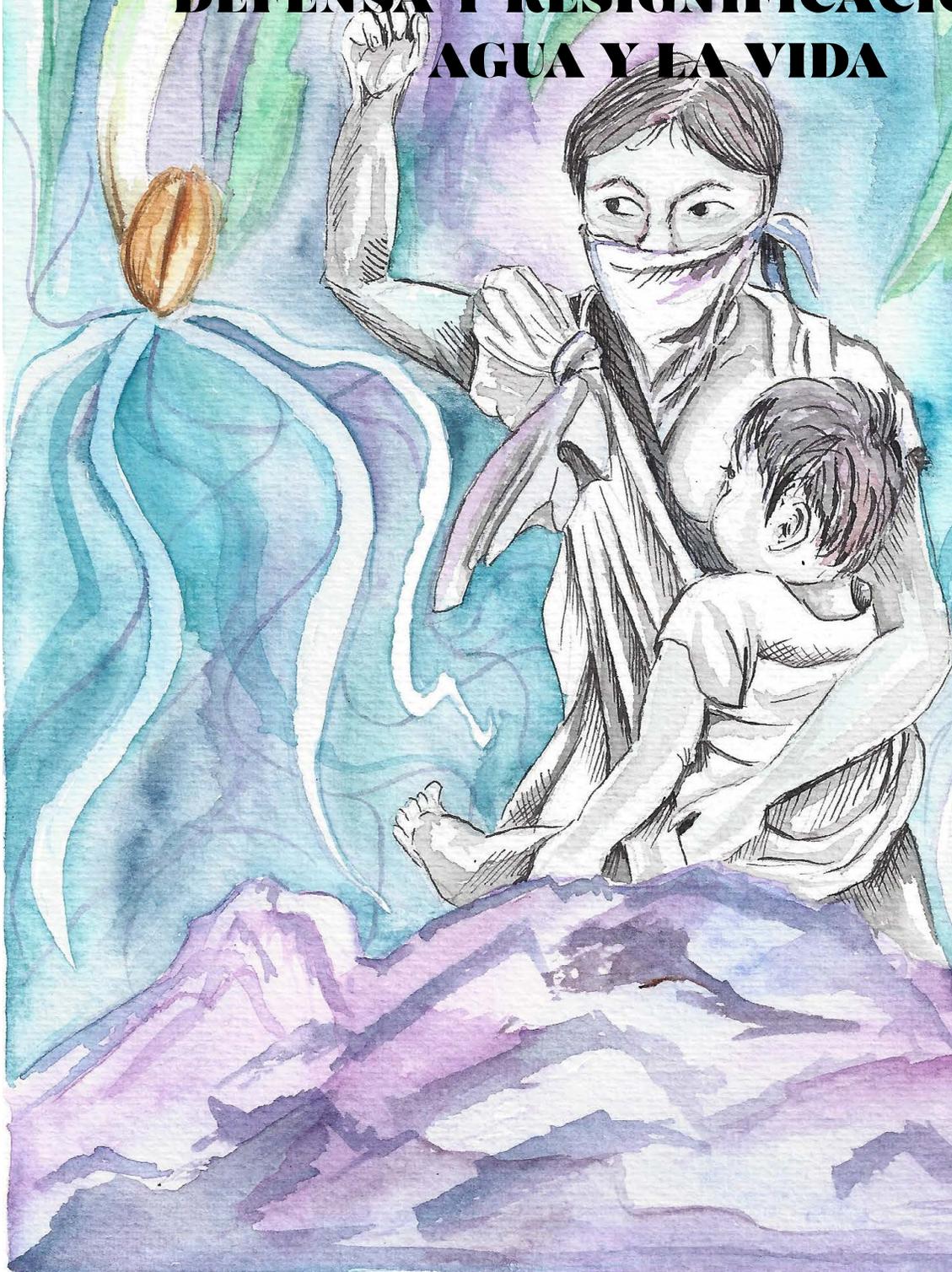
- Aconsa, E. de Comunicación. 2022. Cloro en el agua: cómo se usa, beneficios y qué países recurren a él, Aconsa. [En línea]. Disponible en: <https://aconsa-lab.com/cloro-agua-como-se-usa/> [Consultado el 26 de febrero de 2022].
- Ahmed, W., Hodgers, L., Sidhu, J.P.S. y Toze, S. 2012. Fecal indicators and zoonotic pathogens in household drinking water taps fed from rainwater tanks in southeast queensland, Australia. *Appl. Environ. Microbiol.* 78 (1), pp. 219.

- Alekal, P., Baffrey, R., Franz, A., Loux, B., Pihulic, M., Robinson, B., Young, S. y Murcott, S., 2005. Decentralized Household Water Treatment and Sanitation Systems. Civil and Environmental Engineering Department, Massachusetts Institute of Technology. Online, Cambridge, MA, USA.
- CONAGUA. 2016. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. Comisión Nacional del Agua. México.
- Col-lectiu Punt 6. 2019. Urbanismo Feminista. Por una Transformación Radical de los Espacios de Vida. Virus. Barcelona.
- Ding, S., Deng, Y., Bond, T., Fang, C., Cao, Z., Chu, W., 2019. Disinfection byproduct formation during drinking water treatment and distribution: a review of unintended effects of engineering agents and materials. *Water Res.* 160, 313e329.
- Evans, C.A., Coombes, P.J., Dunstan, R.H., 2006. Wind, rain and bacteria: the effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. *Water Research* 40 (1), 37e44.
- Eroksuz, E. y Rahman, A. 2010. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. *Resour. Conserv. Recycl.* 54, pp. 1449.
- Fresquet A. 2018. Sistema de captación de agua de lluvia para abastecer un edificio alto ubicado en 25 y J, Vedado, Trabajo de diploma, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.
- Gallego, A. 2010. Modelación matemática de biofiltro inserto en el star de una granja trutícola alimentada por cosecha pluvial. Tesis doctoral. CIRA, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Ghisi, E., Ferreira, D.F., 2007. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multistory residential building in southern Brazil. *Build. Environ.* 42, 2512–2522.
- Gilca, A. F., Teodosiu, C., Fiore, S., & Musteret, C. P. 2020. Emerging disinfection byproducts: A review on their occurrence and control in drinking water treatment processes. *Chemosphere*, 259, 127476.
- Government of Canada, P.S.and P.C. 2013. Water quality 101 : Potable Water micro-system fundamentals : A22-542/2011-DVD, Government of Canada Publications - Canada.ca.
- Herrero, Y. s/f. Sujetos arraigados en la tierra y en los cuerpos. Hacia una antropología que reconozca los límites y la vulnerabilidad. Roza y Quema. España.
- Illich, I. (2019). *Obras reunidas I*, Fondo de Cultura Económica.

- Kaplan, S., 2013. Review: pharmacological pollution in water. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 43, 1074e1116.
- Lantagne, S., Quick, R., Mintz, E.D., 2007. Household water treatment and safe. Storage Options in Developing Countries. A Review of Current Implementation Practices. Woodrows, Wilson International Center for Scholars, USA.
- Lapeña, M. R. 1999. Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales. México: Alfaomega.
- Lee, M., Kim, M., Kim, Y. and Han, M., 2017. Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. *Journal of Environmental Management*, 200, pp.400-406.
- Lesikar, B. y Russell P. 2000. On-site wastewater treatment systems. Extension Agricultural Engineering Specialist, Extension Assistant-Water Conservation. The Texas A&M University System
- Medina Martín, R. 2013. Feminismos Periféricos, Feminismos-Otros: Una Genealogía Feminista Decolonial por Reivindicar. *Revista Internacional de Pensamiento Político*, Vol. 8, pp. 53 – 79.
- Martínez Huitle, C.A. y Brillas, E. 2021. A critical review over the electrochemical disinfection of bacteria in synthetic and real wastewaters using a boron-doped diamond anode, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 25(4), pp. 100926.
- Mintz, E., Bartram, J., Lochery, P. y Wegelin, M. 2001. Not just a drop in the bucket: Expanding access to point-of-use water treatment systems. *American Journal of Public Health*, 91(10), 1565–1570.
- Morrow, A., Dunstan, R. y Coombes, P. 2010. Elemental composition at different points of the rainwater harvesting system. *Sci. Total Environ*, pp. 4542.
- Naddeo, V., Scannapieco, D. and Belgiorno, V. 2013. “Enhanced drinking water supply through harvested rainwater treatment”, *Journal of Hydrology*, 498, pp. 287–291.
- Posadas, B. 2015. Sistema de cosecha de agua pluvial y reutilización de aguas grises de regadera en vivienda unifamiliar. Tesis de Maestría en Ciencias del Agua. CIRA. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Sánchez Óscar, y Bridgewater, P. 2007. Perspectivas sobre conservación de Ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Sierra, A. 2011. Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico. Medellín: Universidad de Medellín.

- Silva, A., Porto E., Anjos B., Silva S. y Pérez S. 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Tomo II. Experiencias en América Latina. PNUMA-FAO Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, p. 57–71.
- Sobsey, M.D., Water, S. y Organization, W.H. 2002. Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. World Health Organization, Geneva.
- Vialle, C., Sablayrolles, C., Lovera, M., Jacob, S., Huau, M.C., 2011a. Monitoring of water quality from roof runoff: interpretation using multivariate analysis. *Water Res.* 45, 3765–3775.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2022. Agua para Consumo Humano. [En línea] Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (Consultado el 22 de enero de 2023).
- Yuan, J. *et al*, 2022. Evaluating the relative adsorption and biodegradation of 2-methylisoborneol and geosmin across granular activated carbon filter-adsorbers, *Water Research*, 215, p. 118239.
- Zhu, K., Zhang, L., Hart, W., Liu, M., Chen, H., 2004. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. *J. Arid Environ.* 57 (4), 487–505.

**EXPERIENCIAS DE MUJERES EN
DEFENSA Y RESIGNIFICACIÓN DEL
AGUA Y LA VIDA**



SUJETAS EN DEFENSA DE LA VIDA. EXPERIENCIAS DE LAS MUJERES DE LA ESCUELITA DEL AGUA EN MÉXICO

Aracely Rojas López¹ y Lizbeth Anabel Laguna Leal²

INTRODUCCIÓN

Visibilizar el trabajo colectivo y el intercambio de experiencias de las mujeres que colaboran en la escuela del agua, es el objetivo general de este capítulo, a partir de la recreación de diversas herramientas convivenciales, se han generado alternativas para la defensa del agua y de la vida en México.

En este sentido, el papel de las mujeres al interior de este colectivo ha sido crucial para la diversificación de las estrategias en el cuidado y manejo del agua, buscando incidir en la participación y en la toma de decisiones. Algunas de las consideraciones finales en las que este texto busca profundizar tratan sobre las herramientas que la escuela del agua ha adoptado a partir del acompañamiento de mujeres, su diversificación y las posibilidades de réplica en otros espacios colectivos.

La problemática actual del agua en nuestro país está enmarcada en una fuerte crisis ambiental, que va desde la contaminación y el deficiente tratamiento del agua, la sobreexplotación de acuíferos, la conflictividad socioambiental, la desaparición de ecosistemas y la pérdida de diversidad biológica, hasta la disputa por el control de las fuentes de agua. En medio de este panorama nacional, el cambio climático y la financiarización del agua, suponen la generación de nuevos escenarios economicistas que ponen en peligro la existencia de todas las formas de vida.

En tanto, algunos países como Canadá pretenden solucionar los problemas del agua a través de la operación de mecanismos de mercado como lo son los bonos verdes y la creación de procesos financieros crediticios, con el objeto de generar fondos para atenuar la crisis ambiental (Braly, 2022); en México, se padece una de las sequías más severas de las últimas décadas, en la que ni la intervención de la finanzas verdes, la política ambiental nacional, ni la responsabilidad empresarial han resultado suficientes

¹ Investigadora comunitaria. aracelymar@gmail.com

² Integranete de la Escuela del Agua. admon.edela@gmail.com