

Captación, calidad y uso del agua de lluvia

Neri De la luz Itzel, Flores Valverde Erasmo*, Valladares Rodríguez María Rita

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: efv@azc.uam.mx

Recibido:

11/junio/2022

Aceptado:

30/diciembre/2022

Palabras clave:

Captación agua de lluvia,
desinfección,
agua potable

Keywords:

Rainwater harvesting,
disinfection,
drinking water

RESUMEN

La presente investigación trata de la implementación de un sistema para el aprovechamiento del agua de lluvia, el trabajo se llevó a cabo en el poblado de San Juan Yauhtepec, Municipio de Huixquilucan, estado de México. La captación del agua de lluvia se efectúa en la azotea del tercer piso de una casa habitación, con una superficie de 220 m², allí se instala el primer filtro tipo criba, el agua baja por tubería al piso donde está la cisterna, con capacidad de 80 m³, antes de entrar a la cisterna existen dos filtros uno a base de gravas y el último tipo criba. Las muestras de agua de la cisterna se analizaron, encontrándose que éstas cumplen en lo general con la NOM-127-SSA1-127-1996 (modificada en 2000) a excepción de los organismos coliformes fecales, por lo que el agua es tratada por cloración, conforme a la normatividad y al ser analizada, los resultados muestran que cumple con los estándares de calidad establecidos en la norma, por lo que ésta puede ser usada para consumo humano.

ABSTRACT

The present investigation deals with the implementation of a system for the use of rainwater, the work was carried out in the town of San Juan Yauhtepec, Municipality of Huixquilucan, state of Mexico. Rainwater is collected on the roof of the third floor of a house, with a surface area of 220 m², where the first sieve-type filter is installed, the water is piped down to the floor where the cistern is, with a capacity of 80 m³, before entering the tank there are two filters, one based on gravel and the last type is a screen. The water samples from the tank were analyzed, finding that they generally comply with NOM-127-SSA1-127-1996 (modified in 2000) except for fecal coliform organisms, so the water is treated by chlorination, in accordance with the regulations and when analyzed, the results show that it meets the quality standards established in the norm, so it can be used for human consumption.

Introducción

La recolección de agua de lluvia es una oportunidad para atender parte de las necesidades de las personas, siendo una solución ideal para poblaciones que no tienen acceso al agua o esta se encuentra en escasez. El agua de lluvia recolectada tiene múltiples aplicaciones, observándose que con un tratamiento por cloración cumplen los requisitos del agua potable (Torres, 2019).

Los primeros antecedentes que se tienen surgen en Jordania alrededor de 850 a.c, se indican cisternas de agua para cada casa, donde mantenían el antiguo hábito de mantener una cisterna para recolectar agua de lluvia; las cisternas eran tecnológicamente sofisticadas con depósitos de sedimentación para separar el lodo y la arena antes de que el agua entrara en la cisterna principal. Por otra parte, en los primeros tiempos de los romanos, las villas romanas e incluso ciudades enteras se diseñaron para aprovechar el agua de lluvia como principal fuente de agua para beber y para fines domésticos, teniendo la evidencia más antigua al norte de Egipto. Mientras que, en Tailandia durante miles de años se practicaba a pequeña escala la captación de agua de lluvia en jarras y ollas, donde la lluvia descendía de los aleros de los techos siendo transportada mediante canaletas (UN-Habitat, 2005).

En Honduras, desde 1990 las viviendas contaban con sistemas de captación improvisados, las cuales eran carentes de mantenimiento y limpieza, siendo empleada el agua recolectada para necesidades domésticas, ocupando materiales reciclables. En Bangladesh, debido a la contaminación de aguas subterráneas con arsénico, fueron instalados en 1997 sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia para el suministro de agua segura. Mientras que, en Tailandia a partir del 1985, se construyeron vasijas de arcilla para el almacenamiento de agua de lluvia proveniente del escurrimiento de los techos, logrando un sistema apropiado y económico para obtener agua de alta calidad Ballén et al. (2006).

En África el abastecimiento de agua potable es una situación crítica, padecen de escasez, calidad y seguridad del suministro debido a la alta pobreza que imposibilita obtener recursos y tecnologías necesarias para la construcción y operación de acueductos y alcantarillado. No obstante, las prácticas llevadas a cabo de carácter informal proporcionan costos reducidos pero una baja calidad del agua Ballén et al. (2006).

El agua de lluvia se puede emplear para uso directo o incluso se puede destinar para recargar el agua subterránea lo cual dará lugar al mejoramiento de la calidad de la misma y se aumentarían los niveles de agua

en pozos y pozos perforados que se están secando, así como reducir la erosión del suelo a medida que se reduce la escorrentía superficial. La recolección de agua de lluvia es una solución ideal para los problemas de agua en áreas con recursos hídricos inadecuados, donde se sustituye al agua subterránea o superficial cuando éstas se encuentran contaminadas, además de ser útil para mitigar los efectos de la sequía (UN-Habitat, 2005).

Los sistemas de captación de agua de lluvia presentan diversas ventajas en comparación con las aguas superficiales y subterráneas que son empleadas como fuente principal para el abastecimiento humano (Arboleda, 2016). La recolección de agua de lluvia comprende un fácil mantenimiento, descarta sistemas costosos y complejos de distribución, logran un ahorro de energía, además no impacta el subsuelo, ríos ni ecosistemas, manteniendo los acuíferos en mejores condiciones al tener una menor necesidad de extracción Adler et al. (2008).

Los factores que deben tenerse en cuenta son las características de la superficie de captación, el agua de captación para uso potable deberá ser un techo limpio y liso posible. El agua debe correr sin obstáculos ni estancamientos, siendo ideales los materiales (cemento, ferrocemento, plástico, fibra de vidrio, revestimiento de plástico, polietileno) que no agregarán contaminación al agua. El techo debe tener una pendiente de por lo menos 2%, ocasionando que el agua corra o escurra por gravedad y se pueda dirigir el flujo hacia el punto de recolección. Además, se deben incluir sistemas que se encarguen de centralizar y conducir el agua de lluvia hacia el resto de los elementos del sistema., se deben contar con instalaciones para canalizar el agua de lluvia, ya sea con tuberías, bajadas o canaletas (SEDEMA, 2020).

El agua de lluvia puede considerarse poco contaminada, ya que a diferencia de un agua superficial la de lluvia no ha tenido contacto con superficies que puedan ser contaminante, es claro que cuando el agua de lluvia cae proveniente de una zona industrial es probable que algunos parámetros salgan de norma y en conclusión es necesario determinar la calidad de dicha agua, sin embargo, se desconoce la calidad del agua de lluvia, debido al desconocimiento de los contaminantes presentes en el del lugar de captación (Ospina y Ramírez, 2014) como también los cuidados necesarios durante su captación y almacenamiento (Hernández y Chaparro 2020), ya que también depende el estado del tanque de almacenamiento durante las temporadas de estiaje y de lluvia, León et al. (2015).

Cuando el agua de lluvia se destina para consumo humano, se debe asegurar su calidad, cumpliendo con la

normatividad aplicable, siendo necesaria la caracterización del agua captada. En algunos estudios realizados se ha observado que la potabilización del agua puede cumplir con la normatividad, mediante un tratamiento convencional, conociendo los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua, se podrá emplear el tratamiento adecuado en base a su caracterización.

Metodología

Sistema de captación de agua de lluvia

Superficie de captación

La superficie de captación designada es la azotea, ubicada en el tercer piso de la casa, como se puede observar en la Figura 1, la cual es un área libre, sin obstáculos ni estancamientos. El suelo cuenta con una pendiente aproximada del 2%, además está compuesto de loseta cerámica lisa, con un coeficiente de captación de 0.85. (SEDEMA, 2020).



Figura 1. Superficie captación de agua de lluvia de 220m².

Para determinar la superficie (área) de captación de agua de lluvia de la azotea se midieron las distancias de los lados que forman la azotea (en metros), obteniendo una superficie de 220m².

Precipitación pluvial

Para conocer la precipitación pluvial aproximada del municipio de Huixquilucan se consultó el Sistema Meteorológico Nacional (SMN) la información estadística climatológica de las estaciones cercanas al municipio. Se seleccionaron únicamente los datos de precipitación pluvial mensual comprendida entre los meses de junio a octubre del año 2017 (Figura 2). En la Tabla 1, se pueden observar los datos de precipitación pluvial mensual en cuatro meses en la estación “La marquesa”.

Tabla 1. Precipitación pluvial mensual en el año 2017 en la estación climatológica “La marquesa” (Fuente: SMN).

Mes	Precipitación (mm)
Junio	95
Julio	251.8
Agosto	391
Septiembre	237.3
Octubre	102

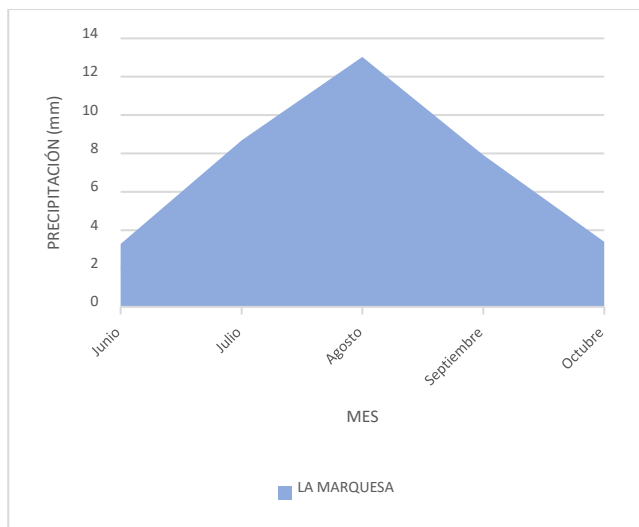


Figura 2. Precipitación pluvial en la estación climatológica “La marquesa” comprendida entre los meses de Junio a Octubre de 2017 (Fuente: SMN).

Potencial de captación de agua de lluvia

Los sistemas de captación de agua de lluvia requieren de una cisterna para recibir el agua, sus dimensiones dependen de la cantidad de agua que se pueda recolectar y de la demanda de agua de acuerdo con el uso que se le dará (SEDEMA, 2020).

Se determinó la cantidad máxima de lluvia que se puede recolectar de la azotea de la siguiente manera:

$$V = (A) (R) (C)$$

Donde: **V** : Potencial de captación de agua de lluvia

A : Área de captación

R : Precipitación

C : Coeficiente de escorrentía

Aplicando valores, se obtiene el volumen en m³

$$V = (A) (R) (C)$$

$$V = (220 \text{ m}^2) (1.077\text{m}) (0.80)$$

$$V = 189.55 \text{ m}^3 = 189550\text{L}$$

En este caso la cisterna de almacenamiento se construyó para almacenar solamente 100 m³ porque es el agua suficiente para cubrir la demanda en la temporada de sequía.

Bajadas pluviales

El dimensionamiento de las bajadas pluviales consiste en tubería de PVC de 4 pulgadas, siendo dicha tubería adecuada para que el agua se conduzca sin problemas de acumularse en algún punto, sin permitir además acumulación de sólidos que eventualmente pueden aparecer en épocas de lluvia.

Filtración

La filtración se lleva a cabo de dos formas, una con la colocación de filtros tipo criba y la segunda colocando filtros de grava de diferentes diámetros. Los filtros tipo criba se ubican en las esquinas de la superficie de captación (azotea) donde se lleva a cabo la conducción del agua de lluvia a la cisterna de almacenamiento. En la Figuras 3, se puede observar la posición de uno de los filtros tipo criba en las esquinas de la azotea.



Figura 3. Filtración con filtros tipo criba al inicio de la captación.

Los filtros tipo criba impiden la entrada de hojas, ramas u otro tipo de residuos que puedan generar algún bloqueo en las tuberías como también evitar la posibilidad de aumentar la cantidad de sólidos en el agua almacenada en la cisterna.

Consecutivamente el agua se conduce hacia tres filtros a base de gravas, como se puede observar en la Figura 4. En el primer filtro se lleva a cabo la desviación del agua de lluvia durante los primeros minutos de lluvia, debido a que ésta suele contener concentraciones más altas de contaminantes. La desviación se realiza antes de que el agua captada llegue a la cisterna de almacenamiento. Posteriormente el agua de lluvia pasa por los siguientes dos filtros a base de gravas, para conducirse después a la cisterna.



Figura 4. Filtración del agua en su paso a la cisterna con filtros a base de gravas de diferentes diámetros y filtro tipo criba en la tubería de PVC.

Sedimentación

La sedimentación se efectúa tanto en los tres filtros a base de gravas, como en la cisterna de almacenamiento. Tanto en los filtros como en la cisterna, el agua de captación permanece en reposo durante algún tiempo, de forma que los sólidos, fundamentalmente de tierra, tienden a precipitarse, por lo que se acumulan en el fondo y de esta manera se separan todos los sólidos mezclados con la tierra.

Almacenamiento

El almacenamiento del agua de lluvia captada, se lleva a cabo en una cisterna, ésta se construyó con tabique rojo colocado a lo ancho para asegurar más grosor en las paredes y ocho castillos (uno en el centro de cada pared) con cuatro varillas de media pulgada cada uno, aplanado el interior perfectamente y tapada con una loza de 15 cm de espesor, cabe señalar que la cisterna se encuentra sumergida en el suelo con la tapa a nivel del piso.

En la Figura 5, se observa que la cisterna de almacenamiento cuenta con dos tipos de filtración, los cuales consisten en un último filtro tipo criba y un filtro a base de gravas. El filtro tipo criba se localiza en la parte superior donde se encuentra la entrada de la tubería que conduce el agua captada, mientras que el filtro a base de gravas tiene como propósito alcanzar una mejor calidad del agua de lluvia, sirviendo como complemento en el filtrado.



Figura 5. Filtración del agua inmediatamente antes de entrar a la cisterna con filtros a base de gravas de diferentes diámetros y filtro tipo criba en la tubería de PVC

Extracción del agua

La extracción del agua se realiza mediante una bomba sumergible, localizada en la cisterna de almacenamiento y cuenta con una capacidad de un caballo de fuerza.

Caracterización del agua de lluvia

Para que se pueda destinar el agua de lluvia captada para consumo humano, es necesario conocer su calidad. De esta manera, se llevó a cabo la caracterización biológica, química y fisicoquímica del agua de lluvia contenida en la cisterna (Figura 4), donde los parámetros determinados se enlistan en las Tablas 2, 3 y 4 con su respectivo procedimiento.

Tabla 2. Análisis biológicos determinados.

Parámetro	Procedimiento
Coliformes totales	NMX-AA-042-SCFI-2015
Coliformes fecales	NMX-AA-042-SCFI-2015

Tabla 3. Análisis fisicoquímicos determinados.

Parámetro	Procedimiento
Color	NMX-AA-045-SCFI-2001
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016
SDT	NMX-AA-034-SCFI-2015

Tabla 4. Análisis químicos determinados.

Parámetro	Procedimiento
Cianuros	NMX-AA-058-SCFI-2001
Cloruros	NMX-AA-073-SCFI-2001
Dureza total	NMX-AA-072-SCFI-2001
Fluoruros	NMX-AA-077-SCFI-2001
Nitratos	NMX-AA-079-SCFI-2001
Nitritos	NMX-AA-099-SCFI-2006
Nitrógeno amoniacal	NMX-AA-026-SCFI-2010
Sulfatos	NMX-AA-074-SCFI-2014
SAAM	NMX-AA-039-SCFI-2001
Arsénico	NMX-AA-051-SCFI-2016
Bario	NMX-AA-051-SCFI-2016
Cadmio	NMX-AA-051-SCFI-2016
Cobre	NMX-AA-051-SCFI-2016
Cromo total	NMX-AA-051-SCFI-2016
Hierro	NMX-AA-051-SCFI-2016
Manganeso	NMX-AA-051-SCFI-2016
Mercurio	NMX-AA-051-SCFI-2016
Plomo	NMX-AA-051-SCFI-2016
Sodio	NMX-AA-051-SCFI-2016
Zinc	NMX-AA-051-SCFI-2016

Desinfección

Esta etapa tiene por objetivo brindar agua para consumo humano, con este propósito, la calidad del agua debe cumplir con los criterios que establece la NOM-127-SSA1-2021 "Límites permisibles para agua de consumo humano".

Como tratamiento de desinfección se optó por la cloración; debido a que es un tratamiento económico y sencillo de llevar a cabo.

Se obtuvieron muestras del agua del tanque de almacenamiento, a las que se les agregó 1.5 mg/L de cloro libre como hipoclorito de sodio. Una vez añadido el hipoclorito de sodio, se mezcló el reactivo en las muestras preparadas, y se dejaron reaccionar durante dos horas. Posteriormente se analizaron las muestras tratadas y sin tratar, mediante la técnica del número más probable para determinar la eficiencia del tratamiento de desinfección.

Resultados y discusión

En la caracterización biológica, el agua de lluvia almacenada en la cisterna mostró contaminación por Coliformes totales y Coliformes fecales, como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Caracterización biológica del agua de lluvia almacenada en la cisterna de almacenamiento.

Parámetro	Resultado (NMP/100mL)	LP (NMP/100MI)
Organismos coliformes totales	110	Ausente
Organismos coliformes fecales	23	Ausente

Tabla 6. Cantidad de organismos coliformes en el agua de lluvia colectada, después del tratamiento de desinfección mediante cloración.

Parámetro	Resultado (NMP/100mL)	LP (NMP/100MI)
Organismos coliformes totales	Ausente	Ausente
Organismos coliformes fecales	Ausente	Ausente

Tabla 7. Caracterización del agua de lluvia colectada en la cisterna de almacenamiento.

Parámetro	Unidades	Resultado	LP
Organismos coliformes totales	NMP/100ml	110	ND
Organismos coliformes fecales	NMP/100ml	23	ND
Color	PtCo/ UC	5	20
Turbiedad	UTN	0.5	4
Cianuros	mg/L	<0.01	0.07
Cloruros	mg/L	1	250
Dureza total	mg/L	1	500
Fluoruros	mg/L	<0.1	1.5
Nitratos	mg/L	0.01	11
Nitritos	mg/L	0.05	0.9
Nitrógeno amoniacal	mg/L	<0.04	0.5
pH	pH	5.95	6.5-8.5
SDT	mg/L	41.8	1000
Sulfatos	mg/L	13.16	400
SAAM	mg/L	0.26	0.5
Hierro	mg/L	<0.1	0.30
Manganeso	mg/L	<0.01	0.15

ND: No Detectable

De este modo después del tratamiento de desinfección por cloración, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 6, los cuales indican que el agua es potable

después de la cloración, ya que no se muestra la presencia de organismos coliformes totales ni fecales con base a los límites permisibles (LP) que establece la NOM-127-SSA1-1994.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos y químicos que se muestran en la Tabla 7, se puede observar que todos los parámetros determinados cumplen con los límites permisibles que establece la NOM-127-SSA1-1994, ya que en algunos casos incluso no es detectable la concentración de ciertos parámetros.

Conclusiones

Es necesario que el agua de lluvia captada sea caracterizada para conocer su calidad, ya que de esta forma se pudo determinar que el agua de lluvia captada en esta localidad puede emplearse para consumo humano, debido a que los parámetros fisicoquímicos están por debajo de los límites permisibles que indica la NOM-127-SSA1-1994 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", mostrando que dicha agua sólo requiere de su desinfección mediante cloración, debido a la presencia de organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales; y de su filtración, ya que los filtros tipo criba y las gravas empleadas en el sistema de captación de agua de lluvia, resultan de gran importancia, ya que ayudaron a que el agua almacenada en la cisterna alcanzara una mayor calidad.

Es importante que el sistema de captación se realice sin materiales que agreguen contaminación al agua, como lo serían techos y cisternas elaboradas con materiales tóxicos.

Por otra parte, la desviación de las primeras aguas de lluvia, resultan de importancia ya que no se agregan más elementos que pudieran adicionar contaminación a la cisterna de almacenamiento.

Referencias

- Adler, Ilán., Carmona, Gabriela. y Bojalil, José Antonio (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. Instituto internacional de recursos renovables. México.
- Arboleda Montañoz, N. (2006). Evaluación de alternativas tecnológicas para el tratamiento básico del agua lluvia de uso doméstico en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura. *Scientia et Technica*, 21(3), 278-285. <https://doi.uam.elogim.com/10.22517/23447214.11291>

Ballén, J., Galarza, M. y Ortiz, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA-Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil)*, 5.

Hernández, D.M. y Chaparro, T.R. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neograndina*, 30(2), 97-107. <https://doi.uam.elogum.com/10.18359/rcin.4409>

León Agatón, A., Córdoba Ruiz, J. C. y Carreño Sayago, U. F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos/ Review of the status of the art collection and utilization of the rain water in urban and airports. *Tecnura*, 20(50), 141-153. <https://doi.uam.elogim.com/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10>

Ospina Zúñiga, Ó. E. y Ramírez Arcila, H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 125-138. <https://doi.uam.elogim.com/10.16925/in.v9i17.812>

SEDEMA. (2020). Manual para instalar un sistema de captación pluvial en tu vivienda. Secretaría del Medio ambiente de la Ciudad de México. www.sedema.cdmx.gob.mx.

SMN (2017). Información estadística climatológica. Sistema Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Torres Hugues, R. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y ambiental*, 40(2), 125-139.

Un hábitat. (2005). Rainwater Harvesting and utilisation. *Blue Drop Series*. Blue Drop Series on Rainwater Harvesting and Utilisation – Book 3: Project Managers and Implementation Agency | UN-Habitat (unhabitat.org).