

# Ensayo de Investigación

## Agua de lluvia como fuente alternativa para uso humano en la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca

Recibido: 01-04-2021 Aceptado: 16-08-2021 (Artículo Arbitrado)

### Resumen

En la ciudad de Huajuapán de León el crecimiento demográfico acelerado y la contaminación de la presa Lázaro Cárdenas, provocan problemas de suministro de agua potable. La captación de agua de lluvia es una alternativa que puede contribuir a la solución de tales problemas, sin embargo, los propietarios de una casa que pretenden diseñar un sistema de captación de agua de lluvia, cuentan con poca orientación para seleccionar la capacidad adecuada del tanque de almacenamiento. En este trabajo se determinó el volumen activo óptimo de tanques para almacenar agua de lluvia con fines de uso humano. A partir de la ecuación de balance de agua, se realizaron simulaciones para distintos números de usuarios, superficies de captación y fracciones de demanda. Con los resultados obtenidos se construyeron gráficas y mapas que serán útiles para seleccionar el tamaño adecuado de los tanques en cualquier localidad dentro del municipio. Se determinó que, en una vivienda ubicada en el centro de la ciudad con una superficie de captación de 100 m<sup>2</sup> y 4 habitantes, se necesita un tanque con volumen activo de 22.5 m<sup>3</sup>, para proporcionar 25 litros de agua por persona al día.

### Abstract

In the city of Huajuapán de León, accelerated demographic growth and contamination of the Lázaro Cárdenas dam have resulted in potable water supply problems. Rainwater harvesting is an alternative method that can contribute to solving these problems. Homeowners, however, who intend to install rainwater harvesting systems have little knowledge about selecting the appropriate storage tank capacity. This work determined the optimal active tank volume for storing rainwater for human use. Simulations were carried out using the water balance equation for different numbers of users, catchment areas, and demand fractions. With the results obtained, graphs and maps were created that will be useful for selecting the appropriate tank size for any location within the municipality. It was determined that for a house located in the city center with a catchment area of 100 m<sup>2</sup> and 4 inhabitants, a tank with an active volume of 22.5 m<sup>3</sup> is needed to provide 25 liters of water per person per day.

### Résumé

Dans la ville de Huajuapán de León, la croissance démographique accélérée et la contamination du barrage de Lázaro Cárdenas, causent des problèmes d'approvisionnement en eau potable. La récupération des eaux de pluie est une alternative qui peut contribuer à résoudre de tels problèmes, cependant, les propriétaires qui ont l'intention de concevoir un système de récupération des eaux de pluie ont peu de conseils pour choisir la capacité de stockage appropriée. Dans ce travail, le volume actif optimal des réservoirs pour stocker l'eau de pluie à usage humain a été déterminé. A partir de l'équation du bilan hydrique, des simulations ont été réalisées pour différents nombres d'utilisateurs, de bassins versants et de fractions de demande. Avec les résultats obtenus, des graphiques et des cartes ont été construits qui seront utiles pour sélectionner la taille appropriée des réservoirs dans n'importe quel endroit de la municipalité. Il a été déterminé que, dans une maison située au centre de la ville avec un bassin versant de 100 m<sup>2</sup> et 4 habitants, un réservoir d'un volume actif de 22,5 m<sup>3</sup> est nécessaire pour fournir 25 litres d'eau par personne et par jour.

Gabriela Álvarez Olguín\*  
Corina Cisneros Cisneros  
Brenda Iris G. Licona Morán

**Palabras clave:** Sistemas de captación de agua de lluvia, volumen óptimo, ecuación de balance de agua.

**Keywords:** Rainwater catchment systems, optimal volume, water balance equation.

**Mots-clés:** Systèmes de récupération d'eau de pluie, volume optimal, équation de bilan hydrique.

### Introducción

A nivel global, el problema de la presión sobre los recursos hídricos se puede abordar con la utilización de fuentes de agua alternativas tales como: captación de agua de lluvia, reutilización de aguas grises y residuales, así como desalinización de agua (Imteaz et al., 2011). El agua de lluvia sin tratar puede ser utilizada para la descarga de inodoros y riego de jardines; mientras que después de un tratamiento apropiado también se puede utilizar como agua potable (Londra et al., 2015). La captación de agua de

Instituto de Hidrología  
Universidad Tecnológica de la Mixteca

Correspondencia:  
\*galvarez@mixteco.utm.mx

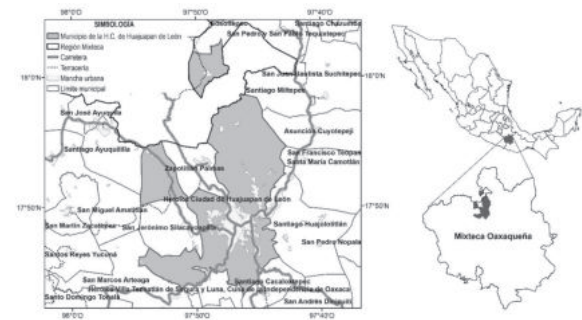
lluvia es una tecnología utilizada para almacenar aguas pluviales captadas en techos u otras superficies impermeables (Abdulla, 2019; Sample y Lui, 2014). Los componentes de los sistemas de captación de aguas pluviales en techos, generalmente consisten en: un área de recolección, un sistema de conducción, un filtro para remover una fracción inicial del escurrimiento y una cisterna o tanque de almacenamiento (Abdulla, 2019; Sample y Lui, 2014; Vieritz, Neumann y Cook, 2015). En la mayoría de los casos, la decisión de diseño más importante del sistema, es la evaluación de la capacidad de almacenamiento del tanque (Campisano y Modica, 2012; Abdulla, 2019) y el enfoque más común para determinar el tamaño óptimo del mismo, es usar la ecuación de balance de agua (Campisano y Modica 2012; Fewkes y Butler, 2000; Ghisi y Ferreira, 2007; Londra et al., 2015; Villarreal y Dixon, 2005). En esta ecuación, se utilizan observaciones históricas de lluvia para estimar las afluencias con una demanda asumida como flujo de salida, con lo cual se calcula el volumen de agua dentro del tanque en función del tiempo (Basinger, Montalt y Lall, 2010).

La ciudad de Huajuapán de León se localiza en la Cuenca Alta del Río Mixteco (CARM) del estado de Oaxaca, donde el grado de presión sobre los recursos hídricos es fuerte (Conagua, 2010). En esta ciudad, el suministro de agua potable a la población, año con año es cada vez más difícil, debido al crecimiento demográfico acelerado, así como al constante incremento de la contaminación y azolvamiento de la presa Lázaro Cárdenas, de la cual se abastece aproximadamente 60% de la población. Ante este panorama, la captación de agua de lluvia puede contribuir a la solución de los problemas de abastecimiento de agua en la ciudad. Sin embargo, los propietarios de una casa o técnicos que pretenden diseñar un sistema de captación de agua de lluvia, cuentan con poca orientación para seleccionar la capacidad adecuada del tanque, debido a que hay diversas variables que influyen directamente en tal decisión, tales como, el comportamiento de la lluvia local, el área de la superficie de captación y la demanda. El objetivo de este estudio fue determinar el volumen activo óptimo de tanques para almacenar agua de lluvia con fines de uso humano, en el municipio de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, a partir del método de balance de agua diario; en el cual se consideró la variación de la lluvia, la demanda de agua y el tamaño de diversas superficies de captación.

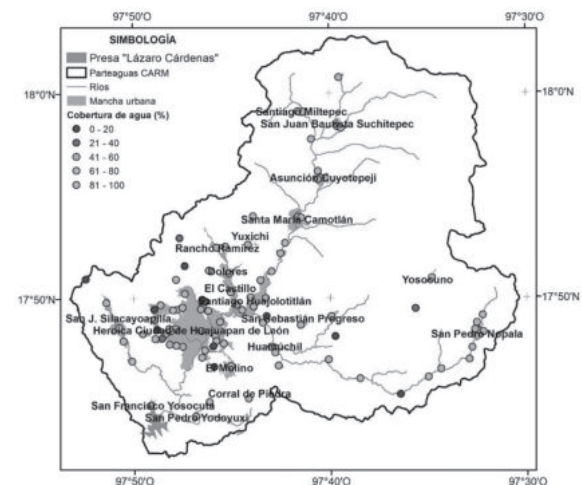
## Materiales y métodos

### Área de estudio

El municipio de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, localizado al sur de la Mixteca Oaxaqueña en México (ver la Figura 1), se caracteriza por tener una de las tasas de crecimiento poblacionales (2.3%) más altas del estado (INEGI, 2015). El crecimiento demográfico acelerado, es una de las causas que más afectan el suministro adecuado de agua en el municipio, razón por la cual, en esta zona se tiene el mayor número de localidades (13) de la CARM, con cobertura de agua potable menor a 60%, las cuales se ubican principalmente en la zona urbanizada de la ciudad. En la Figura 2 se muestra la cobertura de agua, que se estimó como el porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda (INEGI, 2020).



**Figura 1.** Localización del área de estudio.  
**Fuente:** Adaptado de INEGI (2019)



**Figura 2.** Cobertura de agua potable en localidades de la Cuenca Alta del Río Mixteco (CARM).  
**Fuente:** Adaptado de INEGI (2019) e INEGI (2020)

**Tabla 1.** Características de las estaciones climatológicas seleccionadas

Estación	Nombre	Lluvia media en mm. (1980-2000)	Periodo de registros	No. años con registros entre 1950 y 2016	No. años con registros entre 1980 y 2000
20003	Astatla	602.0	1955-2016	51	10
20108	San Francisco Yosocuta	705.1	1970-2002	33	21
20133	Santiago Chilixtlahuaca	753.4	1970-2004	33	20
20137	Santiago Teotongo	522.9	1969-2002	33	20
20190	Zapotitlán Palmas (SMN)	735.5	1950-2004	52	19
20207	Magdalena Tetatepec	693.7	1971-2002	31	20
20275	Huajuapán de León (DGE)	717.2	1976-2002	26	20

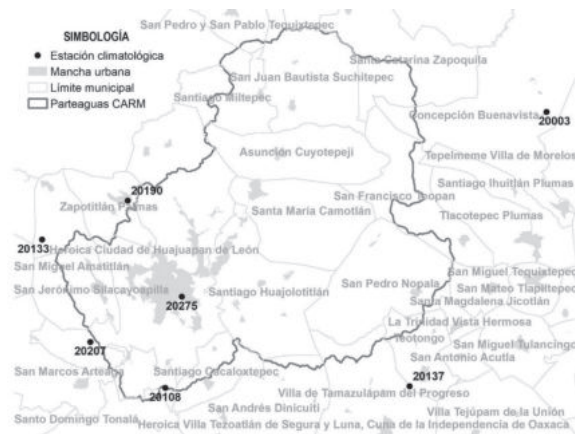
Fuente: Elaboración propia.

### Datos de lluvia

Se seleccionaron siete estaciones climatológicas (ver la Tabla 1) convencionales a cargo del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Los datos diarios de lluvia registrados en estas estaciones, fueron extraídos de la base de datos CLICOM (Climate Computing Project). Las estaciones con clave 20207 y 20275 se localizan dentro del municipio Huajuapán y las restantes en municipios aledaños (ver la Figura 3). El periodo de registros seleccionados fue de 1980 a 2000, por tener mayor cantidad de información. Para deducir la información faltante, se aplicó el método de interpolación de la distancia inversa ponderada (Shepard, 1968), en el que se consideraron dos estaciones de apoyo y un exponente de distancia igual a dos.

### Componentes del sistema

Como se muestra en la Figura 4, los componentes básicos de los sistemas de captación de aguas pluviales en techos, son: un área de recolección, un sistema de conducción, un dispositivo para remover una fracción inicial del escurrimiento, y una cisterna



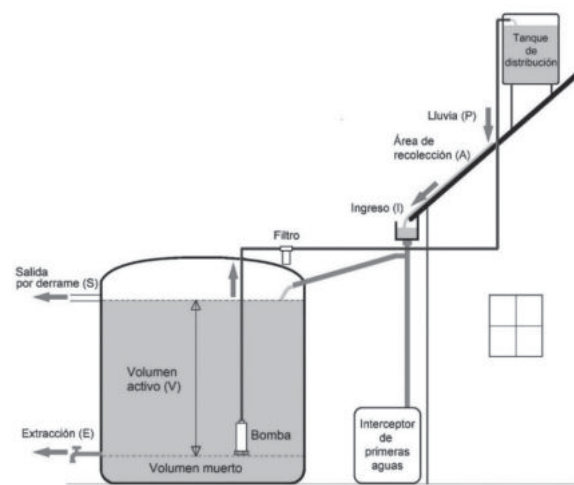
**Figura 3.** Localización de las estaciones climatológicas seleccionadas

Fuente: Elaboración propia

o tanque de almacenamiento (Abdulla, 2019; Sample y Lui, 2014; Vieritz et al., 2015). Al tanque de almacenamiento corresponde un volumen activo ( $V$ ), que excluye el volumen de almacenamiento muerto debajo de la tubería de suministro y el volumen sobre la tubería de desbordamiento. En este sistema cerrado, la salida de agua es a través de la extracción al hogar ( $E$ ) y el derrame del tanque ( $S$ ) (Vieritz et al., 2015).

### Dimensionamiento del tanque

Por lo general, la decisión de diseño más importante de un sistema de captación de agua de lluvia, es dimensionar correctamente el tanque de agua para contar con una adecuada capacidad de almacenamiento (Abdulla, 2019; Campisano y Modica, 2012). El volumen de diseño del tanque se determina con base en diversos factores interrelacionados, tales como: lluvia local, área de la superficie de captación, coeficiente de escorrentía, dotación de agua y número de usuarios (Eroksuz y Rahman, 2010; Ghisi, 2010; Palla et al., 2012). El enfoque más común para determinar



**Figura 4.** Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia en techos.

Fuente: Elaboración propia

el volumen óptimo es a partir de la ecuación de balance de agua (Campisano y Modica, 2012; Fewkes y Butler, 2000; Londra et al., 2015), en éste, se utilizan observaciones históricas de lluvia para estimar las afluencias, con una demanda asumida como flujo de salida, con lo cual se calcula el volumen de agua dentro del tanque en función del tiempo (Basinger et al., 2010).

La simulación de la cantidad de agua almacenada en el tanque se realizó con la ecuación (1) de balance de agua.

$$V_t = V_{t-1} + I_t - S_t - E_t \quad (1)$$

donde  $V_t$  y  $V_{t-1}$  son los volúmenes de agua en el tanque al final del día actual y al final del día anterior, respectivamente ( $m^3$ );  $S_t$  es el volumen de agua que sale del tanque por derrame ( $m^3$ );  $E_t$  es el volumen de agua extraído para uso doméstico ( $m^3$ );  $I_t$  es el volumen de agua de lluvia que ingresa al tanque ( $m^3$ ), el cual se estimó a partir de la ecuación (2).

$$I_t = CAPE_t \quad (2)$$

donde  $I_t$  es el volumen de agua de lluvia captada del techo ( $m^3$ ) en el día  $t$ ;  $C$  es el coeficiente de escurrimiento;  $A$  es el área de la superficie de captación ( $m^2$ ) y  $Pe_t$  es la lámina de lluvia efectiva ocurrida en el día  $t$  (m).

La lluvia efectiva se estableció igual a la lluvia diaria menos la primera descarga; de acuerdo con Londra et al. (2015), se supuso que la primera descarga es igual a 0.33 mm. Además, debido a que el tanque suele ser un contenedor cerrado, se consideraron insignificantes las pérdidas por evaporación y fugas.

Para resolver la ecuación (1), se utilizó el algoritmo mostrado en las ecuaciones (3) a (5); se asumió que el derrame ocurre antes de la extracción (Vieritz et al., 2015)

$$E_t = \min[D_t, V_{t-1}] \quad (3)$$

$$V_t = \min[V_{tan} - E_t, V_{t-1} + I_t - E_t] \quad (4)$$

$$S_t = \max[(V_{t-1} + I_t) - V_{tan}, 0] \quad (5)$$

donde  $D_t$  es la demanda de agua ( $m^3$ ) en el día  $t$ , obtenida con la ecuación (6);  $V_{tan}$  es el volumen de almacenamiento activo ( $m^3$ ) que excluye al volumen muerto por debajo del nivel del agua del que se extrae agua (ver la Figura 3).

$$D_t = h \cdot d \cdot p \quad (6)$$

donde  $h$  es el número de habitantes o usuarios que se abastecerán del sistema;  $d$  es la dotación de agua considerada por persona al día, y  $p$  es la fracción de la demanda total que se pretende suministrar, la cual es de 0.5 cuando se suministra 50% de la demanda total.

De acuerdo con Tsihrintzis y Baltas (2013), se consideró que el volumen medio anual de agua de lluvia captada es igual a la demanda media anual, entonces el área mínima requerida de recolección de agua de lluvia,  $A_{min}$ , para satisfacer el porcentaje  $p$  de la demanda total de agua se calculó con la ecuación (7).

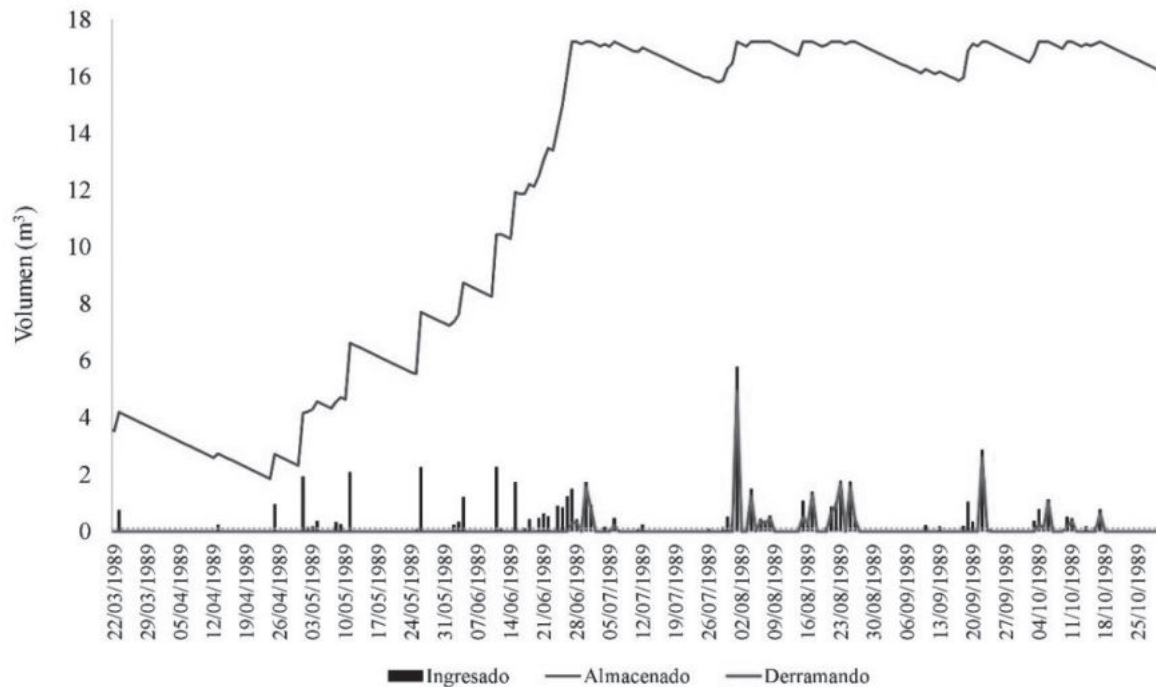
$$A_{min} = \frac{365 \cdot h \cdot d \cdot p}{C\bar{P}_e} \quad (6)$$

donde  $\bar{P}_e$  es la lluvia efectiva media anual en m. Para cada estación climatológica seleccionada, se estimó el  $A_{min}$  y se realizaron distintas simulaciones del funcionamiento del tanque a nivel diario, con distintos valores de volumen activo ( $V_{tan}$ ), bajo la suposición de que el tanque en el primer día de simulación se encuentra lleno. Además, se consideraron diferentes áreas de captación, números de usuarios y fracciones de demanda. Las áreas de captación oscilaron entre 30 y 200  $m^2$ , con incrementos de 5 unidades; mientras que los números de usuarios fueron 3, 4, 5 y 6. Las fracciones de demanda fueron de 0.3, 0.4 y 0.5. Se eligió una dotación única de 50 litros por persona al día, recomendada por la Organización Mundial de la Salud (Howard et al., 2020) a nivel domiciliario para satisfacer las necesidades de higiene básica y de consumo, y posiblemente, de lavandería y baño. El coeficiente de escurrimiento ( $C$ ) utilizado fue de 0.8, es decir, se consideró que solo ingresa al tanque 80% del volumen de agua de lluvia que cae sobre la superficie de captación. El volumen activo óptimo del tanque ( $V_{opt}$ ), se eligió como el volumen activo mínimo, con el cual no se tuvieron días con tanque vacío, durante el periodo de simulación.

## Resultados y discusión

### Tamaño óptimo de los tanques

La aplicación de la ecuación de balance permitió determinar el volumen activo óptimo de los tanques, para diferentes áreas de captación, número de usuarios y fracciones de demanda. Con diversas simula-



**Figura 5.** Simulación de balance de agua para la estación 20275, Huajuapán de León, Oax., con datos de lluvia de 1989, bajo las siguientes condiciones:  $V_{opt}=17.3 \text{ m}^3$ ,  $A=120 \text{ m}^2$ ,  $h=4$ ,  $d=50$  litros per cápita al día y  $p=0.5$ .  
**Fuente:** Elaboración propia

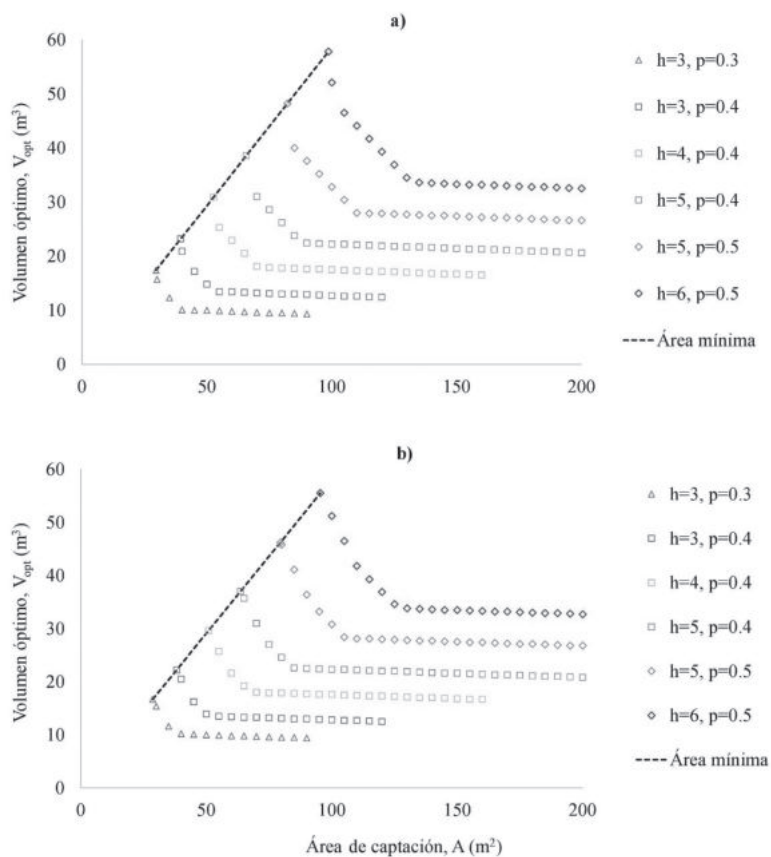
ciones realizadas para la estación 20275 (Huajuapán de León, Oax.), se obtuvo que el volumen óptimo del tanque es de  $17.3 \text{ m}^3$ , al considerar: 4 usuarios, una fracción de demanda de 0.5 y un área de captación de escurrimientos de  $120 \text{ m}^2$ . Se consideró que esta es la capacidad óptima debido a que es el volumen activo mínimo con el cual no se tuvieron días con tanque vacío durante el periodo de 1980 a 2000, con una extracción constante de agua de 80 litros diarios. Los resultados mostrados en la Figura 5 corresponden al año de 1989, en el que se tuvo un periodo crítico en el mes de abril, con los volúmenes almacenados más bajos antes de iniciar la época de lluvias; no obstante, el tanque no se quedó vacío. A finales de junio el tanque comenzó a llenarse y se tuvieron derrames que fueron persistentes hasta mediados de octubre.

En la Figura 6, se muestra la relación entre las áreas de captación ( $A$ ) y los volúmenes óptimos ( $V_{opt}$ ) de las estaciones localizadas dentro del municipio de Huajuapán. Se observa que las dos gráficas son muy similares, además, la forma de las curvas es convexa, tal como se ha encontrado en las investigaciones de Sample y Lui (2014) y Londra et al. (2015); éstas indican que a mayor superficie de captación se requiere menor capacidad de almacenamiento del tanque. Lo

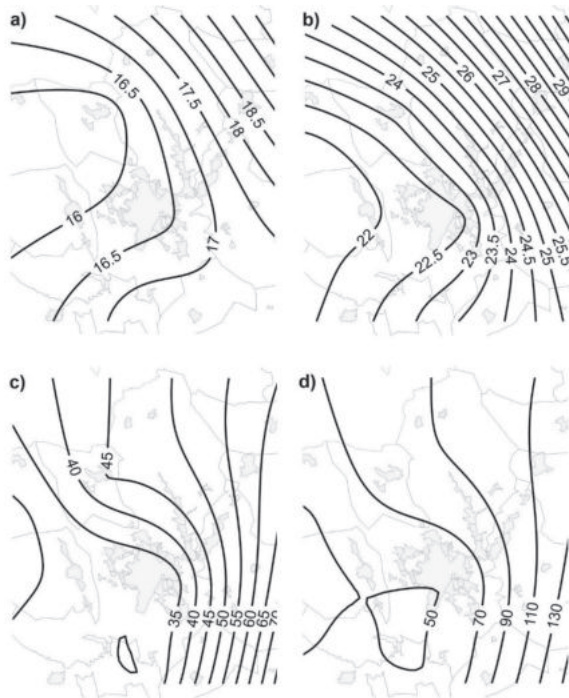
anterior se ratifica al comparar las Figuras 7 y 8, en las cuales se observa que, en viviendas ubicadas en el centro de la ciudad, con 3 habitantes y superficies de captación de  $100$  (ver la Figura 7a) y  $150 \text{ m}^2$  (ver la Figura 8a), el volumen óptimo de los tanques es de  $16.5 \text{ m}^3$  y  $15.5 \text{ m}^3$ , respectivamente. Esto implica que, para el mismo número de usuarios y dotaciones de agua, el volumen del tanque será mayor en la vivienda con menor superficie de captación.

Por otro lado, para un determinado número de usuarios y fracción de demanda, existe un valor mínimo a partir de cual se tiene un volumen óptimo casi constante (pendiente cercana a cero). Por ejemplo, si se necesita cubrir 40% de la demanda de agua de 3 usuarios y se dispone de un área de captación de  $55 \text{ m}^2$ , se obtiene que el volumen del tanque requerido es de  $13.4 \text{ m}^3$  y  $13.5 \text{ m}^3$ , para las estaciones 20207 y 20275 respectivamente; a partir de esta superficie el volumen varía poco y se mantiene cercano a  $13 \text{ m}^3$ , como se puede observar en la Figura 5, por lo cual, se considera que este es el volumen mínimo (área máxima) recomendado. Entonces, si la superficie disponible es mayor a  $55 \text{ m}^2$  el volumen mínimo recomendado es de  $13 \text{ m}^3$ .

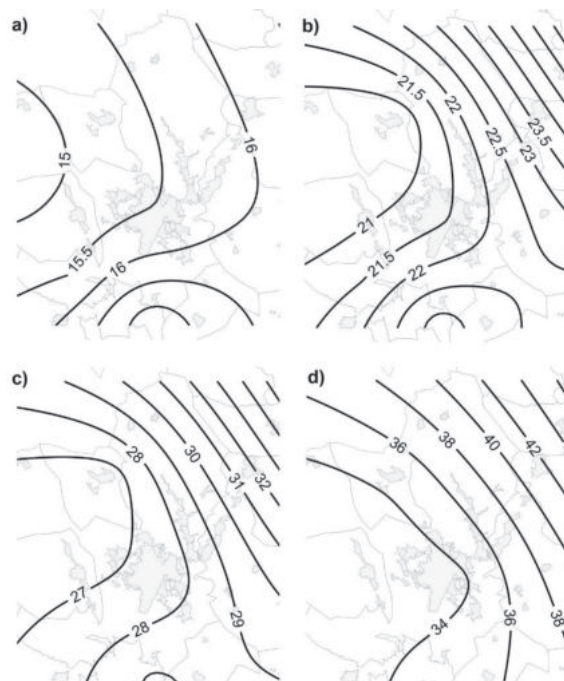




**Figura 6.** Volúmenes óptimos de tanques obtenidos con datos de las estaciones de: a) Magdalena Tetatepec (20207) y b) Huajuapán de León (20275). **Fuente:** Elaboración propia



**Figura 7.** Volumen activo óptimo de tanques de sistemas de captación de agua de lluvia con superficie de captación de 100 m<sup>2</sup>, para cubrir 50% de la demanda (25 litros/persona/día) de: a) 3, b) 4, c) 5 y d) 6 usuarios. **Fuente:** Elaboración propia



**Figura 8.** Volumen activo óptimo de tanques de sistemas de captación de agua de lluvia con superficie de captación de 150 m<sup>2</sup>, para cubrir 50% de la demanda (25 litros/persona/día) de: a) 3, b) 4, c) 5 y d) 6 usuarios. **Fuente:** Elaboración propia

En la Figura 7, se muestra la variación espacial del volumen activo óptimo necesario para cubrir 50% de la demanda (25 litros/persona/día) de diferentes números de usuarios, con una superficie de captación de 100 m<sup>2</sup>. Se observa que el volumen es mayor al noreste del municipio de Huajuapán, donde llueve menos de acuerdo con Blanco et al., (2001), mientras que, hacia el suroeste donde llueve más, se requieren tanques de menor capacidad. Por ejemplo, para un sistema de captación de agua de lluvia de una vivienda localizada en el centro de la ciudad con 4 habitantes, el volumen del tanque deberá ser de 22.5 m<sup>3</sup>, mientras que, para una vivienda localizada al norte del municipio, con el mismo número de habitantes, el volumen del tanque será de 27.5 m<sup>3</sup>. Por otro lado, cuando el número de usuarios es 6, los volúmenes son considerablemente grandes; para una vivienda ubicada al norte del municipio, con 6 habitantes, se requerirán tanques de hasta 90 m<sup>3</sup>, para proporcionar 50% de la demanda, asumiendo que se tiene una superficie de captación de 100 m<sup>2</sup>; sin embargo, en Huajuapán de León, el volumen de los tanques será de 50 m<sup>3</sup>. Lo anterior significa que, con la instalación de un sistema de agua de lluvia no siempre será factible cubrir 100% de la demanda de agua en una vivienda, debido a que la construcción de tanques de gran tamaño está limitada por el espacio y los altos costos de construcción. Además, las inversiones requeridas por los usuarios de los sistemas serán diferentes y serán menores en las localidades del centro y sur del municipio.

Dentro de la zona urbanizada de la ciudad, actualmente se tienen 13 localidades con cobertura de agua potable menor a 60%. En estas localidades, los habitantes de las viviendas que no están conectadas a la red pública de agua, compran agua de pipas para cubrir sus necesidades básicas de uso doméstico, lo que a largo plazo se traduce en altos costos solventados por los jefes de familia, por tal razón, la utilización de esta fuente alternativa en lugares sin cobertura de agua, representa una reducción en los gastos familiares debidos a la compra de agua.

Cabe resaltar que, la utilización de agua de lluvia no se limita a lugares sin cobertura de agua, por el contrario, los sistemas de captación de agua de lluvia se pueden adoptar en cualquier lugar donde existan las condiciones adecuadas para su instalación. De esta manera en los hogares se podrá utilizar al agua

de lluvia como una fuente sostenible que no provoca la sobreexplotación de pozos o ríos y que está a favor del manejo integral de la CARM.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos han permitido establecer que, el volumen activo óptimo de los tanques para almacenar agua de lluvia es mayor en localidades ubicadas al noreste del municipio de la Heroica Ciudad de Huajuapán de León, mientras que, hacia el centro y sur, se requieren tanques de menor capacidad. Se estima que, con una dotación de agua de 25 litros por persona al día, en una vivienda ubicada en el centro de la ciudad, con una superficie de captación de 100 m<sup>2</sup> y 4 habitantes, el volumen necesario del tanque para almacenar agua de lluvia es de 22.5 m<sup>3</sup>, mientras que, para una vivienda con 6 habitantes en la misma zona, el volumen adecuado es de 50 m<sup>3</sup>. Se visualiza que, para viviendas de más de 6 habitantes, el tamaño de los tanques es considerablemente grande, por lo cual, en estos casos, no será factible cubrir 100% de la demanda con agua de lluvia.

Por otro lado, se determina que la variabilidad temporal y espacial de la lluvia, así como la superficie de captación, número de usuarios y demanda de agua, condicionan el dimensionamiento de los tanques, por lo tanto, está claro que el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia, debe ser distinto para cada localidad y vivienda, y no es posible estandarizarlo. Sin embargo, con un diseño adecuado, la utilización de agua de lluvia a nivel domiciliario es viable, puede contribuir a resolver los problemas de suministro de agua y conduce a beneficios económicos, sociales y ambientales.

## Bibliografía

- Abdulla, F. (2019). Rainwater harvesting in Jordan: potential water saving, optimal tank sizing and economic analysis. *Urban Water Journal*, 17(5): 1-11.
- Basinger, M., Montalto, F., Lall, U. (2010). A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392(3-4): 105-118.
- Blanco, A. A., Martínez, R. S., Sánchez, P. O., Rubio, S. A., Cisneros, C. C., Pedro, S. E. C., Sustaita, R. F. (2001). *Aplicación de un modelo de balances hídricos en la cuenca alta del Río Mixteco (Oaxaca)*. México: Universidad Tecnológica de la Mixteca. Oaxaca.
- Campisano, A., Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63: 9-16.

- Conagua (2010). *Estadísticas del agua en la cuenca del Río Balsas*. México, DF: Comisión Nacional del Agua, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2010-16Junio2010.pdf>.
- Eroksuz, E., Rahman, A. (2010). Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1449-1452.
- Fewkes, A., Butler, D. (2000). Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research and Technology*, 21(2): 99-106.
- Ghisi, E. (2010). Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. *Water Resources Management*, 24(10): 2381-2403.
- Ghisi, E., Ferreira, D. F. (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(7): 2512-2522.
- Howard, G., Bartam, J., Williams, A., Overbo, A., Fuente, D. Geere, J.A. (2020). *Domestic water quantity, service level and health*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/338044/9789240015241-eng.pdf>.
- Imteaz, M. A., Ahsan, A., Naser, J., Rahman, A. (2011). Reliability analysis of rainwater tanks in Melbourne using daily water balance model. *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1): 80-86.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2019). Marco Geoestadístico. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#Descargas>.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2015). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>.
- Londra, P. A., Theocharis, A. T., Baltas, E., Tsihrintzis, V. A. (2015). Optimal sizing of rainwater harvesting tanks for domestic use in Greece. *Water resources management*, 29 (12): 4357-4377.
- Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L. G., La Barbera, P. (2012). Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. *Resources, Conservation and Recycling*, 62: 71-80.
- Sample, D. J., Liu, J. (2014). Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. *Journal of Cleaner Production*, 75: 174-194.
- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference*, New York, USA, (pp 517-524).
- Tsihrintzis, V., Baltas, E. (2013). Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply. In *13th International Conference on Environmental Science and Technology*, Athens, Greece (pp. 5-7).
- Vieritz, A., Neumann, L., Cook, S. (2015). Rainwater tank modelling. In A. Sharma, D. Begbie, T. Gardner, *Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply: Design, Yield, Energy, Health Risks, Economics and Social Perceptions* (pp. 19-46). London, UK: IWA Publishing.
- Villarreal, E. L., Dixon, A. (2005). Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40(9): 1174-1184.