

Cosecha de lluvia para reducir la escasez hídrica en una zona rural de Puebla Rainwater harvest to reduce water scarcity in a rural area of Puebla

D.M. Santiago-Zongua^a, Liliana Lizárraga-Mendiola^{b,*}

^aLicenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

^bÁrea Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

La marginación en poblaciones rurales dificulta el abastecimiento de agua debido a infraestructura deficiente. Entre las soluciones para obtener agua está el Sistema de Captación de Agua de Lluvias (SCALL) a través de azoteas de viviendas. El objetivo del presente trabajo es reducir el desabasto de agua en la comunidad de San Antonio Alpanocan, Puebla, por medio del diseño de un SCALL. Para realizar el diseño del sistema se seleccionaron los materiales y componentes necesarios para su instalación; para el dimensionamiento de tanques separadores y el almacén del agua de lluvia recolectada, se utilizó el volumen promedio mensual de precipitación; como superficie de captación se empleó un prototipo de vivienda característico de zonas rurales ubicadas en áreas sísmicas de México. Los resultados mostraron que con este diseño es posible recolectar agua de lluvia durante 4 meses del año (junio a septiembre) para utilizarlo con fines domésticos potables y no potables. Con lo anterior se concluye que el agua de lluvia almacenada tendrá las características suficientes para que los habitantes del área de estudio la utilicen en sus actividades domésticas diarias y disminuya el problema de escasez que actualmente enfrentan.

Palabras Clave: Captación de lluvia, precipitación pluvial, demanda de agua, escasez de agua.

Abstract

The marginalization of rural populations makes it difficult to supply water due to poor infrastructure. Among the solutions to obtain water is the Rainwater Harvesting System (SCALL) through the roofs of houses. This work aims to reduce water shortages in the community of San Antonio Alpanocan, Puebla, through the design of a SCALL. The materials and components necessary for its installation were selected; the average monthly precipitation volume was employed to dimension the separator tank and collect rainwater storage. Also, as a catchment area, a housing prototype characteristic of rural zones located in seismic areas of Mexico was used. The results showed that this design could collect rainwater during four months of the year (June to September) to use for potable and non-potable domestic purposes. With the above, it can be concluded that the stored rainwater will have sufficient characteristics for the inhabitants of the study area to use it in their daily domestic activities and reduce the problem of scarcity that they currently face.

Keywords: Rainwater collection, rainfall, water demand, water scarcity.

1. Introducción

La falta de acceso a agua de calidad para el consumo humano en los asentamientos rurales provoca que las familias, principalmente las mujeres, inviertan mucho tiempo, recursos y esfuerzo físico en conseguirla (TECHO, 2020). De acuerdo con la UNICEF (2016), un estudio realizado en 24 países subsaharianos reveló que, cuando el tiempo de recolección era mayor de 30 min, unos 3.36 millones de niños y niñas y 13.54 millones de mujeres adultas estuvieron a cargo de la recolección de agua; sin embargo, el tiempo puede variar de

acuerdo con cada país y condición. Desde el año 2003, se hacía énfasis en reconocer al agua y su saneamiento como un derecho humano que debe ser atendido por los gobiernos (Jiménez et al., 2014). No obstante, el escaso financiamiento en las comunidades rurales limita que la población cuente con fuentes adecuadas de abastecimiento de agua potable. Por tal motivo, es importante mejorar el acceso a este líquido vital para el consumo de las comunidades, de tal forma que las familias puedan tener más tiempo disponible y que el método para obtener agua sea más sencillo, al mismo tiempo que vean cubiertas sus necesidades básicas (TECHO, 2020). Existen

*Autor para la correspondencia: mendiola@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: sa381449@uaeh.edu.mx (Dulce Merari Santiago-Zongua), mendiola@uaeh.edu.mx (Liliana Lizárraga-Mendiola)

estudios que han analizado la posibilidad de utilizar el agua de lluvia como una fuente alternativa para mitigar el problema de desabasto en este tipo de poblaciones rurales. Por ejemplo, Alim et al. (2020) determinaron que es factible técnica y económicamente recolectar el agua de lluvia y potabilizarla para fines domésticos en zonas rurales. Otro estudio demostró que es posible disminuir la dependencia de los sistemas públicos de agua por medio de sistemas de captación pluvial en zonas con escasas precipitaciones (Assayed et al., 2013). En Vietnam, se determinó que el agua de lluvia recolectada en zonas rurales cumplió con la mayoría de los estándares de calidad de agua, y que requería solo un sistema básico de tratamiento (Lee et al., 2017). Durante la actual pandemia por la COVID-19 fue más que evidente la necesidad de contar con agua de buena calidad para mantener condiciones higiénicas; tal fue el caso de poblaciones en Etiopía, país que se caracteriza por problemas de escasez hídrica, donde se demostró que la recolección de agua de lluvia en azoteas de viviendas fue una fuente alternativa de agua ante esta emergencia sanitaria (Kanno et al., 2021).

La importancia de la captación, almacenaje y uso del agua de lluvia para uso doméstico es de gran relevancia para la población, pero en primera instancia para las personas que no tienen acceso a este vital recurso, ya que este líquido es indispensable para satisfacer las necesidades básicas de todo ser vivo (Anaya-Garduño et al., 2018). En la actualidad hay diferentes opciones para la captación del agua de lluvia, como pozos profundos o la captación de agua de lluvia por medio de superficies permeables (Ruiz-Torres, et al., 2006).

En este estudio se propone una alternativa sencilla y eficiente como los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL). El método que se utiliza en este proyecto consiste en emplear como superficies de captación los techos de viviendas en una población rural. La captación de agua de lluvia requiere estudiar la superficie de captación y las precipitaciones para conocer la cantidad de agua que se espera recolectar adecuadamente (Melchor et al., 2011).

A partir de la información previa, se propone una solución al problema de desabasto de agua potable de la comunidad de Alpanocan, Puebla, por medio del diseño de un SCALL. Su finalidad es recolectar la mayor cantidad posible de agua en azoteas, almacenarla y mejorar su calidad para satisfacer necesidades básicas de consumo de sus habitantes.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2016), los materiales en techos que pueden ser usados para captar el agua de lluvia son: concreto, lámina metálica acanalada, teja cerámica, superficie recubierta con Polietileno de Alta Densidad o PVC (por sus siglas en inglés), evitando captar agua de techos de palma, lámina de cartón con cubierta de chapopote o láminas de asbesto-cemento. Además, el techo debe tener una pendiente mínima del 2 % que permita que el agua escurra por gravedad hacia la bajada pluvial. En su instalación se incluirán canaletas de PVC o lámina metálica de cualquier sección transversal que dirijan el agua hasta la tubería de conducción, la cual podría ser de PVC, Polipropileno o Polietileno. Las herramientas que pueden usarse para evitar el ingreso de contaminantes al tanque o depósito puede ser un filtro de arenas o material graduado en la entrada al tanque de almacenamiento, así como emplear un dispositivo o tanque separador de primeras aguas o cualquier filtro de barrera, que podrían ser de polietileno o materiales comunes (CONAGUA, 2016). El depósito puede ser de

materiales prefabricados incluyendo plásticos rígidos o flexibles, así como materiales constructivos convencionales, lo que asegura impermeabilidad, hermeticidad y espacio suficiente para realizar actividades de limpieza o reparar la instalación.

2. Descripción del área de estudio

2.1. Localización

La población en estudio es San Antonio Alpanocan y se localiza en las faldas del volcán Popocatepetl, a una altitud de 2 065 m sobre el nivel del mar. Sus coordenadas son 18°52'38''N y 98°42'39''O, en una franja de territorio perteneciente al estado de Puebla; colinda al oeste, sur y este con el estado de Morelos. Al oeste se encuentra la población de Tetela del Volcán y al este la de San Andrés Hueyapan, ambos pertenecientes al municipio de Tetela del Volcán, Puebla (Figura 1).

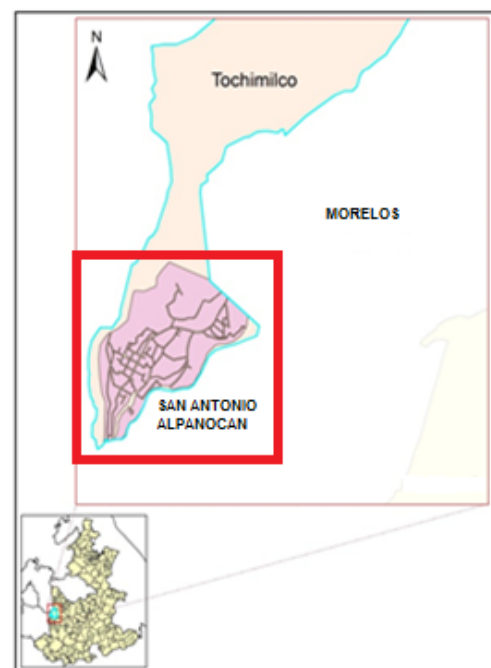


Figura 1. Ubicación de la comunidad de San Antonio Alpanocan (Rugerio-Galván, 2018)

2.2. Población

De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda realizado en 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la población total de San Antonio Alpanocan consta de 2 828 habitantes; 1 357 son hombres y 1 471 son mujeres (H. Ayuntamiento Tochimilco, 2020).

De acuerdo con los indicadores del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2020), la comunidad cuenta con un grado de rezago social medio (Tabla 1).

Tabla 1. Indicadores CONEVAL (Plan Municipal de Desarrollo, 2020)

Población sin derechohabencia a servicios de salud	1 358	Viviendas que no disponen de drenaje	324
Total de viviendas particulares habitadas, deshabitadas, de uso temporal y colectivas	694	Viviendas que no disponen de energía eléctrica	27
Viviendas con piso de tierra	205	Viviendas que no disponen de lavadora	503
Viviendas que no disponen de excusado o sanitario	37	Viviendas que no disponen de refrigerador	495
Viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública	10	Índice de rezago social	-0.202657

2.3. Antecedentes de la vivienda

San Antonio Alpanocan cobró gran relevancia para las organizaciones sociales durante el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017, pues fue una de las zonas más afectadas en el país. Una semana después del evento, la organización TECHO® llegó al lugar en donde se encontraron familias afectadas, viviendas derrumbadas, y sin servicios básicos como el agua y la luz. Estas familias fueron agregadas a la lista de emergencias y así se construyeron casas temporales cuyas características son tomadas en cuenta en este trabajo (TECHO, 2020).

2.4. Clima y precipitaciones

El clima en Alpanocan es templado subhúmedo con temperatura media anual (T) entre 12 °C y 18 °C y temperatura del mes más frío (enero) entre -3 °C y 18 °C. El mes con mayor temperatura es mayo con 22 °C (SEDESOL, 2011). Hay precipitaciones (P) en el mes más seco menores de 40 mm; las lluvias de verano tienen índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2 % del total anual (SEDESOL, 2011). El mes más húmedo es julio (237 mm), mientras que el más seco es diciembre (3 mm) (Figura 2).

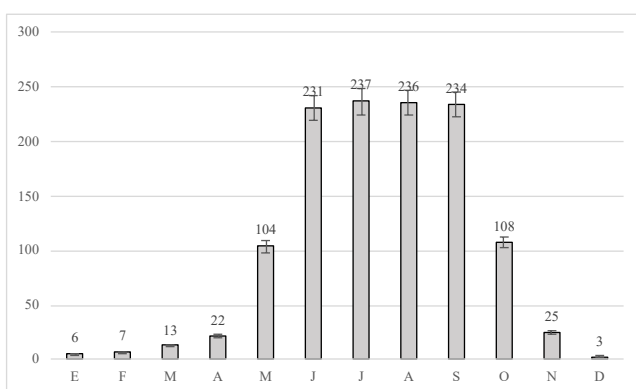


Figura 2. Precipitación (en mm, 5 % de error) en San Antonio Alpanocan (Weather Atlas, 2020)

2.5 El abastecimiento de agua

Los manantiales Xantamalco y el Rodeo son los que proveen de agua a la comunidad. El sistema de distribución del líquido fluye por 13 km mediante anchas mangueras que rodean los cerros y atraviesan barrancas, hasta llegar a cada hogar (Jalife-Acosta et al., 2018).

La comunidad de Alpanocan presenta escasez de agua potable cada año a partir de junio con la llegada de las lluvias, ya que las tormentas provocan deslaves que bloquean o rompen las mangueras. Hasta 2015, las personas de la localidad se organizaban para subir a los cerros y hacer las reparaciones; pero ocurrió un deslave que dejó un saldo de dos muertos, por lo que la población dejó de dar el mantenimiento (Villanueva, 2018). Esta situación genera que la localidad pase semanas sin agua, por lo cual es común ver patios repletos de ollas, tinas y cubetas que recolectan de manera informal el agua de lluvia y la usan directamente para su aseo físico, cocinar e incluso beber, sin tener tratamiento alguno (Villanueva, 2018).

Debido al grado de marginación y rezago social que presenta Alpanocan, las consecuencias se ven reflejadas en toda la población, pero principalmente en las mujeres, ya que son ellas las que invierten tiempo, recursos y esfuerzo físico en conseguirla, pues recorren largas distancias de más de 40 min para acarrear el agua en cubetas desde el río hasta sus hogares durante la época de estiaje (Jalife-Acosta et al., 2018).

3. Descripción del proyecto

3.1. Características de la vivienda TECHO®

El tipo de vivienda que se seleccionó para usar en el proyecto es una comprendida por un techo de teja de 3.05 m × 6.10 m (18.6 m²). Las azoteas tienen una pendiente mayor al 2 %. Como se mencionó anteriormente, estas viviendas fueron construidas por organizaciones no gubernamentales en México, en comunidades con características de marginación, por lo que su diseño es muy sencillo y homogéneo.

3.2. Descripción del SCALL

Los SCALL son sistemas que recolectan el agua de lluvia y tienen como función captar, conducir, filtrar y almacenar el agua de lluvia (Torres-Hughes y Fresquet-Blanco, 2018). La superficie de captación puede ser una cubierta de vivienda o algún terreno con impermeabilización. Cuando la captación se realiza mediante el techo de la vivienda, ésta se conduce por gravedad mediante canaletas, se vierten por tuberías cerradas y llegan hacia un depósito (Recio et al., 2019) (Figura 3).

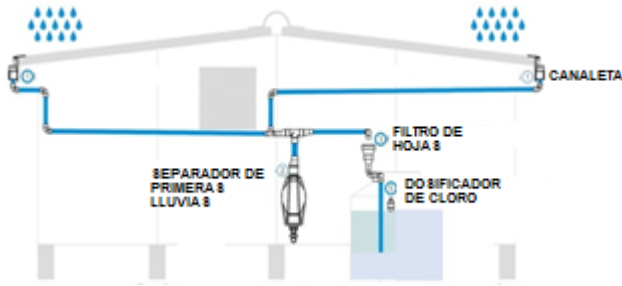


Figura 3. Sistema de captación de agua de lluvia (TECHO, 2020)

3.3. Componentes del sistema

Hoy en día existen diferentes metodologías y tipos de SCALL que se emplean dependiendo la zona en donde van a ser instalados. Los componentes varían por la misma razón, pero para el presente proyecto se requieren los siguientes componentes básicos, debido a que son elementos de fácil adquisición e instalación, y su costo no es elevado (Figura 3).

- *Canaletas y tuberías*

Estos componentes forman la parte de conducción del sistema en donde las canaletas van adosadas en los bordes más bajos del techo, donde comúnmente el agua se acumula para posteriormente bajar al suelo (OPS, 2004).

- *Filtro de hojas*

Cuenta con una malla de acero inoxidable que retiene hojas y material grueso que pueden contaminar el agua (Isla Urbana, s.f.).

- *Tanque separador de primeras lluvias*

En el borde del techo de la casa se colocan canaletas que dirigen el agua de lluvia hacia un tubo que la lleva hasta el tanque separador, el cual es un dispositivo que retiene el agua de las primeras lluvias y que comúnmente lava polvo y desechos del techo de la casa (Isla Urbana, s.f.).

- *Tanque de almacenamiento*

Después de separar las primeras lluvias, el agua limpia se conduce por medio de otra tubería hasta un tanque de almacenamiento. Éste puede ser desde un simple recipiente, un tinaco o cisterna, dependiendo del espacio disponible en la vivienda, así como de su costo de instalación. Hay algunos tanques de almacenamiento comerciales que incluyen protección UV para impedir la presencia de microorganismos, el cual es recomendado para el presente diseño.

- *Tratamiento del agua*

De acuerdo con el manual de instalación de SCALL elaborado por Isla Urbana (Isla Urbana, s.f.), el tratamiento de agua se realiza con un dosificador de cloro empleando pastillas de hipoclorito de calcio de 1 in y de 6 g cada una. Se agregará la cantidad adecuada con base en la capacidad del tanque de almacenamiento como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de tabletas de cloro (Isla Urbana, s.f.)

Capacidad de cisterna (L)	Número de pastillas de cloro
2 500	3
5 000	6
10 000	12
15 000	18

Las pastillas mantendrán el agua del tanque de almacenamiento (tinaco o cisterna) desinfectada. Se debe

revisar cada 15 días el agua, para verificar que esté clorada (Isla Urbana, s.f.).

4. Metodología

4.1. Área de captación

El área de captación es la superficie del techo de la vivienda que capta el agua de lluvia; la superficie debe garantizar una pendiente mínima del 2 % (Anaya-Garduño et al., 2020), y se obtiene con la ecuación (1).

$$A = l \times l \quad (1)$$

A = Área de captación (m^2)

l = Lado del techo de la vivienda (m)

4.2. Dimensionamiento de las canaletas

Lo primero que debe calcularse es el caudal que la canaleta será capaz de conducir, denominado caudal de la conducción (Q_c), ver ecuación (2). Antes de este paso, se debe conocer el área efectiva de captación (A_{ec}) equivalente a $18.6 m^2$ en el prototipo de casa seleccionada y la intensidad máxima de la lluvia (I) en el lugar a analizar (Anaya-Garduño et al., 2020). Para obtener la intensidad, se emplearon los mapas que publica la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 60 min; el valor para el área de estudio corresponde a $45 mm/h$ (SCT, 2015).

$$Q_c = \frac{5}{18} (A_{ec} \times I) \quad (2)$$

Q_c = Caudal de conducción ($L s^{-1}$)

A_{ec} = Área efectiva de captación (m^2)

I = Intensidad máxima de lluvia en la zona, en (m hora s^{-1})

$5/18$ = Factor de conversión de $m^3 h^{-1}$ a $L s^{-1}$

Posteriormente, se deberá determinar el tamaño de la sección de la canaleta (ver ecuación 3), para que permita desalojar el agua que se calculó en el paso anterior (Anaya-Garduño et al., 2020).

$$Q = A \times v \quad (3)$$

Q = Caudal que puede desalojar la canaleta ($m^3 s^{-1}$)

A = Área de la canaleta (m^2)

v = Velocidad de conducción del agua ($m s^{-1}$)

Si la sección es rectangular se propone la base y la altura, y se determina el área con la ecuación (4) (Anaya-Garduño et al., 2020).

$$A = B \times h \quad (4)$$

A = Área de la canaleta (m^2)

B = Base de la canaleta (m)

h = Carga hidráulica (m)

Para calcular la velocidad (v) del caudal, se utiliza la ecuación de Manning (ecuación 5) (Anaya-Garduño et al., 2018).

$$v = \frac{1}{n} r^{2/3} \times s^{1/2} \quad (5)$$

v = Velocidad de conducción del agua ($m s^{-1}$)
 n = Coeficiente de rugosidad (adimensional)
 r = Radio hidráulico (m)
 s = Pendiente de la canaleta (1/1)

El coeficiente de rugosidad dependerá del material con el que esté revestida la tubería o canaleta; en este análisis se seleccionó el más utilizado comercialmente, el de PVC ($n=0.008$) (Anaya-Garduño et al., 2018).

El radio hidráulico se calcula con la ecuación (6).

$$r = \frac{A}{p} \quad (6)$$

r = Radio hidráulico (m)
 A = Área de la canaleta (m^2)
 p = Perímetro mojado (superficie de la canaleta en contacto con el agua, en m)

Finalmente, se debe comparar el valor del caudal de conducción con el valor del caudal que puede desalojar la canaleta en función de la sección y las dimensiones que se han propuesto. El resultado puede variar de acuerdo con las siguientes condiciones (Anaya-Garduño et al., 2018):

Si $Q \geq Q_c$, el tamaño de la canaleta se acepta.

Si $Q < Q_c$, el tamaño de la canaleta no es suficiente y deberán proponerse otras dimensiones y repetir el cálculo.

4.3. Dimensionamiento de las tuberías

Para el cálculo del diámetro de la tubería necesaria se utilizaron los valores antes calculados del gasto que transporta la canaleta (Q , en m^3/s), así como la velocidad del agua (v , en m/s), usando la ecuación (7) (Anaya-Garduño et al., 2020).

$$D = \sqrt[2]{\frac{Qc}{\pi \cdot v}} \quad (7)$$

D = Diámetro de las tuberías de bajada (m)
 Qc = Caudal que puede desalojar la canaleta ($m^3 s^{-1}$)
 v = Velocidad de conducción del agua ($m s^{-1}$)

4.4. Volumen de captación

TECHO (2020) propone la ecuación (8) para determinar la cantidad de agua que puede ser captada en una vivienda, usando los datos de la precipitación, el área de la vivienda TECHO®, el coeficiente de captación y el coeficiente de escurrimiento de la superficie de azotea. Sustituyendo los datos en la ecuación (8) propuesta por el programa social, se determinó la cantidad de agua que se puede captar mensualmente.

$$Vt = P \times A \times CE \quad (8)$$

Vt = Volumen total (m^3)

P = Precipitación (m)

A = Área (m^2)

CE = Coeficiente de escurrimiento de teja (0.8)

4.5. Volumen disponible diario

Una vez obtenido el volumen captado mensualmente, éste se divide entre el número de días que tiene cada mes, con el fin de conseguir el volumen promedio diario que recibirá el tanque de almacenamiento. Estos valores permiten elegir el tamaño del tanque idóneo de acuerdo con su costo, espacio disponible y capacidad necesaria (TECHO, 2020).

5. Resultados y discusión

5.1. Canaleta seleccionada

Para obtener las dimensiones de las canaletas se requieren de diversos datos para poder dimensionarlas por medio de la ecuación (2). Para el presente proyecto los cálculos se realizaron tomando en cuenta que el material más conveniente para la confección del sistema de conducción es el PVC, debido a su facilidad de obtención, su durabilidad y bajo costo, como anteriormente se mencionó.

De acuerdo con lo descrito previamente, se tiene un área de captación efectiva de $18.6 m^2$. La intensidad máxima de la lluvia (I) en el lugar a analizar se tomó de $45 mm/h$ ($0.045 m/h$) de acuerdo con los mapas de isoyetas de la SCT (2015).

A partir de las fórmulas del punto 4 se obtuvieron los siguientes resultados:

El valor del caudal de conducción es:

$$Qc = 0.00023 m^3 s^{-1}$$

Con el valor de esta caudal, se selecciona una canaleta de PVC con sección rectangular, con base en el manual técnico "Sistemas de captación de agua de lluvia" (Anaya-Garduño et al., 2020). Las dimensiones que se proponen son: 10 cm de base y 5 cm para el tirante de agua. El área y el radio hidráulico de la instalación se calcularon obteniendo los valores siguientes:

$$A = 0.005 m^2$$

$$r = 0.025 m$$

Posteriormente, se aplica la ecuación de Manning para determinar la velocidad (v) del caudal que va a transportar la canaleta.

$$v = 1.5 m s^{-1}$$

El coeficiente de rugosidad para tubería de PVC es de 0.008, de acuerdo con los valores establecidos (Anaya-Garduño et al., 2020). Se recomienda que la canaleta tenga una pendiente del 2 % para facilitar su escurrimiento hacia la zona de conducción.

Lo siguiente será calcular el caudal que la canaleta es capaz de transportar según las dimensiones propuestas. El valor obtenido fue:

$$Q = 0.0075 m s^{-1}$$

Al comparar los resultados anteriores se puede observar que $Q > Qc$, lo que nos permite determinar que las dimensiones propuestas para la canaleta son aceptables, ya que podrá transportar el agua sin desbordarse.

Como mencionan Abdulla y Al-Shareef (2009), el tamaño de las canaletas depende del área del techo y de la cantidad de agua de lluvia a ser conducida a través de estos, por lo que es indispensable conocer sus dimensiones mínimas necesarias, para evitar pérdidas por desbordamientos. El manual de especificaciones técnicas del CEPIS (2003), recomienda que el material del sistema de conducción puede ser PVC o cualquier material que no altere la calidad físico-química del agua. De la misma manera, en otro estudio donde se implementó un SCALL en una zona semiárida del país se sugirió el uso de PVC en las canaletas por ser económico y fácil de conseguir (Pedroza-Sandoval et al., 2014).

Las dimensiones del ancho de la canaleta a utilizar en el presente proyecto se encuentran dentro de los límites que estipula el manual técnico de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (Anaya-Garduño et al., 2020). Otro estudio menciona que, por cuestión de costo, se propone que las canaletas y tuberías de bajada de la azotea sean de plástico (Jalife-Acosta et al., 2018).

Para el cálculo del diámetro de la tubería para la cual también se utiliza PVC, se emplearon los valores antes calculados del gasto que transporta la canaleta Q_c , así como la velocidad del agua (v) y se obtuvo el siguiente valor:

$$D = 0.007 \text{ m} = 7.0 \text{ cm}$$

De acuerdo con los diámetros comerciales y el tipo de separador de agua de primeras lluvias, se propone una tubería de diámetro de 3 in por ser de tamaño comercial.

5.2. Separador de primeras aguas

El separador de primeras aguas es un prototipo como el de la Figura 4; cuando éste separa el primer volumen de lluvia, elimina hasta el 70 % de las impurezas que acarrea el agua desde la azotea. Este sistema se elige debido a que se puede ajustar el volumen de lluvia que se requiera separar; es de fácil instalación y cuenta con una capacidad para interceptar el agua en superficies de hasta 140 m² (García-Velázquez, 2012).

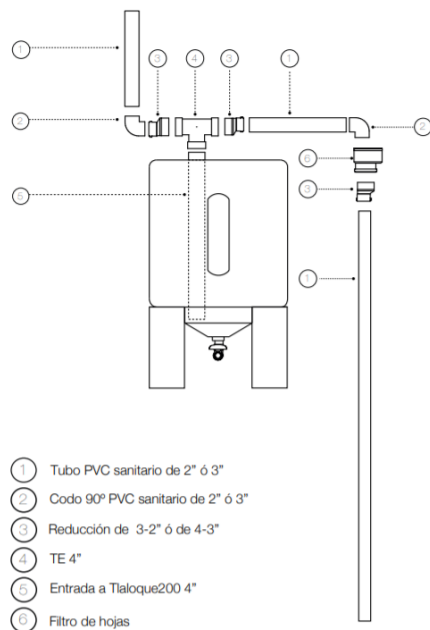


Figura 4. Diagrama de tanque separador de primeras lluvias (García-Velázquez, 2012)

5.3. Filtro de hojas

El filtro de hojas que se propone está hecho para retirar sólidos mayores a 1 mm como hojas, ramas, piedras, etc. El filtro comercial está fabricado con base de polipropileno o PVC y malla de acero inoxidable para larga duración. Se limpia manualmente de una manera sencilla y es de fácil instalación (García-Velázquez, 2012). El diámetro que se elige es de 4 in, de acuerdo con el área de captación del proyecto y la tubería diseñada de 3 in.

5.4. Tanque de almacenamiento

El volumen de lluvia recolectado en la superficie de captación se divide entre el número de días de cada mes, con el fin de conseguir el volumen promedio que caerá diariamente al tanque de almacenamiento y de revisar cuál será el tamaño del tanque idóneo a poseer en la vivienda. En la Tabla 3 se resumen los resultados más sobresalientes de estos cálculos.

Tabla 3 Resultados diarios para dimensionar el tanque de almacenamiento (Elaboración propia)

Mes	Precipitación (mm)	Volumen captado (L)	Volumen disponible diario (L)
E	6	89	3
F	7	104	4
M	13	193	6
A	22	327	11
M	104	1 548	50
J	231	3 437	115
J	237	3 527	114
A	236	3 512	113
S	234	3 482	116
O	108	1 607	52
N	25	372	12
D	3	45	1

En color verde se encuentran sombreados los meses con mayor captación de agua (mayo a octubre) y en azul los de menor captación (enero, febrero, marzo y diciembre).

De acuerdo con los datos de la Tabla 3, en los meses con precipitaciones mayores a 30 mm mensuales, se pueden captar volúmenes diarios de 50 L (mayo) a 116 L (septiembre). En los meses de mayo a octubre, pueden captarse volúmenes diarios mayores de 50 L, los cuales satisfacen la demanda mínima que requiere una persona diariamente, de acuerdo con la OMS (2003).

Los meses en los que el volumen disponible diario sea menor de 50 L, sirven para complementar la demanda de una persona desde un 4 % (diciembre) hasta un 24 % (noviembre). Con base en los litros máximos disponibles diarios, se obtiene que el tanque de almacenamiento recomendable es un tinaco con una capacidad de 450 L, pues es el mínimo en capacidad comercial y es fácil de conseguir en áreas rurales.

5.5. Tratamiento del agua

Para potabilizar el agua recolectada, el sistema de purificación que se empleó fue un dosificador de cloro marca Acualim 02. De acuerdo con el fabricante, media pastilla de cloro potabilizaría 417 L de agua, aproximadamente el volumen del tanque de almacenamiento recomendado, reemplazando la pastilla periódicamente (NORMA OFICIAL MEXICANA, 1994; NORMA OFICIAL MEXICANA, 1998).

5.6. Discusión de los resultados

Para determinar si los volúmenes obtenidos en este estudio pueden satisfacer las necesidades básicas de una población rural, se revisaron estudios realizados en distintas partes del mundo (Tabla 4).

Las precipitaciones presentan una variabilidad que va de 300 mm a 2 400 mm, considerando sitios áridos y semiáridos. Esta situación permite conocer que el lugar en estudio se encuentra entre este rango con una precipitación promedio anual de 597 mm para el mes más lluvioso.

Tabla 4. Precipitaciones mensuales de distintas partes del mundo (Elaboración propia)

Lugar	Precipitación promedio anual (mm)	Referencia
Alemania	563 a 855	(Hidropluviales,
Loess de Gansu, China	300	2012)
Tokio, Japón	1 380	
Singapur	2 400	
Laikipia, África	400	
México	610	

Los volúmenes disponibles en la vivienda podrían ser usados para fines domésticos, en actividades como: limpieza del hogar, riego de jardín, preparación de alimentos, higiene personal y consumo humano, pues se contempla el sistema de potabilización a base de un dosificador de cloro.

El agua captada servirá para satisfacer las necesidades mínimas de una vivienda habitada por dos personas durante la época de lluvias (junio a septiembre). Si los integrantes de la vivienda fueran más de dos, el sistema abastecería de manera parcial la dotación diaria recomendada por la OMS (2003), la cual sugiere 50 L a 100 L por persona.

En los meses en los que las precipitaciones sean inferiores a 30 mm diarios, de igual manera el sistema de captación servirá como un complemento a las fuentes de abastecimiento de la comunidad (manantiales Xantamalco y El Rodeo). Por último, de acuerdo con la metodología estipulada por Anaya-Garduño et al. (2018) el volumen de captación depende, entre otros factores, de una demanda mensual mínima para garantizar su captación y almacenamiento. En este caso, el tanque de almacenamiento calculado se basa en la metodología propuesta por TECHO (2020), la cual considera la precipitación, el área de una vivienda TECHO® y el coeficiente de escorrentía.

6. Conclusiones

La oferta de precipitación pluvial anual en el área de estudio es de 1 226 mm. En el tipo de vivienda seleccionada, cuya superficie de captación tiene 18.6 m² de cobertura de techo de

teja, se obtienen en promedio 15.51 m³ del agua recolectable durante el año. Este volumen es factible para consumo doméstico, ya que puede cubrir la demanda de 50 L diarios para necesidades básicas por persona en una vivienda de dos habitantes durante 4 meses en el año. Durante el periodo en que la demanda mínima no sea satisfecha, el volumen de lluvia disponible podría complementarse con el agua que proviene de los manantiales Xantamalco y El Rodeo, que son las fuentes de abastecimiento de agua potable existentes.

Si se emplea el método de cloración para mejorar la calidad del agua almacenada, ésta cumple con los requisitos establecidos por la normativa nacional para consumo doméstico en actividades tales como limpieza del hogar, higiene personal y consumo humano. Además, al reducir la dependencia del volumen proveniente de las fuentes de abastecimiento actuales, las mujeres serán las principales beneficiadas con la puesta en marcha de los SCALL, ya que evitará que realicen largos traslados diarios para la obtención de la misma.

Mediante la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en la comunidad de San Antonio Alpanocan, Puebla, se puede concluir que es posible reducir la escasez hídrica que padece la población, aportando una alternativa eficiente para la recolección del agua durante la época de lluvias.

Agradecimientos

Se agradece a Andrade-Rivera J.A., Ávila-Cortés E.M. y Trejo-Covarrubias G., estudiantes del curso Desarrollo de Proyectos por su colaboración en la parte inicial de este estudio. Las autoras también agradecen el trabajo de los revisores anónimos y sus observaciones.

Referencias

- Abdulla, F. A., Al-Shareef, A. W. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243(1-3): 195-207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.013>
- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., Shirin, S. (2020). Suitability of roof harvested rainwater for potential potable water production: A scoping review. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119226. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119226>
- Anaya-Garduño, M., Pérez-Hernández, A., López-Hernández, N. A., Martínez-Ponce, I. R. (2018). Sistemas de captación del agua de lluvia (SCALL), manual técnico. Primera edición, 20 p. Consultado el 1 de febrero de 2022 desde: <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/2018.-Manual-T%C3%A9cnico-Sistemas-de-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia.pdf>
- Anaya-Garduño, M., Pérez-Hernández A., López-Hernández, N. A., Miranda-Martínez, M. E., López-Rodríguez, R., Fuentes-Castillo, M. J. (2020). Aguas atmosféricas. Fuentes alternas para diversos usos en Iberoamérica. Colegio de Postgraduados, primera edición, 218 p. ISBN: 978-607-715-419-8. Consultado el 15 de noviembre de 2021, desde: <http://www.captaciondelluvia.org/wp-content/uploads/2021/03/Aprovechamiento-de-las-aguas-atmosf%C3%A9ricas-como-fuentes-alternas.pdf>
- Assayed, A., Hatokay, Z., Al-Zoubi, R., Azzam, S., Qbailat, M., Al-Ulwayan, A., Saleem, M. A., Bushnaq, S., Maroni, R. (2013). On-site rainwater harvesting to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.010>
- CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2003). Captación de agua de lluvia para consumo humano. Consultado el 10 de noviembre de 2021 desde: <https://www.ministeriodosalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario->

- tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-lluvia/documento-tecnico-1/1836-captacion-de-agua-de-lluvia-para-consumo-humano/file#:~:text=La%20captaci%C3%B3n%20de%20agua%20de,almacenada%20para%20su%20uso%20pos%20terior.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2016). Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto potable a nivel vivienda. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Consultado el 3 de febrero de 2022 desde: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_PLUVIAL.pdf
- CONEVAL, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2020). Datos del avance municipal. Coneval. Consultado el 6 de febrero de 2022, desde: <http://sistemas.coneval.org.mx/DATAMUN/mapas?e=21&m=21217&sg=4&g=26>
- García-Velázquez J. H. (2012). Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Cd. de México. Tesis de Maestría, UNAM. Consultado el 7 de febrero de 2022 desde: <https://islaurbana.org/wp-content/uploads/2021/03/pluvioteca-sistema-captacion-aprovechamiento-pluvial-ecobarrio-mexico-garcia-hiram-unam-2012.pdf>
- Hidropluviales (2012). Captación en el mundo. Consultado el 6 de febrero de 2022 desde: <https://hidropluviales.com/2012/11/29/captacion-en-el-mundo/#:~:text=La%20captaci%C3%B3n%20re%C3%BAso%20de,vez%20m%C3%A1s%20intensos%20e%20impredecibles>.
- H. Ayuntamiento de Tochimilco 2018 – 2021 (2020). Alpanocan, deslinde territorial. Consultado el 5 de septiembre de 2021 desde: <https://tochimilco.gob.mx/2020/07/11/alpanocan-deslinde-territorial/>
- Isla Urbana (s.f) Sistemas de ciudad. Consultado el 4 de septiembre de 2021 desde: <https://islaurbana.org/sistemas-ciudad/>
- Jalife-Acosta, S., Quiroa-Herrera, J. A., Villanueva-Solis, J. (2018). Captación de agua de lluvia: tipos, componentes y antecedentes en zonas áridas de México, como estrategia de uso sustentable del agua. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, (3), 63-86. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i3.32>
- Jiménez, A., Cortobius M., Kjellén, M. (2014). Water, Sanitation and Hygiene and Indigenous Peoples: A Review of the Literature. *Water International* 39(3): 277-93. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2014.903453>.
- Kanno, G. G., Lagiso, Z. A., Abate, Z. G., Areba, A. S., Gondol, B. N., Temesgen, H., Van Wyk, R., Aregu, M. B. (2021). Estimation of rainwater harvesting potential for emergency water demand in the era of COVID-19. The case of Dilla town, Southern, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 3, 100077. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100077>
- Lee, M., Kim, M., Kim, Y., Han, M. (2017). Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. *Journal of Environmental Management*, 200, 400-406. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.072>
- Melchor, M. F., Hernández-Cacho, C., Guerrero-Vidal, C., Vega-Zarate, R. (2011). Captación y aprovechamiento del agua de lluvia. *KUXULKAB*, 12(No 33), 73-75. Consultado el 10 de diciembre de 2021 desde: <https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/366/289>
- NORMA OFICIAL MEXICANA (1994). Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Norma núm. 127. Consultado el 10 de diciembre de 2021 desde: https://www.pediatría.gob.mx/archivos/burbuja/13.4_NOM-127-SSA1-1994_Salud_Ambiental_Agua_limite_permisibles_de_calidad.pdf
- NORMA OFICIAL MEXICANA (1998). Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua, de tipo doméstico. Norma núm. 181. 10 de diciembre de 2021 desde: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ssa1/ssa1181.pdf>
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2003). Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos (ACNUDH). Centro por el Derecho a la Vivienda y contra los Desalojos (COHRE). *Water Aid*, Centro de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. *The Right to Water*. 2003. 10 de diciembre de 2021 desde: www2.ohchr.org/english/issues/water/docs/Right_to_Water.pdf
- OPS, Organización Panamericana de la Salud. (2004). Especificaciones técnicas. Captación de agua de lluvia para consumo humano. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Consultado el 13 de octubre de 2021, desde: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-lluvia/documento-tecnico-1/1836-captacion-de-agua-de-lluvia-para-consumo-humano/file>
- Pedroza-Sandoval, A., Chávez-Rivero, J. A., Trejo-Calzada, R., Ruíz-Torres, J. (2014). Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) y bioproduktividad en comunidades. Consultado el 25 de noviembre de 2021 desde: https://www.researchgate.net/profile/Aurelio-Pedroza-Sandoval/publication/268576774_SYSTEMAS_DE_CAPTACION_DE_AGUA_DE_LLUVIA_SCALL_Y_BIOPRODUCTIVIDAD_EN_COMUNIDADES_MARGINADAS_DE_ZONAS_ARIDAS/links/5470d0a50cf2d67fc0344835/SISTEMAS-DE-CAPTACION-DE-AGUA-DE-LLUVIA-SCALL-Y-BIOPRODUCTIVIDAD-EN-COMUNIDADES-MARGINADAS-DE-ZONAS-ARIDAS.pdf
- Plan municipal de desarrollo (2020). Presidencia municipal Tochimilco 2018–2021. Consultado el 7 de febrero de 2022 desde: <https://planeader.puebla.gob.mx/pdf/Municipales2020/Tochimilco.pdf>
- Recio, M., Bobo-Pedro, A., Mancebo-Piqueras, J. A., Esteban-Zazo, A. (2019). Sistemas de captación de agua de lluvia: paralelismos entre África y América y desarrollo de un captador portátil. *DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, 6, 14-26. Acceso desde: <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/4196/4207>
- Rugiero-Galván D. (2018). Cartografía de los peligros que generan los fenómenos de remoción en masa a la comunidad San Antonio Alpanocan, Puebla. Tesis de Maestría, IPN. Consultado el 30 de noviembre de 2021 desde: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27020?show=full>
- Ruiz-Torres, J., Trejo-Calzada, R., Pedroza-Sandoval, A., Vargas-Trujillo, A. (2006). Análisis del beneficio-coste en la captación de agua de lluvia en el Cais-Uruza-UACH, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, (2), 173-178. Acceso desde: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545070009>
- SCT, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2015). Isoyetas de intensidad de lluvia. Consultado el 1 de febrero de 2022 desde: https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Isoyetas_2015/PUEBLA/21.-PUEBLA_TR_10_A%3%91OS.pdf
- SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social (2011). Atlas de riesgos del municipio de Tochimilco. Número de expediente: PP11/21188/AE/1/006, 134 p. Consultado el 18 de noviembre de 2021 desde: http://rmgir.proyctomesoamerica.org/PDFMunicipales/2011/vr_21188_TOCHIMILCO.pdf
- TECHO. (2020). *Sistemas de Captación de Agua de Lluvia- Manual Operativo*. Ciudad de México: TECHO®.
- Torres-Hughes, C.R., Fresquet-Blanco, L. A. (2018). Captación de agua de lluvia para descarga de inodoros en edificio alto en el Vedado, La Habana. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XL (1), 122-135. Consultado desde: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v40n1/1680-0338-riha-40-01-122.pdf>
- UNICEF, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (2016). La búsqueda de agua es a menudo una pérdida de tiempo colosal para las mujeres y las niñas. Consultado el 5 de diciembre de 2021 desde: <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/la-b%3%BA-squeda-de-agua-es-amenudo-una-p%3%A9-rdida-de-tiempo-colosal-para-las-mujeres-y>
- Villanueva, P. (2018). En Alpanocan llega la lluvia y el agua ¿se acaba? *Oxfam México*. Consultado el 4 de septiembre de 2021 desde: <https://www.oxfamMexico.org/historias/en-alpanocan-llega-la-lluvia-y-el-agua%2%BFse-acaba>
- Weather Atlas (2020, 23 abril). San Antonio Alpanocan, México - abril pronóstico del tiempo e información climática. Recuperado el 5 de septiembre de 2021 desde: <https://www.weather-atlas.com/es/mexico/san-antonio-alpanocan-el-tiempo-en-abril>