

Prototipo de sistema para riego de uso doméstico mediante captación de agua pluvial

Estrada Osorio, Pablo Esteban

2022

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5532>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Prototipo de sistema para riego de uso doméstico mediante captación de agua pluvial

Estrada Osorio Pablo Esteban (tercer semestre en Ingeniería Mecatrónica)¹, Lozano Hernández Denisse (cuarto semestre en Ingeniería en Logística)^{1,*}, Marcos Morales Ariadna (cuarto semestre en Ingeniería en Biotecnología)¹, Carrión Gómez María del Carmen (profesor responsable)¹, López Molina María Guadalupe (profesor asesor)¹ y Jaramillo Bañuelos José David (profesor asesor)¹.

¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Resumen

El agua es uno de los recursos principales para la preservación de la vida y la satisfacción de necesidades básicas del hombre. Debido al crecimiento de la población y a la inminente reducción del recurso, se ha recurrido a alternativas para su obtención. La recolección a nivel doméstico de agua pluvial complementada con un sistema de riego supone una opción productiva para la agricultura a nivel doméstico. Este proyecto tiene como objetivo diseñar un prototipo de sistema de recolección, almacenamiento y suministro de agua pluvial para uso doméstico con un empleo específico en el riego por goteo para hortalizas domésticas en una vivienda del estado de Puebla.

Se analizó la viabilidad y la eficacia de los sistemas de riego de uso doméstico mediante una revisión de la literatura y una comparación entre distintos sistemas de riego, se seleccionaron los materiales más adecuados para el diseño del sistema a través de un estudio económico, ambiental y de accesibilidad. Finalmente, se definió el método de armado e instalación del sistema tomando en cuenta sus dimensiones y la cantidad de agua necesaria para las hortalizas. Como resultado se obtuvo que el sistema de captación y de riego por goteo construido con PVC supone un complemento al suministro de agua potable y una reducción en su costo anual. Se concluyó que el sistema es viable económica y ambientalmente, específicamente en los meses de lluvia. Se recomienda la realización de estimaciones para conocer la cantidad de agua necesaria para el riego antes de su implementación.

Palabras clave: Riego por goteo, agua pluvial, hortalizas, captación pluvial.

***Autor Corresponsal:** denisse.lozano@iberopuebla.mx

Introducción

El agua es uno de los recursos principales necesarios para la preservación de la vida, además de que juega un papel fundamental para satisfacer las necesidades básicas, la salud, la alimentación, la higiene y ciertas oportunidades de desarrollo para el hombre [1]. Con el aumento de la población aumenta también la demanda del recurso para satisfacer las necesidades básicas, lo que ha provocado que los subsuelos sean una de las principales fuentes de agua dulce aprovechable, desencadenando así en el uso desmedido de estos mantos, sobreexplotación y un daño a su ecosistema [2]. En ciudades grandes se estima que cerca del 70% de los habitantes de medios a bajos ingresos obtienen y usan agua que proviene de los subterráneos para satisfacer sus necesidades domésticas y se estima que un humano promedio requiere de 50 litros de agua diarios para sus necesidades domésticas [3,4].

La huella hídrica individual se considera como toda el agua que se requiere para producir alimentos, bebidas y energía. La huella hídrica de México es de 1,978 m³/habitante al año, lo que se resume a aproximadamente 197,423 hm³/año, de esta cantidad, el 5% se destina a actividades domésticas como beber, cocinar, lavar automóviles, satisfacer necesidades de limpieza e higiene y para el riego de jardines u hortalizas domésticas [5,6]. La agricultura y la ganadería, es decir el sector agropecuario, es el que representa la mayor cifra de huella hídrica a nivel mundial. En México, este sector representa el 92% de la huella hídrica, repartiéndose en 56% interna y 44% externa, siendo algunos ejemplos el maíz, trigo, azúcar, naranja y papa. Además de que este

sector muchas veces no usa el agua de forma óptima, un ejemplo es el maíz, que en México tiene huella hídrica de 2,271 m³/ton, mientras que en Estados Unidos es de 762 m³/ton [6,7]. El hecho de que este elemento sea fundamental para el desempeño de distintas actividades a nivel doméstico e industrial ha provocado que actualmente la humanidad enfrente una crisis mundial del agua, lo que se manifiesta en escasez de recursos hídricos, sequías y falta de oferta del recurso, que se refleja en una disminución de la calidad de vida [1].

Como resultado de los datos anteriores se ha generado conciencia a nivel mundial sobre la importancia del aprovechamiento del agua pluvial, provocando que en algunos países la tengan en cuenta para el mejoramiento o la ejecución de sistemas de suministro a nivel público o privado, agrícola, empresarial o colectivo, ya que es una solución amigable, económica y ecológica [8,9].

Como técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se entiende la práctica (obra o procedimiento técnico) capaz de, individualmente o combinadas con otras, aumentar la disponibilidad de agua en la finca, para uso doméstico, animal o vegetal. Existen distintos métodos para su captación, entre los que se destacan la microcaptación, macrocaptación, captación de aguas subterráneas y freáticas, captación de agua atmosférica y la cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables. Esta última consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico para su posterior

almacenamiento en cisternas o tanques para después ser distribuida en el hogar [10,11].

El agua obtenida de la captación pluvial puede tener diversos fines, en consumo doméstico con la bebida, alimentación, lavado de ropa o higiene de la vivienda, en el consumo animal se puede destinar a abrevaderos o higiene de instalaciones, como último ejemplo se tiene la producción vegetal, con subfinalidades en huertos caseros de frutas y hortalizas, forraje y áreas de otros cultivos de subsistencia o comerciales [10]. Respecto al último uso mencionado se pueden recalcar el riego, que se define como el aporte artificial de la cantidad necesaria de agua en el momento que se necesita, esto se puede realizar a través de canales, pipas, regaderas y sistemas, el riego se implementa en lugares con condiciones específicas, lo que permite un crecimiento adecuado de los cultivos y, por lo tanto, alimento e ingresos económicos [12,13].

Los sistemas de riego suponen un beneficio a los cultivos, pues proporcionan el agua a las plantas para que reciban solo la humedad suficiente con el fin de que se desarrolle y optimice su ciclo vital. Estos sistemas en ocasiones presentan costos elevados, sin embargo, en un sistema de riego con éxito, el conjunto de recursos o cultivos produce el máximo rendimiento, por lo cual es importante hacer una evaluación de los sistemas de riego, tomando en cuenta parámetros como rentabilidad, aspectos sociales y ecológicos [14].

Existen distintos tipos de sistemas de riego, siendo algunos de los más destacables el de aspersión, de exudación, y microaspersión, todos ellos tienen ventajas como ahorro del agua, mayor productividad de los cultivos y mayor comodidad, también tienen desventajas como el elevado costo inicial y la durabilidad de algunos materiales [15]. El sistema de riego por goteo consiste en una gota que cae de forma continua y a baja presión mediante tuberías internas en sitios estratégicos, permitiendo así un ahorro de agua. Es el método más eficaz de suministro de agua porque entrega directamente a la zona radicular del cultivo la cantidad exacta y en el momento adecuado, mientras que permite un rendimiento máximo del agua [16,17].

El sistema de riego por goteo tiene muchas ventajas y usos para el riego en jardines domésticos, como un mejor uso y desempeño en zonas áridas o secas evitando así la evaporación excesiva del agua, es posible usar fertilizantes incluidos en el agua de riego, permite las podas, tutorado e incluso el cultivo en todo momento [16]. Pese a lo anterior, es preciso mencionar que este sistema requiere condiciones específicas de instalación y de mantenimiento para evitar obstrucción de canales u orificios de goteo [15].

Para un eficiente aprovechamiento de los sistemas de captación pluvial, se debe analizar los diferentes materiales de los tipos de cubiertas empleados en la recolección. Entre los materiales más utilizados en los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia están: teja de arcilla, plancha metálica ondulada, paja, tejas de madera, tejas de concreto, techos verdes, entre otros [17].

Es posible la construcción de un sistema de captación pluvial que aproveche el agua obtenida en un sistema de riego, lo que se traduciría en una reducción del consumo de agua potable para el riego, y a su vez en una alternativa

económica. Para lo anterior, se deben tomar en cuenta ciertos parámetros con el fin de obtener productos de calidad y evitar daños por malas técnicas de riego. Algunas de las condiciones específicas son el clima, que puede ser templado, seco o subhúmedo, y la lluvia, de la que preferentemente se cuenta con cinco meses de esta, por ejemplo, en el estado de Puebla se cuentan con 127 mm anuales [18,19]. Tomando en cuenta los requerimientos y ventajas mencionadas anteriormente, se tiene como objetivo diseñar un prototipo de sistema de recolección, almacenamiento y suministro de agua pluvial para uso doméstico con un uso específico en el riego por goteo para hortalizas domésticas en una vivienda del estado de Puebla.

Metodología

Viabilidad y eficacia de los sistemas de riego domésticos

Se realizó un análisis documental, enfocado en analizar y revisar la literatura que tuviera como objeto de estudio a los sistemas de riego; se seleccionaron únicamente los sistemas de riego de uso doméstico para reducir el tamaño de la muestra; se delimitó como lugar de estudio una vivienda en la ciudad de Puebla, México; Fig. 1.

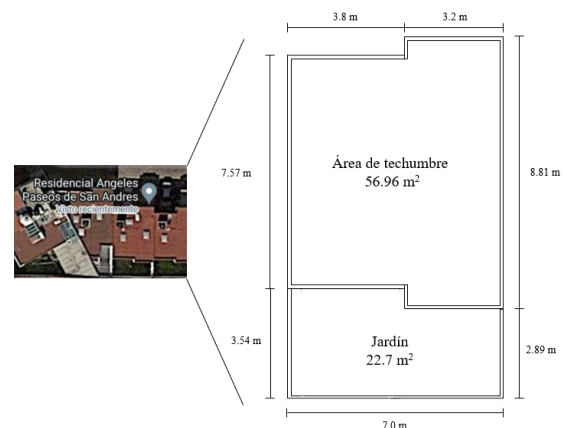


Fig. 1. Localización, medidas y áreas del sitio de estudio. Fuente. Elaboración propia (2022).

Se investigaron las características, ventajas y el empleo de sistemas de riego: por goteo, por aspersión, por exudación y por microaspersión en artículos de investigación y en algunos sitios web, con el propósito de diferenciar los requerimientos de cada sistema y las propiedades con las que el entorno debe contar. Para determinar cuál es el más conveniente tomando en cuenta las necesidades del usuario y las condiciones del entorno.

Selección del material para el diseño del sistema de riego

Se recurrió a una investigación de campo, ya que fue necesario definir el tipo de plantas para las que se va a utilizar el sistema de riego por goteo. Se delimitó entonces el modelo del diseño del sistema de riego a un huerto familiar.

Por medio de la investigación en la literatura, tomando en cuenta que se necesita un sistema de captación de agua pluvial y un sistema de riego, se redujo el tamaño de la muestra de los distintos tipos de diseño a dos de cada sistema. a) Para el sistema de captación de agua pluvial, se

eligieron: sistema de captación pluvial “de tanque” y sistema de captación pluvial “de tuberías”. b) Para el modelo de riego por goteo se seleccionaron: sistema de riego por goteo manual y, sistema de riego por goteo automático.

Con el conocimiento de los materiales que son necesarios para cada tipo de sistema se compararon los precios de cada uno respecto a la evaluación de los componentes individualmente. Se evaluó la diferencia de los precios para elegir el sistema de captación y de riego más rentable económicamente.

Se descartó una investigación más profunda acerca del impacto ambiental de los componentes de los sistemas debido a que se usan los mismos materiales en todos los sistemas que fueron evaluados. Finalmente, se construyó una tabla tomando en cuenta los costos para construir el sistema de captación y el de goteo más económico para determinar el costo total aproximado del proyecto.

Definición del diseño

Se realizó un análisis de la literatura de artículos en los que se mencionaba la metodología con la que se llegaba a la construcción de un sistema de recolección del agua pluvial y planeación adecuada para la distribución del sistema de goteo.

Posteriormente, adecuándonos al lugar de estudio establecido para el presente proyecto, se estudiaron y calcularon las siguientes consideraciones previas: la precipitación promedio mensual de la zona de estudio, cálculo del área total que se destinará para captar el agua pluvial, cálculo de la demanda de agua, el volumen de agua que puede ser almacenado mensualmente con la Eq(1) y cálculo del tamaño ideal que debe tener el tanque de almacenamiento para el aprovechamiento máximo del agua.

$$V_i = \frac{Pp_i * Cr * Ac}{1000} \quad (1)$$

Donde:

V_i = Volumen de captación “i” (m^3)

Pp_i = Precipitación promedio mensual (litros/ m^2)

Cr = coeficiente de escorrentía

Ac = área de captación (m^2)

Para calcular la demanda de agua de las hortalizas, tomando en cuenta 4 tomates, 4 fresas, 2 papas y 1 lechuga, con ayuda de la literatura, se calcularon los litros de agua que se consumirían al mes, según el tipo de hortaliza o fruto y la cantidad que se encuentran en el huerto, considerando en el total un 10% de pérdidas de agua durante su almacenamiento por evaporación e infiltración a través de las paredes del tanque.

Además, se calculó el potencial de ahorro de agua potable que puede generar el sistema mensual y anualmente mediante la Eq(2).

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD} \quad (2)$$

Donde:

$PPWS$: Potencial de ahorro de agua potable (%)

VR : Volumen mensual de agua pluvial que puede ser recolectado (m^3/mes)

PWD : Demanda mensual de agua potable (m^3/mes)

Lo anterior hizo posible el diseño del prototipo para almacenar y conducir el agua pluvial a su destino, dicho diseño fue elaborado en el programa CATIA V5. Por último, se revisó la literatura para determinar el mantenimiento que generalmente requieren los sistemas de riego por goteo para que tengan una vida útil larga.

Resultados y Discusión

Los resultados más sobresalientes de la investigación realizada fueron que el sistema de riego por goteo muestra mayor eficacia que el resto de los sistemas analizados en los hogares. Además de tener un impacto positivo en el medio ambiente, aumenta la productividad, es versátil y es práctico. Al enlistar las características de los diferentes sistemas de riego, se encontró que cada uno posee particularidades y usos específicos para diferentes lugares. Algunas características de los diferentes sistemas de riego son:

Sistema por goteo: Consiste en una gota que cae de forma constante y a baja presión mediante tuberías internas en sitios estratégicos, permitiendo así un ahorro de agua [16]. Dado que entrega el agua en la zona exacta, cantidad y momento exactos, es un sistema que permite el máximo rendimiento del agua.

Sistema por aspersión: Es un sistema especializado en cubrir áreas grandes, dado que consiste en la colocación de aspersores distribuidos en el terreno y regulando la presión de agua, proporcionar un riego altamente homogéneo y es óptimo de implementar en áreas grandes donde el sistema por goteo sería muy poco viable de implementar [20].

Sistema por exudación: Se utiliza una manguera porosa en la que continuamente sale una pequeña cantidad de agua que se reparte de manera uniforme [15]. Puesto que no se evapora ni llega a ser afectada por el viento, es un sistema apto para superficies grandes y pequeñas.

De acuerdo con [21] contar con un sistema de riego en el hogar representa diversas ventajas como lo son minimizar el desperdicio del agua, maximizar la eficacia de los fertilizantes y nutrientes, permitiendo mayor productividad de las plantas, se puede emplear en diferentes escalas de acuerdo con las diferentes necesidades de las personas, proporcionan una instalación sencilla y no requieren de personal especializado.

El sistema de riego se enfoca en el riego de hortalizas en huertos familiares. Estos huertos son fáciles de hacer, ya que se elaboran en pequeñas porciones de terreno y pueden proporcionar beneficios durante todo el año. Unas de las ventajas que tiene este tipo de huertos es la fomentación de la convivencia familiar, dar a conocer la importancia de los huertos y sistemas de riego domésticos y enseñar más sobre los cuidados de las plantas.

Para el área de captación de agua se consideraron diversos materiales con sus respectivos coeficientes de escurrimiento (Tabla 1) para evitar la menor cantidad de filtraciones, evaporación y salpicaduras, se determinó que el óptimo es la lámina galvanizada.

Para la recolección del agua pluvial se emplean técnicas que consisten en la utilización del techo y materiales existentes para permitir un ahorro y una buena optimización de espacio.

Tabla 1: Coeficiente de escurrimiento de algunos materiales [22].

Material	Coefficiente de escurrimiento (Cr)
Lámina galvanizada	> 0.9
Tejas de arcilla	0.8 – 0.9
Madera	0.8 – 0.9
Lámina de asbesto	0.8 – 0.9
Teja	0.6 – 0.9
Paja	0.6 – 0.7
Azulejos de cerámicas de arcilla	0.4 – 0.5
Materia orgánica (ej. palma)	0.2
Concreto	0.6 – 0.8
Pavimento	0.5 - 0.6

Uno de los métodos más comunes es utilizar techos con inclinación. Consiste en la colocación de canaletas en forma de V o U las cuales guían el agua a un bajante para poder ser almacenada en los tanques para su distribución a las plantas. Para efectuar el riego se requiere un grifo, un programador de riego, un filtro, un reductor de presión, tuberías, goteros y diversos accesorios como codos, empalmes, taponos, etc. Se debe colocar el grifo al inicio del sistema, al grifo se le conectará el programador, después de haber conectado el programador se colocará un filtro y un reductor de presión, se conectará el reductor a las diversas líneas de distribución. Se recomienda usar teflón en las conexiones para garantizar una mejor instalación [23].

Para la cuantificación del costo aproximado, se incluye el sistema de captación de agua pluvial y el sistema de riego por goteo, se analizaron precios y materiales de 2 sistemas de captación que funcionan con características diferentes y 2 sistemas de riego por goteo con características similares de los cuales se elaboró una tabla exponiendo los costos aproximados.

Para la comparación de los sistemas de riego se tomaron en cuenta un sistema manual y un sistema automático. Después del análisis de los sistemas se pudo determinar los materiales más rentables económicamente. De los sistemas estudiados, se determinó que para la implementación menos costosa del sistema de riego por goteo alimentado por agua pluvial se debe desarrollar mediante el sistema de riego por goteo manual y el sistema de captación pluvial de tanque (Tabla 2).

Tabla 2: Costo general aproximado del sistema.

Sistema de tanque (200 litros)	
Contenedor 150l de PVC con tapa	\$1,355.00
Válvula de desbordamiento	\$250.00
Malla filtradora .20x.20 m	\$1.00
Patatas niveladoras	\$132.80
Llave de manguera de latón ¼" con válvula contra fugas	\$68.00
Total sistema captación pluvial	\$1,806.80
Sistema de riego por goteo (manual)	
Filtro para sistema de riego	\$283.00
Manguera ¼" para riego por goteo (30.5 m)	\$273.98
Puntas de goteo ajustables (25 pzas.)	\$72.40
Conectores ¼" para riego por goteo (25 pzas.)	\$36.15
Conectores para riego ¾" (2 pzas)	\$63.00
Cinta sella roscas (1.27 m)	\$11.60
Total sistema de riego por goteo	\$739.53
Total general	\$2,546.33

Fuente. Elaboración propia (2022).

Antes de poder emprender el diseño de cualquier sistema de captación es necesario tomar en cuenta la precipitación de la zona, el tipo de material con el que está construida la superficie de captación, determinar la demanda de agua, la superficie de riego, pendiente adecuada para poder calcular el requerimiento de agua, la oferta de agua de lluvia y la captación óptima del tanque.

El agua pluvial recolectada se destinará principalmente para el riego de 4 tomates, 4 fresas, 1 lechuga y 2 papas. De los cuales se calculó que la demanda mensual es de 586.476 litros. Considerando un 10% de pérdidas de agua durante su almacenamiento, el volumen total efectivo de la demanda es de 645.12 litros/mes, equivalente a 0.64512 m³/mes.

Después de considerar el nivel de consumo y la cantidad de agua que puede ser captada con el techo muestra (56.96 m²) se determinó que la captación logra cubrir la demanda, incluso se puede optar por cultivar más hortalizas o destinar para otros usos del hogar.

Considerando los datos recabados, el potencial estimado de ahorro mensual y anual de agua potable del proyecto se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Potencial de ahorro de agua potable.

Mes	Demanda (m ³ /mes)	Almacenamiento (m ³ /mes)	Potencial de ahorro de agua potable (%)
Ene	0.645	0.31	47.68
Feb	0.645	0.44	68.87
Mar	0.645	1.44	222.50
Abr	0.645	2.36	365.53
May	0.645	5.57	863.51
Jun	0.645	6.46	1001.24
Jul	0.645	6.90	1070.11
Ago	0.645	6.43	995.95
Sep	0.645	5.91	916.48
Oct	0.645	3.32	513.87
Nov	0.645	1.23	190.71
Dic	0.645	0.21	31.79
Total, anual	7.741	40.57	524.02

Fuente. Elaboración propia (2022).

El diseño que se propone fue ejecutado en el programa CATIA V5, Fig. 2. Se realizó contemplando los diseños óptimos para la recolección y distribución del agua lo más rápido, eficaz y económicamente viable. Además de enfocarse en ser compacto, pero sin descuidar sus cualidades.

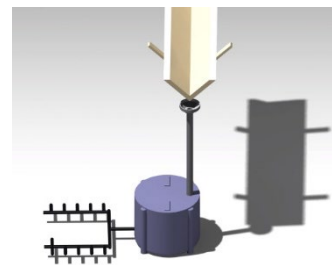


Fig. 2: Diseño del sistema de riego por goteo por medio de captación de agua pluvial. Fuente. Elaboración propia (2022).

Este diseño está adaptado específicamente para ser usado en 11 plantas, pero puede ser adaptado o modificado según las necesidades.

Para mantener el sistema en funcionamiento óptimo es recomendable cuidar ciertos aspectos como son [24]:

Área de captación (techo) y canaletas

Controlar el buen estado y limpieza de estos sectores, sobre todo cuando se acerca el período de lluvias.

Limpia el tanque y el tubo de entrada antes de la temporada de lluvias.

Limpieza periódica de los tejados durante acontecimientos extendidos de lluvia mejora la calidad del agua.

Es importante evitar en lo posible que en el área del techo no caigan hojas o excremento antes de canalizar el agua al tanque de almacenamiento.

Cisterna de almacenamiento

Limpieza interior del tanque, retiro de sólidos sedimentados y lavado de paredes interiores anualmente.

Reparación de grietas o de fugas en el tanque de manera inmediata para evitar pérdidas grandes de agua.

Sustitución de válvula, llave de nariz o alguna tubería que presente fuga inmediatamente después de ser observada.

Como resultado final, se concluye que el sistema de riego por goteo y el sistema de captación pluvial tiene un potencial de ahorro potable por encima de 30% en todos los meses, siendo el menor potencial de ahorro de 31.79% y el mayor de 1070.11%. Los meses en los que el potencial de ahorro y recolección es mayor es en los meses de lluvia, es decir, de mayo a septiembre. En estos meses se puede reducir el consumo de agua de grifo, a la vez que se puede reducir el importe de esta.

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

Se logró determinar que los diferentes sistemas de riego que existen se aplican según las necesidades de cada hogar, sin embargo, el sistema de riego por goteo es el que asegura mayor eficiencia de riego. Además, se concluye que los sistemas de riego aplicados en huertos urbanos traen consigo diversas ventajas al aumentar la productividad, optimizando el aprovechamiento del agua y reduciendo su desperdicio.

Gracias al estudio de las metodologías usadas por otros autores para la construcción de sistemas de almacenamiento de agua pluvial y sistemas de riego por goteo, se logró definir una metodología teórica a seguir para realizar el cálculo del requerimiento de agua, la oferta de agua pluvial que se tiene en la zona y el rendimiento teórico que tendrán los sistemas cada mes y, por consiguiente, el rendimiento anual. Lo anterior permite asegurar un diseño que se adapte a las necesidades de riego y de almacenamiento de agua del lugar en donde se empleará.

De acuerdo con los resultados, se deduce que, en los meses de enero, febrero y diciembre, meses que se establecen como temporada de sequía, el potencial de ahorro de agua potable sería de 47.68%, 68.87% y 31.79% respectivamente, mientras que para el resto de los meses se rebasaría el 100%. Se establece entonces que el sistema es viable, principalmente en los meses de lluvia.

Una recomendación para la construcción del sistema es colocar mallas que permitan detener basura y hojas en las canaletas para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción.

A pesar de que el concreto tiene un coeficiente de escurrimiento entre 0.6 y 0.8, impermeabilizar los techos de este material garantiza un coeficiente de 0.9 [25]. Por lo que se recomienda la inversión para impermeabilizar el área del techo que se utilizará para captar el agua pluvial.

Referencias

1. Manrique, O. B., Ruiz, R. D., y Mizo, R. D. **Sistema de captación de agua de lluvia para la producción hortícola en condiciones de organopónico.** *Universidad & Ciencia*, 2016 <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/226>
2. López-Hernández, N. A., Palacios-Vélez, O. L., Anaya-Garduño, M., Chávez-Morales, J., Rubiños-Panta, J. E., y García-Carrillo, M. **Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico.** *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6), 1433-1439, 2017. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342017000601433&script=sci_abstract&tlng=pt
3. Virgianto, R. H., y Kartika, Q. A. **Simulation of Rainwater Harvesting Potential to Satisfy Domestic Water Demand Based on Observed Precipitation Data in Jakarta.** *Journal of Engineering & Technological Sciences*, 53(6), 1093–1103, 2021. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.6.4>
4. Morales, E., Díaz, E. A., Medina, C. A., García, L., Oliva, M., y Rojas, N. B. **A Rainwater Harvesting and Treatment System for Domestic Use and Human Consumption in Native Communities in Amazonas. (NW Peru): Technical and Economic Validation.** *Scientifica*, 1–17, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4136379>
5. Comisión Nacional del Agua. **El agua virtual y la huella hídrica.** 2013. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/infograf%C3%ADa%20huella%20h%C3%ADrica.pdf>
6. del Mercado Arribas, R. V., y Rodríguez, M. Ó. B. **Huella Hídrica de América Latina: análisis y perspectivas.** *Aqua-LAC*, 4(1), 41-48, 2012. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/huella-hidrica/files/assets/basic-html/page5.html

7. Chenoweth, J., Hadjikakou, M., y Zoumides, C. **Quantifying the human impact on water resources: a critical review of the water footprint concept.** *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(6), 2325-2342, 2014.
8. Hugues, R.T. **La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente.** *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 40(2), 125-139, 2019. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=es
9. Salinas, J. C., Cavazos, R. A., y Vera, J. A. **Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la zona metropolitana de Monterrey, para su aprovechamiento como medio alternativo.** *Ingeniería*, 20(1),1-13, 2016. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750927001>
10. FAO. **Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.** 2013 <https://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
11. Gurung, T. R. y Sharma, A. **Communal rainwater tank systems design and economies of scale.** *Journal of Cleaner Production*, 67, 26–36, 2014. https://research-repository.griffith.edu.au/bitstream/handle/10072/61170/94971_1.pdf%3Bsequence=1
12. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. **En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua.** 2018. <https://www.gob.mx/siap/articulos/en-la-agricultura-los-sistemas-de-riego-son-utilizados-para-un-aprovechamiento-optimo-del-agua?idiom=es>
13. Rutledge, K., Ramroop, T., Boudreau, D., McDaniel, M., Teng, S., Sprout, E., Costa, H., Hall, H. y Hunt, J. **Irrigation.** 2011. <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/irrigation/>
14. Espinosa, B., Flores, H., Ascencio, R. y Carrillo, G. **Diseño de un sistema de riego hidrante parcelario con los métodos por Turnos y Clement: análisis técnico y económico.** *Terra Latinoamericana*, 34(4),431-440, 2016. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57347465005>
15. Fundación AQUAE. **Tipos de sistema de riego y sus características.** 2021. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/tipos-de-riego/>
16. Netafim. **Riego por Goteo.** *Netafim, s.f.* <https://www.netafim.com.mx/riego-por-goteo>
17. Solano, C., Gonzaga, F., Espinoza, F. y Espinoza J. **Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico, Isla Jambelí, cartón Santa Rosa.** *Revista CUMBRES*, 3(1), 151-159, 2017. <http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres/article/view/201>
18. Cortes, V. y Vargas, M.F. **Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreado de variables ambientales mediante IOT en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Marie Poissepin.** *Repositorio Universidad Católica de Colombia*, 2020. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25546/1/Tesis%20Fabian%20Vargas-%20Valeria%20Cortes.pdf>
19. INEGI. **Clima.** *Puebla, s.f.* <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx?tema=me&e=21#:~:text=La%20precipitaci%C3%B3n%20media%20estatal%20es,meses%20de%20junio%20a%20octubre.>
20. Cenicaña. **Riego por aspersión.** *Manejo de aguas*, 2015. <https://www.cenicana.org/riego-por-aspersion/>
21. Rotoplas. **¿Qué es el sistema de riego casero? Características y precio.** 2018. <https://rotoplas.com.mx/que-es-el-sistema-de-riego-casero-caracteristicas-y-precio/>
22. Herrera, L. A. **Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia.** *Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional*, 2010. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/7945>
23. Seguí, P. **Huerto urbano: 9 Pasos cómo hacer una huerta en casa y terrazas.** 2019. <https://ovacen.com/huerto-urbano/>
24. Caspeta, J., Hernández, M. **Operación y mantenimiento a Sistemas de Captación de Agua de lluvia (SCALL).** *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 2017. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/scall/files/assets/common/downloads/publication.pdf
25. CONAGUA. **Lineamientos técnicos: sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda.** *México D.F. Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR)*, 2016. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_PLUVIAL.pdf