

# **SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES PARA USO DOMÉSTICO**

## ***RAINWATER HARVESTING AUTOMATED SYSTEM FOR DOMESTIC USE***

***Gabriela de Jesús Córdova Lara***

Universidad Autónoma de Zacatecas, México  
*icegaby@uaz.edu.mx*

***Blanca Esthela Solís Recéndez***

Universidad Autónoma de Zacatecas, México  
*blsolis@uaz.edu.mx*

***Atziry Magaly Ramírez Aguilera***

Universidad Autónoma de Zacatecas, México  
*atziry.ra@uaz.edu.mx*

***Pedro Alvarado Medellín***

Universidad Autónoma de Zacatecas, México  
*ampedro@uaz.edu.mx*

***Monserath Delgado López***

Universidad Autónoma de Zacatecas, México  
*monsii62@gmail.com*

***Misael Medina Hernández***

Universidad Autónoma de Zacatecas, México  
*misael980116@hotmail.com*

**Recepción:** 24/noviembre/2023

**Aceptación:** 26/abril/2024

## **Resumen**

Desde la antigüedad, se han buscado alternativas para la recolección de las aguas pluviales, ya que resultan ser una de las mejores alternativas naturales que requieren de poca infraestructura para su recolección y reutilización. Sin embargo, la mayoría de las viviendas no cuentan con un sistema de recolección de aguas pluviales, terminando muchas veces en el desagüe junto con las aguas negras de la ciudad, perdiendo de esta manera la oportunidad de ser aprovechadas. En el presente trabajo, se desarrolla un prototipo de un sistema automatizado para la recolección de aguas pluviales que consta de tres etapas que son: captación,

filtración y almacenamiento. Los resultados demuestran que el sistema cumple con los objetivos de cubrir la necesidad planteada por la ONU en la agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible, contando con nuevas alternativas tecnológicas que permitan el óptimo aprovechamiento de las aguas pluviales.

**Palabras Clave:** Desarrollo sostenible, Sistema automatizado, Sistema de recolección de aguas pluviales.

## **Abstract**

*Since ancient times, alternatives have been sought for rainwater harvesting, as they turn out to be one of the best natural alternatives that requires few infrastructures for harvesting and reuse. However, most homes do not have a harvesting system, ending up in the drain along with the sewage of the city, thus losing the opportunity to be used this vital resource. In the present work, a prototype of a rainwater harvesting automated system is developed, that consists of three stages: harvesting, filtration and storage. The results show the system meets the goals of the 2030 Agenda for Sustainable Development covering the current need to have new technological alternatives, which allow the optimal use of rainwater.*

**Keywords:** *Automated system, Rainwater harvesting system, Sustainable development.*

## **1. Introducción**

Millones de personas alrededor del mundo, viven sin un adecuado manejo de los servicios de agua potable, saneamiento e higiene [Rodrigues, 2022]. A partir del siglo XXI, el agua se convirtió en un factor geopolítico muy importante, tomando en cuenta que se volvió un recurso limitado, ya que solo el 2.5% del agua en el mundo es agua dulce [Méndez, 2023]. Debido a esta problemática, han surgido diversas leyes y medios de protección para su cuidado. En el 2015, la Organización de las Naciones Unidas, en la Agenda sobre el Desarrollo Sostenible [ONU, 2023], propuso 17 objetivos de desarrollo sustentable (ODS) a cumplir para el 2030, los cuales incluyen el acceso a agua limpia (ODS6), ciudades y comunidades sostenibles (ODS11), así como acciones para reducir el impacto en el cambio

climático (ODS13). En este sentido, los sistemas para la recolección de aguas pluviales son una tecnología prometedora para cumplir los objetivos mencionados anteriormente [Torres, 2019].

La técnica de los sistemas de captación de agua es antigua, su uso data de hace más de 4,000 años en la antigua Mesopotamia [Hugues, 2019]. El agua de lluvia es perfectamente utilizable para uso doméstico en tareas en donde no se requiera esencialmente de agua potable, pudiendo reducir en algunos casos más del 40% del consumo de agua potable en un hogar [Shadmehri, 2020].

Actualmente diferentes modelos de recolección de agua de lluvia se han presentado en varios trabajos, como por ejemplo en [Gomes, 2023], en el cual se presenta un sistema de recolección y distribución de agua de lluvia basado en IoT (internet de las cosas) a través de una aplicación móvil que controla y supervisa el suministro de agua hacia una vivienda en particular, cuyo principal objetivo es el de modernizar los sistemas de recolección para tratar de recolectar la mayor cantidad de lluvia con un mínimo desperdicio.

En [Vardhman, 2020], se presenta un proyecto de un modelo de recolección inteligente de agua de lluvia basado en el pH del agua. De acuerdo al valor de pH medido, esta será segregada en dos diferentes tanques, si el agua tiene un pH superior a 5, puede ser utilizada como agua potable y no debe almacenarse junto con el agua que tiene un pH menor a 5, dado que esta podría causar enfermedades a los usuarios.

Otro ejemplo es el que se presenta en [Pushpa, 2021], el cual realiza la recolección de agua de lluvia para la gestión de manera inteligente en dos temporadas importantes durante el año, la temporada de sequía, donde muchas áreas sufren de la falta de agua potable, y durante la temporada de lluvias, previniendo el desbordamiento cuando existen lluvias fuertes.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente trabajo es desarrollar un prototipo de un sistema automatizado para la recolección de aguas pluviales, que permita su recolección y reutilización con la finalidad de ser usadas en tareas que no requieran de agua potable, permitiendo impactar en los ODS 6, 11 y 13 planteados por la Organización de las Naciones Unidas en la agenda sobre el

desarrollo sostenible para el 2030. El desarrollo del trabajo comienza presentando los métodos utilizados en cada etapa del prototipo, se describe además su funcionamiento y finalmente, se muestran los resultados de las pruebas realizadas y las conclusiones obtenidas.

## **2. Métodos**

### **Sistema de recolección de agua potable**

Los sistemas de captación denominados SCALL (sistemas de captación de agua de lluvia) [Hugues, 2019], se basan en recolectar el agua para su almacenamiento. La captación de agua de lluvia puede llevarse a cabo por el escurrimiento de techos, patios y paredes exteriores o fachadas, y se puede almacenar en cisternas, aljibes, chultunes, entre otras. Dentro de las ventajas del uso de estos sistemas, es que no queda sujeto a interrupciones en la tubería, reduce la escorrentía y la erosión, su disponibilidad es independiente de los servicios públicos, reduce criaderos de mosquitos, es pura y suave por naturaleza, gratis para quienes la recolectan y libre de cloro y sus subproductos, pesticidas, etc. Presenta como desventajas que el agua de lluvia no es controlable durante las épocas de sequía, el agua puede llegar a contaminarse por los animales, materias orgánicas y contaminantes atmosféricos, si la cisterna no se protege puede inducir a la presencia de mosquitos y, puede que no se cuente con la cantidad necesaria [Sheikh, 2020]. Los SCALL se clasifican en 3 usos principales [Alim, 2020] como son:

- Sistemas para uso agrícola y ganadero.
- Sistemas para recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas.
- Sistemas para consumo humano.

Los sistemas para uso agrícola y ganadero se utilizan para mejorar la producción de cultivos, dar abasto para consumo animal y especialmente en áreas propensas a sequía. Los sistemas para recarga de mantos acuíferos se dan de forma natural usando el suelo, canales, estanques de retención entre otros, para rellenar cuencas hidrológicas o acuíferos de explotación para consumo humano. Finalmente, los sistemas para consumo humano, son aquellos sistemas destinados a aprovechar el

agua de lluvia captada por medio de los tejados de las viviendas, para después ser almacenada en algún medio como cisternas o tanques y sea utilizada en diferentes actividades del hogar, como la descarga en el inodoro, lavandería, riego de jardines, limpieza de las terrazas y otros usos esporádicos al aire libre (como el lavado de autos), pero todos tienen como objetivo reducir el consumo de agua potable de fuentes de suministro de las ciudades [Kolavani, 2020].

El sistema SCALL, está compuesto por cinco unidades básicas: el área de captación, los ductos para conducir el agua, los tratamientos, el tanque de almacenamiento y los complementos. Además, cada sistema de recolección debe tener subsistemas o componentes como: un sistema de captura o superficie de captura, un sistema de recolección de agua o de distribución y un sistema de almacenamiento del agua, este último es el más importante, ya que se encarga de la cantidad y calidad del agua [Sheikh, 2020]. Regularmente la captación de agua de lluvia proviene de techos de viviendas, establos, galpones, invernaderos y otras construcciones y entre los componentes típicos que integran a un sistema de captación están los techos, que por su posición elevada e inclinada facilitan la captación y almacenamiento del agua, además las canaletas colocadas en la parte inferior del plano inclinado recogen la escorrentía del techo y, por una tubería, la conducen hacia el medio de almacenamiento, generalmente estanques o cisternas, de donde el agua es retirada para su consumo [Chiu, 2015].

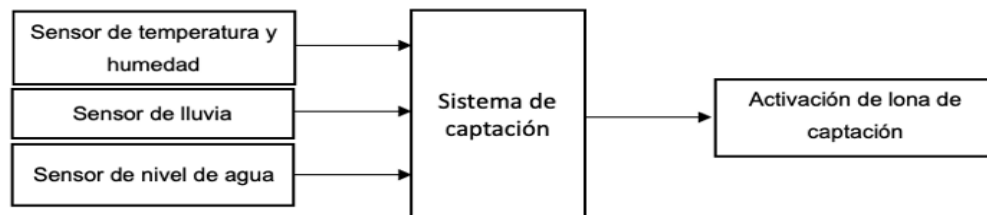
### **Desarrollo del prototipo**

El prototipo diseñado para el sistema automatizado consta de tres etapas: la etapa de captación, la etapa de filtración y la etapa de almacenamiento de aguas pluviales. La etapa de captación recibe la información necesaria para iniciar a recolectar el agua de lluvia. La etapa de filtración es la encargada de almacenar las primeras aguas de lluvia con la finalidad de no almacenar en el tanque agua contaminada, esto a su vez contiene un filtro de mallas que es capaz de eliminar ciertas partículas contaminantes. Por último, se tiene la etapa de almacenamiento en la cual, se acumula toda el agua recolectada, además se pueden monitorear los niveles de agua en el tanque.

Para poder trabajar las señales antes mencionadas, se necesita un controlador que sea capaz de procesar simultáneamente las entradas de los diferentes sensores y actuadores que conforman el sistema. Para el presente prototipo se eligió la placa Arduino Mega 2560, debido a que tiene los pines de entrada y salida suficientes para poder procesar toda la información del sistema.

### **Etapa de captación**

La mayoría de los sistemas de recolección de las aguas pluviales utilizan la infraestructura ya disponible, como por ejemplo los mismos techos de las viviendas. Sin embargo, dado que son superficies que se encuentran altamente contaminadas, en este trabajo se optó por diseñar un sistema que no esté en continuo contacto con los contaminantes ambientales, ni que absorba otro tipo de contaminación de las superficies una vez que se tiene contacto con estas (como lo contenido en los impermeabilizantes de los techos). En este sentido, fue necesario diseñar la infraestructura de un sistema especial que permita desplegar, con la información proveniente de diferentes sensores, una lona a través de unos rieles e iniciar el proceso de captación de la lluvia, como se explica en el diagrama de la figura 1.




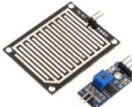

*Fuente: elaboración propia.*

Figura 1 Diagrama general de la etapa de captación.

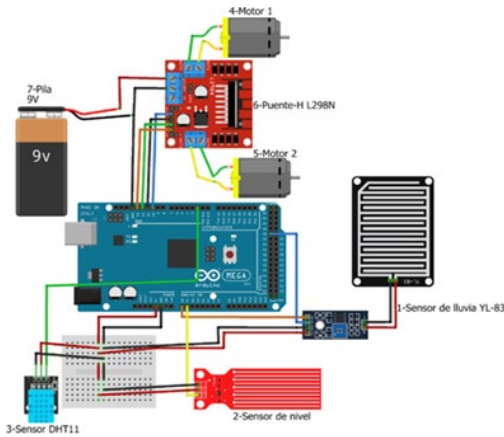
En la etapa de captación fueron necesario tres sensores: un sensor de temperatura y humedad, un sensor de lluvia y un sensor de nivel de agua, los cuales se describen en la tabla 1. Al detectar la presencia de lluvia, se debe de desplegar la lona, para lo cual es necesario usar dos motorreductores de 12 V, los cuales permiten, además de desplegar la lona para iniciar la recolección del agua, volver a enrollar el sistema y mantenerlo lo más libre posible de los contaminantes. La figura 2 muestra el

diagrama de hardware de la etapa de captación (Figura 2a), así como el diseño del prototipo para esta etapa (Figura 2b).

Tabla 1 Sensores necesarios para la etapa de captación.

Sensor de humedad y temperatura DHT11	Sirve para medir la humedad y la temperatura del medio ambiente en tiempo real.	
Sensor de lluvia	Sirve para detectar la existencia de agua, en este caso, de la lluvia (bajo ciertas condiciones).	
Sensor de nivel de agua	Permite detectar la intensidad de lluvia.	

Fuente: elaboración propia.



a) Diagrama de hardware de la etapa de captación.



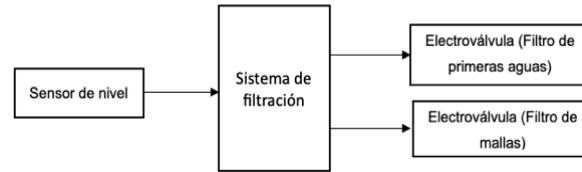
b) Lona para el sistema de captación.

Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Diseño para el sistema de captación.

## Etapa de filtración

Una vez que se inicia la recolección, esta etapa cuenta con dos filtros esenciales, que permiten eliminar ciertos contaminantes para almacenar el agua recolectada. Estas dos etapas de filtración son el filtro de primeras aguas y el filtro de mallas. Ambos se componen de un actuador que corresponde a una electroválvula, que funciona como compuerta, este actuador es activado por medio de un sensor de nivel de agua que permite activar dichas compuertas, ya sea para cerrar o permitir el flujo de agua hacia el tanque de almacenamiento. En la figura 3 se muestra el diagrama de bloques del sistema de filtración.



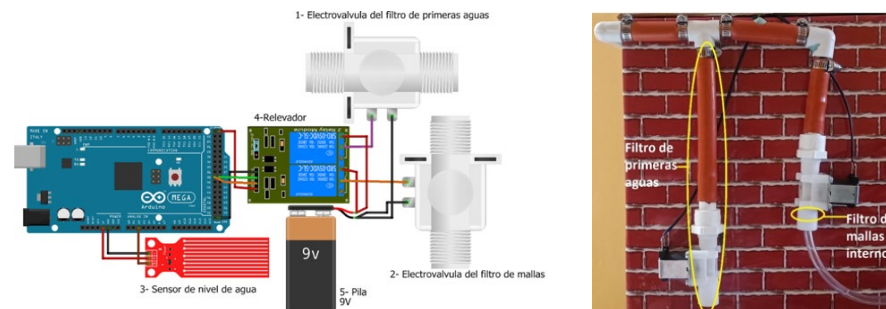
Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Diagrama de bloques del sistema de filtración.

Los componentes de la etapa de filtración son las siguientes:

- Electroválvula del filtro de primeras aguas.
- Electroválvula del filtro de mallas.
- Sensor de nivel de agua.
- Módulo relevador de dos canales.

Las conexiones de hardware, así como la implementación de esta etapa en el prototip se muestran en figura 4.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Etapa de filtración.

## Etapa de almacenamiento

El funcionamiento de esta etapa consiste en tomar la lectura de un sensor ultrasónico que permite medir el nivel en el cual se encuentra el tanque de almacenamiento con valores que van desde el 0% hasta el 100%, y mostrar al usuario dicha información de acuerdo con la tabla 2.

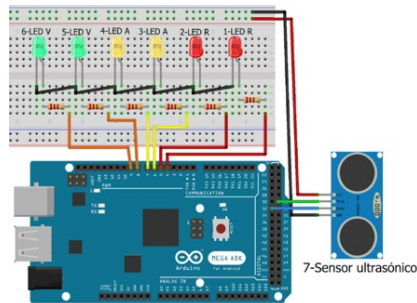
El diagrama de hardware de la etapa de almacenamiento, así como el tanque de almacenamiento y el circuito indicador de nivel del agua almacenada en el prototipo se muestran en la figura 5.



Tabla 2 Porcentaje de agua que representa cada led.

Color de led	Porcentaje de nivel de agua
Rojo 1	0%
Rojo 2	20%
Amarillo 1	40%
Amarillo 2	60%
Verde 1	80%
Verde 2	100%

Fuente: elaboración propia.



a) Diagrama de hardware.



b) Tanque de almacenamiento e indicador de nivel.

Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Etapa de almacenamiento.

## Desarrollo del software

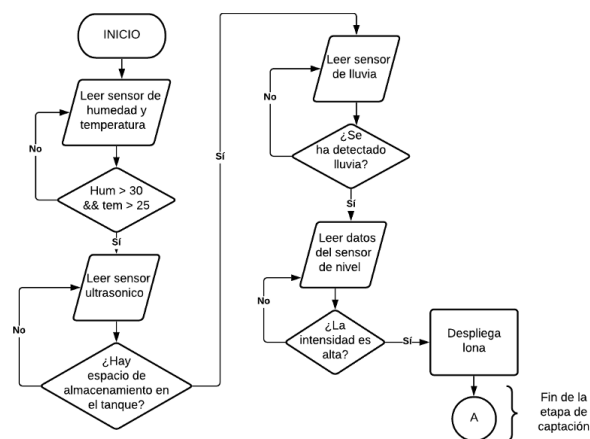
Se utilizó el modelo de desarrollo de software incremental, principalmente por la flexibilidad que tiene a los cambios en los requerimientos, es decir, después de hacer las pruebas al final de un incremento, se realiza la entrega al usuario para saber si habrá cambios, de lo contrario, se continúa con los siguientes incrementos. Lo anterior es necesario en el proyecto debido a que el sistema está dividido por etapas y, con cada incremento se gestionan los riesgos que se pudieran tener en cada una de ellas.

El sistema está compuesto por una interfaz donde el usuario puede interactuar con el prototipo, dicha interfaz cuenta con una pantalla de visualización, botones, interruptor e indicadores led. En la pantalla, el usuario puede observar diferentes parámetros de entrada como son: temperatura, humedad, intensidad de lluvia, nivel de agua en el tanque, nivel de agua en el filtro de primeras aguas e información adicional de cuando se detecta presencia de lluvia y cuando se despliega la lona de captación. Los indicadores led muestran si el sistema está encendido, si se está recogiendo la lona de captación y los diferentes niveles de agua del tanque de

almacenamiento. Por otro lado, se tiene un interruptor para encender y apagar el sistema de forma manual y un botón que acciona el mecanismo para enrollar la lona de captación.

### Diseño de software para la etapa de captación

La lógica de funcionamiento de esta etapa, mostrada en la figura 6, inicia con el sensor de temperatura y humedad, es necesario monitorear estos parámetros para conocer cómo se está comportando el clima. Para esto, en un ambiente real se considera que la temperatura esté por debajo de los 24 °C y la humedad sea mayor al 50%, estos valores fueron obtenidos con algunas pruebas realizadas con el sensor DHT11 en un clima lluvioso. Una vez que estos valores se cumplen, se realiza la lectura del sensor ultrasónico para conocer el nivel de agua en el tanque. Si el tanque tiene espacio de almacenamiento se lee la señal del sensor de lluvia y, si este detecta presencia de lluvia, se lee a continuación la señal del sensor de nivel. Cuando este último detecta una intensidad alta de lluvia, entonces se envía una señal de salida para que comience el proceso de despliegue de la lona de captación.



Fuente: elaboración propia.

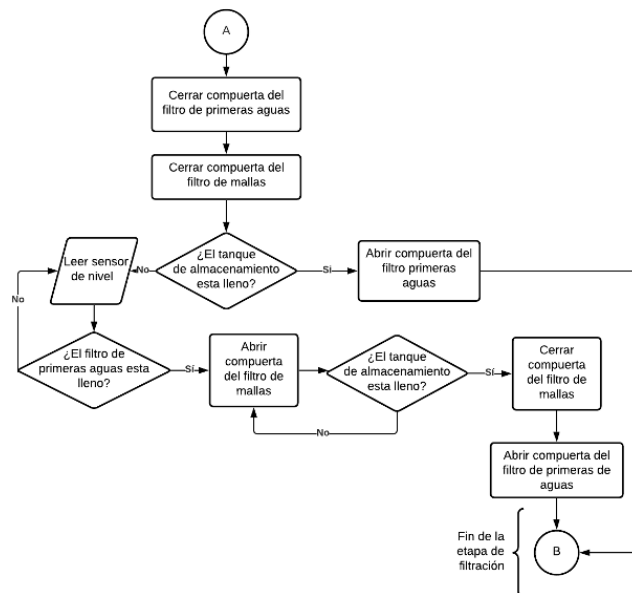
Figura 6 Diagrama de flujo de la etapa de captación.

### Diseño de software para la etapa de filtración

Esta etapa contiene dos filtros, iniciando con el filtro de primeras aguas, el cual permitirá almacenar la primera lluvia que cae sobre el sistema, ya que es la primera agua que caerá sobre la lona de captación, y esta se llevará los contaminantes que

podría tener incluso si han pasado días o meses sin llover. Después continúa el filtro de mallas, el cual internamente contiene una malla que permite eliminar pequeñas partículas contaminantes del agua. La lógica de funcionamiento comienza enviando señales para cerrar ambas compuertas de las electroválvulas y leyendo los datos del sensor ultrasónico para conocer el nivel del tanque de almacenamiento (Figura 7). Para esta lectura se pueden obtener tres respuestas:

- Si el tanque está lleno, abrirá la compuerta de la electroválvula del filtro de primeras aguas, para así desechar el agua de lluvia que se esté captando en ese momento.
- Si no está lleno el tanque, leerá el sensor de nivel para conocer el estado del filtro de primeras aguas, si este se encuentra lleno después de cierto tiempo transcurrido, se enviará una señal para abrir la compuerta del filtro de mallas para que el agua comience a ser almacenada en el tanque, es decir, comenzará a almacenar el agua.
- Finalmente, mientras el sensor de lluvia indique que sigue lloviendo y se llena el tanque, se enviará una señal para cerrar la compuerta del filtro de mallas y otra señal para abrir la compuerta del filtro de primeras aguas para liberar la lluvia que ya no será posible almacenar.

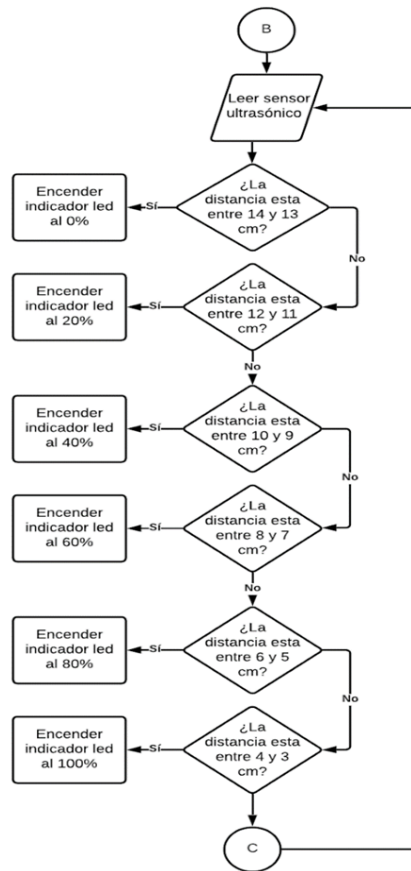


Fuente: elaboración propia.

Figura 7 Diagrama de flujo de la etapa de filtración.

## Diseño de software para la etapa de almacenamiento

El funcionamiento de la etapa de almacenamiento consiste en leer el sensor ultrasónico y, de acuerdo con los valores obtenidos, se enviará una señal para encender cada led que indicarán el nivel en el que se encuentre el tanque, los valores van del 0% al 100%, tal como se mencionó en la tabla 1. En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la lógica del funcionamiento.

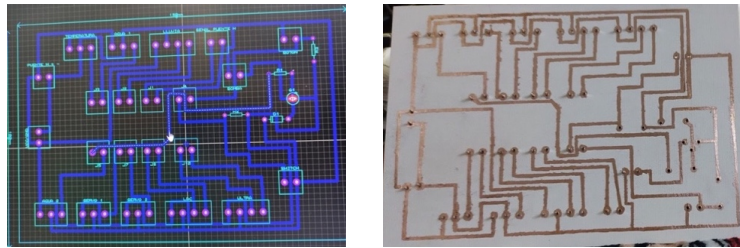


Fuente: elaboración propia.

Figura 8 Diagrama de flujo de la etapa de almacenamiento.

## 3. Resultados

Todo el hardware se construyó en una PCB (Printed Circuit Board). La placa está diseñada en el programa Proteus para recibir todas las señales de los diferentes componentes para mandarlas al Arduino AtMega 2560. El diseño de la placa se muestra en la figura 9.

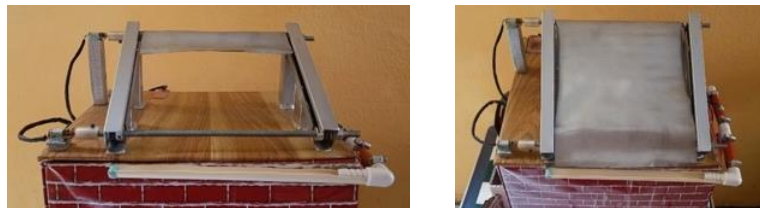


a) Diseño de PCB en Proteus. b) Pistas de la parte inferior de la placa.  
Fuente: elaboración propia.

Figura 9 Diseño de PCB.

El sistema puede ser instalado prácticamente en cualquier lugar de una vivienda o de un edificio siempre y cuando tenga las características necesarias de altura, dado que está diseñado para que el agua caiga por gravedad. El lugar más apropiado para el mismo puede ser el techo o bien, en un patio de servicio, de tal manera que el sistema pudiera incluso tener la función de proteger las cosas del patio o bien la ropa tendida, en caso de que repentinamente iniciara la lluvia. Para el prototipo construido, se supone que el sistema es instalado en el techo de la vivienda.

En la figura 10 se muestra el estado de la lona enrollada (a) y la lona desenrollada lista para captar el agua de lluvia (b).



a) Lona enrollada. b) Lona desplegada.  
Fuente: elaboración propia.

Figura 10 Estado de la lona para la captación de lluvia.

Fueron realizadas varias pruebas controladas de tal manera que se pudieran generar las diferentes condiciones planteadas en el diseño. Las pruebas se inician en la etapa de captación simulando las condiciones de lluvia para desplegar la lona y suponiendo que se tiene espacio de almacenamiento, estas condiciones son mostradas en la tabla 3. Cuando los valores se cumplen, se comienza a desenrollar la lona con la ayuda de dos motores calibrados para que funcionen el tiempo suficiente sin sobreestirar la lona. Al terminar de desenrollarse la lona comienza a

captar la lluvia, la cual pasa por una canaleta que guía el agua hacia la etapa de filtración, cuyo funcionamiento se activa de acuerdo con la tabla 4. Esta prueba fue realizada vertiendo agua a la lona desplegada del prototipo el tiempo suficiente hasta llenar el tanque de almacenamiento.

Tabla 3 Condiciones para desplegar la lona.

Estado de los sensores	Acciones a seguir	Estado de la lona
Sensor de humedad mayor al 50% y sensor de temperatura menor a 24 °C.	Se va a revisar el sensor de nivel del tanque de almacenamiento.	Sin desplegar
El sensor de nivel detecta que existe espacio de almacenamiento en el tanque.	Se va a revisar si existe presencia de lluvia.	Sin desplegar
El sensor de lluvia detecta la presencia de lluvia.	Se va a revisar que la lluvia sea de alta intensidad.	Sin desplegar
El sensor de nivel de lluvia detecta que se tenga una intensidad alta.	Se activa el accionamiento para desplegar la lona.	Se despliega

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4 Condiciones de funcionamiento de la etapa de filtración.

Estado de los sensores	Acciones a seguir	Estado de la lona
Filtro de primeras aguas lleno.	La compuerta del filtro de mallas se abre.	Lona desplegada.
Filtro de mallas abierto.	Revisa el tanque de almacenamiento.	Lona desplegada.
Nivel de tanque de almacenamiento lleno.	Cierra la compuerta del filtro de mallas y abre el del filtro de primeras aguas, para liberar el agua que ya no puede ser almacenada.	Lona desplegada.

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que el filtro de mallas cuenta con una malla interna que tiene como función impedir el paso de pequeños contaminantes al tanque de almacenamiento. El sensor ultrasónico instalado en el tanque de almacenamiento monitorea los niveles de agua mandando una señal cada dos segundos mientras la lona está desplegada, el resultado de dicha señal se verá reflejada en el indicador de leds. Cuando el tanque se llena, se libera el agua que no será almacenada a donde pueda ser aprovechada, por ejemplo, en el jardín.

Ahora bien, al recrear la situación de cuando la lluvia cesa y el tanque de almacenamiento aún no está lleno, el filtro de primeras aguas desecha la lluvia almacenada para comenzar de nuevo el proceso de recolección de lluvia. La lona sigue desplegada por un cierto tiempo, esperando a que pueda escurrir el agua que

haya quedado y después pueda ser enrollada. El tanque de almacenamiento, como se mencionó anteriormente, cuenta con un sensor que manda la señal a un visualizador construido con leds y programado para que se pueda observar el estado en el que se encuentra el tanque.

La interfaz que permite monitorear el sistema está constituida mediante una pantalla LCD como se muestra en la figura 11. A través de esta pantalla, el usuario conoce el estado del clima en el que se encuentra el ambiente, si está lloviendo o no y el momento en el que la lona está desplegándose o enrollándose. Esta interfaz de usuario también cuenta con interruptores, así como con un botón que tienen la función de encender y apagar el sistema para desplegar o enrollar la lona de captación de acuerdo con las necesidades del usuario. La figura 12 muestra una imagen del prototipo completo. Se tiene la vista frontal del prototipo (Figura 12a), donde en la parte superior se observa el sistema de captación, en la izquierda el sistema de almacenamiento y en frente la interfaz del usuario. En figura 2b se muestra desde otro ángulo la otra parte del prototipo donde se puede observar en la parte lateral superior las canaletas del sistema de captación y en la parte frontal se muestra el sistema de filtración, teniendo en cuenta que a la izquierda se encuentra el filtro de primeras aguas y a la derecha el filtro de mallas.



*Fuente: elaboración propia.*

Figura 11 Interfaz de usuario.



a) Vista frontal del prototipo. b) Vista lateral del prototipo.

*Fuente: elaboración propia.*

Figura 12 Prototipo completo del sistema de reciclado de aguas de lluvia.

## **4. Discusión**

Es evidente la preocupación que existe a nivel mundial debido a la escasez de agua dulce, en parte por el crecimiento poblacional, la contaminación, el calentamiento global, entre otros factores

Existen ciudades cuyas reservas de agua como lo son los mantos acuíferos, presas o pozos, cada vez sufren de mayor estrés hídrico, es decir, se encuentran sobreexplotados, causando que la ciudadanía no cuente con el debido abastecimiento y, por lo tanto, surge la necesidad de buscar alternativas que permitan contar con este vital recurso.

El prototipo propuesto en el presente trabajo permite aportar a la disponibilidad y el acceso al servicio de agua en las viviendas, contribuyendo a su vez a propiciar orientaciones para tomar medidas de tal manera que las ciudades puedan asegurar de una manera eficaz el acceso a los servicios básicos, asequibles y sostenibles para todos, y con esto, incorporar medidas que permitan la disminución del cambio climático, objetivos planteados por la ONU desde el 2015.

Si bien el sistema presentado es un prototipo, permite simular de manera realista el comportamiento de este. Sin embargo, es necesario realizar más estudios que permitan:

- Obtener los datos promedio de la cantidad de agua pluvial que se puede recolectar de forma anual de acuerdo con la ubicación geográfica de la vivienda donde esté instalado el sistema.
- Contar con pruebas que permitan conocer la calidad del agua recolectada, para poder buscar alternativas tanto de otros usos dentro de la vivienda, como de almacenamiento por más tiempo de esta.
- Poder llevar a cabo el diseño e implementación del sistema en un ambiente real, permitiendo realizar el análisis del costo-beneficio de este, aportando con mayor claridad sobre los beneficios que puede llegar a tener.
- Inclusive se podría escalar el diseño de tal manera que pueda ser instalado en edificios más grandes como instituciones educativas, hospitales, empresas, hoteles, etc.



## 5. Conclusiones

En el presente trabajo, se desarrolló un prototipo de un sistema automatizado que permite la recolección de aguas pluviales, el cual puede recolectar, filtrar y almacenar este vital recurso, lo que permitiría usarlo en tareas donde el agua potable no sea estrictamente necesaria, y con esto disminuir la demanda de la misma, permitiendo un mejor aprovechamiento.

Este diseño, permite innovar los sistemas de recolección de aguas pluviales rudimentarios existentes en las viviendas, al combinar elementos tecnológicos que permiten su automatización. Además, la falta de mantenimiento de los techos de muchas de las viviendas no permite que se use este como medio de captación, de tal manera que, de las principales aportaciones del sistema, está el hecho de que requiere del despliegue de una lona que forma parte de la infraestructura, permitiendo a los usuarios contar con:

- Una protección extra de sus techos, reduciendo el mantenimiento de los mismos en la zona cubierta.
- La protección contra la filtración del agua al interior de la vivienda debido a grietas.
- La posibilidad de desplegar el sistema incluso para cubrir la superficie del sol.
- Proteger las cosas que el usuario no quiera que se mojen.

Los resultados del presente trabajo cumplieron los objetivos planteados, cubriendo la necesidad que se tiene en la actualidad de contar con nuevas alternativas para el cuidado del agua potable, reduciendo su sobreexplotación, ayudando al cuidado de este vital recurso y reduciendo con esto, la huella ecológica producida, objetivos planteados por la Organización de las Naciones Unidas.

## 6. Bibliografía y Referencias

- [1] Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia, 2020. *Journal of Cleaner Production*, 270, Artículo 122437. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122437>.

- [2] Chiu, Y. R., Tsai, Y. L., & Chiang, Y. C. Designing Rainwater Harvesting Systems Cost-Effectively in an Urban Water-Energy Saving Scheme by Using a GIS-Simulation Based Design System. *Water* 2015, 7, 6285-6300. <https://doi.org/10.3390/w7116285>.
- [3] Gomes, A., Shetty, A., Wilson, C., & Sravani, V. Internet of Things based Rainwater Harvesting and Distribution Management System through Mobile Application. International Conference for Advancement in Technology (ICONAT), Goa, India, 2023. Pp. 1-5, doi: 10.1109/ICONAT57137.2023.10080094.
- [4] Hugues, R.T. La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 2019. 40(2), 125-139. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=es).
- [5] Kolavani, N. J. Technical feasibility analysis of rainwater harvesting system implementation for domestic use. *Sustainable Cities and Society*, 2020. 62, Artículo102340. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102340>.
- [6] Pushpa, R. K., Krishna, S., A. Jyothianvitha, M. A., I. Mamatha & G. Rajesh. Rain Water Harvesting for Smart Water Management Using IoT. 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Madurai, India, 2021. Pp. 475-478, doi:10.1109/ICICCS51141.2021.9432365.
- [7] Méndez, M.C. El Agua Dulce, un recurso geoestratégico visto desde la perspectiva de la hidropolítica. *Multiverso Journal* 2023. 3(4), 20-28. <https://doi.org/10.46502/issn.2792-3681/2023.4.2>.
- [8] Organización de las Naciones Unidas (ONU) & El Departamento para los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Objetivos de Desarrollo Sostenible* 2023. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.
- [9] Rodrigues, A.C., Mendonça, A., Perrella, J.A., & Nogueira, M.R. Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 2022. 76, Artículo 103475 <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103475>.

- [10] Shadmehri, A., Danesh, S., Ghasemi, E., & Doulabian, S. Annual and seasonal reliability of urban rainwater harvesting system under climate change. *Sustainable Cities and Society*, 2020. 63, Artículo 102427. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102427>.
- [11] Sheikh, V. Perception of domestic rainwater harvesting by Iranian citizens. *Sustainable Cities and Society*, 2020. 60, Artículo 102278. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102278>.
- [12] Torres, H.R., & Fresquet, A.L. Captación de Lluvia para descarga de inodoros en edificio alto en el Vedado, La Habana, Cuba, 2019. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(1), 122-135. ISSN 1680-0338.
- [13] Vardhman, R., Moldireddy, V. R., Mohd, I., & Neetu, J. The Internet of Things (IOT) Based Smart Rain Water Harvesting System. 6th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), Noida, India, 2020. Pp. 302-305, doi: 10.1109/ICSC48311.2020.9182767.