UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Boletín Ambiental

Fotografía: vivienda caso de estudio
Fuente: propia

Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Sede Manizales

218 | agosto de 2024

Sistema de recolección y potabilización de aguas lluvias para residencias urbanas de Manizales

IDEA
Instituto de Estudios Ambientales

Sistema de recolección y potabilización de aguas lluvias para residencias urbanas de Manizales

Juan Pablo Gómez Hernández. Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales
juapgomezher@unal.edu.co

Jesús David Quintero Arias. Departamento de Ingeniería Química
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales
jdquinteroa@unal.edu.co

Freddy Leonardo Franco Idarraga. Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales
flfrancoi@unal.edu.co

RESUMEN

En 2011 se evidenció la fragilidad del sistema de suministro de agua en Manizales, que, al depender de un solo método de suministro de líquido, se configura en un riesgo de escasez; gestionarlo puede hacerse mediante reducción de la vulnerabilidad al diversificar el suministro. Aquí se presenta un sistema de recolección de agua lluvia o Rainwater Harvesting System (RWHS) que puede emplearse en viviendas urbanas de Manizales y Villamaría, basándose en un análisis hidrológico de la precipitación local, validado con un prototipo construido en la zona de menores lluvias; sistema al que se le incluyeron los tratamientos necesarios para retirar suciedad, material particulado atmosférico —incluso micrométrico—, adsorber posibles tóxicos y desinfectar, haciendo potable el líquido, y evitando el uso de insumos químicos, además de dotarlo de sensores para mantener controlados los parámetros de calidad en una interfase al teléfono celular y compensar la energía de todo el sistema mediante celdas fotovoltaicas.

Palabras Clave: aprovechamiento de agua lluvia, escasez hídrica, precipitación, RWHS, sostenibilidad

1. Introducción

Diversas civilizaciones: romanos, persas, mayas, etc. recolectaban lluvia como medida para hacer frente a la escasez de agua, estableciendo los fundamentos de las prácticas modernas (Ballén Suárez et al., 2006). En Manizales, Caldas, sus habitantes debieron optar por esta medida, cuando en octubre de 2011 estuvieron 17 días sin servicio de acueducto debido a un deslizamiento que provocó una avenida torrencial que arrasó con las tuberías que llevan el agua potable de las plantas “Luis Prieto Gómez I y II” a los tanques de distribución; mientras una tercera planta “Niza” estaba en repotenciación justo en ese momento.

Interrupción que obligó a los habitantes a racionar el agua en niveles nunca vistos, suplirse con camiones cisterna, manantiales, y por supuesto, aguas lluvias; el sistema se recuperó, "Aguas de Manizales S.A. E.S.P." presta un servicio público de alta calidad al tomar el líquido de la cuenca Chinchiná e innovar en su tratamiento empleando aguas termales (por el sulfato de aluminio que estas traen) entre otros químicos, cumple con todos los estándares de calidad e, incluso, ha ganado premios a la excelencia (Aguas de Manizales, 2023). El evento de 2011 evidenció la vulnerabilidad del sistema de acueducto y generó preocupaciones sobre la fiabilidad y futuro suministro, no solo por posibles daños en las redes, sino, por la capacidad de la cuenca para suplir la creciente demanda de la ciudad con su incremento poblacional, industrial y comercial.

En la tesis de Maestría en Ingeniería en Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, *Alternativa Domótica para el Suministro de Agua Lluvia en Residencias Urbanas de Manizales*, autoría del ingeniero civil Juan Pablo Gómez Hernández, se desarrolló un sistema de captura de aguas pluviales o RWHS (Rainwater Harvesting System) basado en un análisis hidrológico de los patrones locales de precipitación, por lo que puede ser implementado en cualquier punto de la zona urbana de Manizales y Villamaría (municipio conurbado). Validándose con un prototipo construido en una vivienda al suroriente de la ciudad, al que se le incluyeron los tratamientos necesarios para potabilizar el líquido -evitando el uso de químicos- y dotándolo de sensores para realizarle seguimiento a los parámetros de calidad y paneles solares para compensar el consumo eléctrico.

Este sistema alternativo de abastecimiento de agua para el entorno urbano de Manizales tiene como propósito fundamental mitigar, al menos parcialmente, el riesgo de escasez al diversificar las fuentes de suministro, de paso haciendo conscientes a los usuarios del sistema, de la fuente, el tratamiento y por ende del consumo del agua, para de esta manera contribuir a la conservación del recurso y el cuidado de los cuerpos hídricos.

2. Metodología

2.1 Área de estudio y oferta pluvial

Manizales (Caldas), ubicada en la región andina colombiana, sobre la cordillera Central en su vertiente hacia el río Cauca, tiene una buena cantidad de estaciones meteorológicas agrupadas en el Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas (SIMAC) (https://cdiac.manizales.unal.edu.co/geoportal-simac/); al estudiar la caída de lluvias de 2015 a 2021, se identificaron magnitudes (ver Figura 1), donde, para el mayor nivel se consideran representativos los datos de la estación La Palma, para los valores medios la estación Posgrados y para las magnitudes menores la estación La Nubia; pauta que se sigue cumpliendo aun en las típicas temporadas de más precipitaciones de los Andes colombianos, cuyo patrón bimodal muestra mayores lluvias en los meses de abril a mayo y de octubre a noviembre (Vélez Upegui et al., 2015).

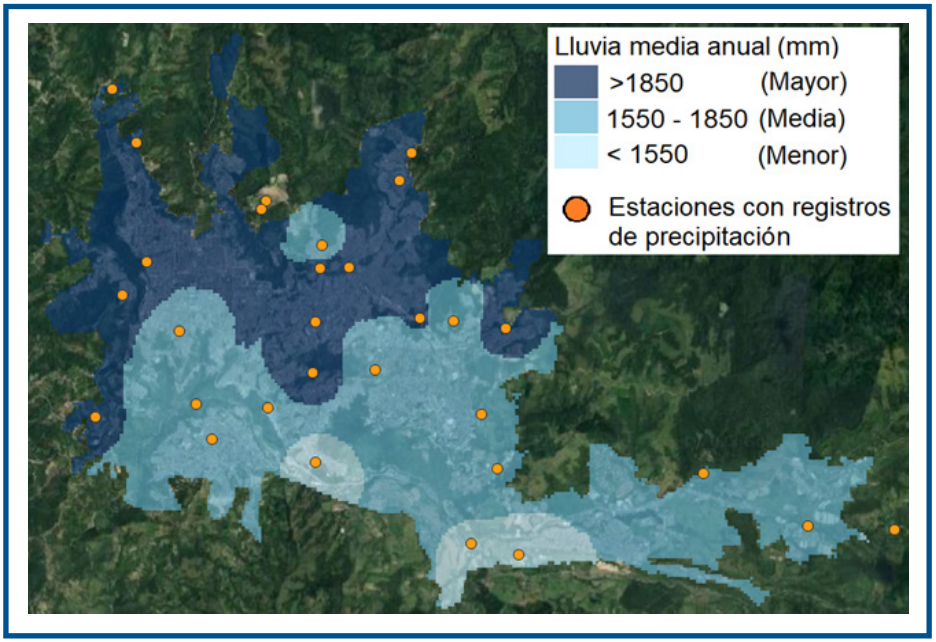

Figura 1. Mapa de isoyetas para la zona urbana de Manizales y Villamaría, lluvias de 2015 a 2021
Fuente: propia, adaptando imagen Google Earth, 2022

Mapa de isoyetas simplificado a tres niveles de precipitación, superpuesto en una imagen satelital de Manizales y Villamaría que ayuda a conocer la precipitación en cualquier parte de la ciudad y, en este caso, para la ubicación del prototipo del sistema RWHS construido al suroriente (X= -75,473083, Y= 5,035052 - WGS84).

2.2 Demanda hídrica en el prototipo

Para construir el prototipo se determinó la demanda de agua de los habitantes de la vivienda escogida, aplicando los valores de dotación neta máxima estipulados en la norma colombiana (Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) 2000 con su actualización de 2017), donde para el caso de Manizales, ubicada a más de 2000 ms.n.m. establece 120 l/hab×día, valor menor a la verdadera demanda promedio según los registros facturados por la empresa de acueducto en 150 l/hab×día.

Para ubicar los tanques de almacenamiento en la vivienda y buscando maximizar el volumen de agua acopiada, se eligió el patio de ropas y un espacio anexo a la buhardilla; se consideraron las dimensiones de estos espacios y las de los tanques disponibles en el mercado, se trazaron alternativas para escoger las mejor adaptadas y, además, para no alterar la estética de la vivienda o las cargas estructurales en esta. (ver Figura 2).

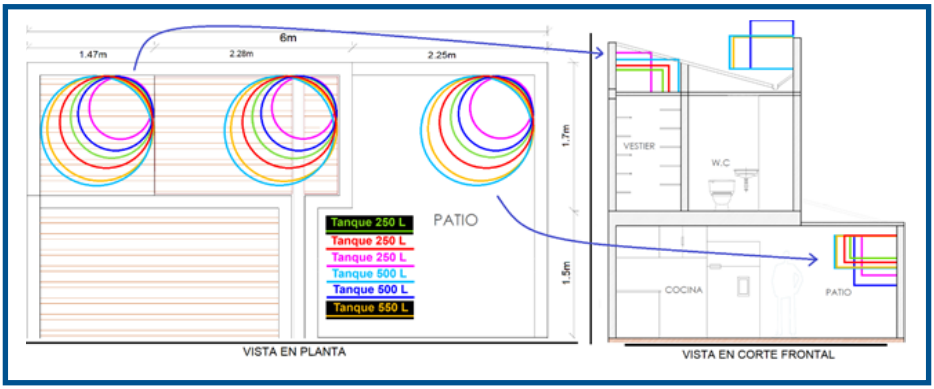

Figura 2. Análisis de áreas y volúmenes para ubicación del almacenamiento en el sistema RWHS
Fuente: propia

Para calcular la capacidad de suministro de agua mediante el RWHS (ver Tabla 1) se toma la magnitud del dato meteorológico (columna 1) y junto con el área de captación del prototipo (columna 2), se reemplazan en la ecuación del método racional, sin tener en cuenta el factor de conversión, para obtener el volumen (columna 3) (Chow et al., 1993). Luego, se establece el volumen de almacenamiento que se puede disponer en la vivienda como un máximo teórico, y se le reduce a cada evento el volumen para la separación de las primeras aguas (columnas 4 a 6). Al valor obtenido se le reduce la dotación por habitante, resultando en el volumen de agua que puede suministrar el sistema a la vivienda (columnas 7 y 8). Es importante destacar que, un sistema de estos, por tratarse de una escala micro, no impacta negativamente el ciclo hidrológico de la cuenca.

Tabla 1. Cálculo de capacidad de suministro de un RWHS con separador de primeras aguas
Fuente: propia

Serie de datos		Área de captación	Volumen captado	Límites de almacenamiento			Capacidad de suministro	
1		2	3	4	5	6	7	8
	(mm)	(m^2)	(l)	(l)			(l)	
13/08/1992	2,9	19.65	51,28	21,28	21,28	21,28	0	21,28
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12/08/2022	0	19.65	0	-30	0	0	0	0
13/08/2022	11	19.65	194,53	164,53	164,53	164,53	0	164,53

2.3 Calidad del agua lluvia cruda

La proximidad de Manizales al Parque Nacional Natural Los Nevados (PNNN) y, específicamente, al volcán Nevado del Ruiz, hace normal la presencia de gases sulfurados y material particulado en la atmósfera local, lo que contribuye a una mayor acidez de lo normal en la lluvia por CO_2, dándose valores promedio de pH = 4.9; situación a la que se le deben sumar los contaminantes provenien-

tes de las chimeneas de fábricas y del intenso tráfico vehicular característico de las áreas urbanas (González & Aristizábal, 2012).

Como resultado de esto, los niveles de material particulado PM_{10} (tamaño igual o superior a 10 micrómetros), medidos en la estación de calidad del aire del campus La Nubia de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales —estación cercana al prototipo— (ver Figura 1), oscilan entre 23 y 26 microgramos por metro cúbico de aire. Valores por debajo del límite máximo de 45 microgramos por metro cúbico establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para salvaguardar la salud humana (González Duque, 2012; OMS, 2021), pero que en el agua lluvia implica material sedimentable a ser retirado en la potabilización.

2.4 Características del prototipo construido de RWHS

• Dos habitantes en la vivienda (dos usuarios del sistema) y un consumo de 7.2 m^3 mensual según (Res.0330, 2017), pero en verdad un promedio registrado por la empresa de acueducto de 9.4 m^3/mes.

• Dos cubiertas apropiadas para captación de agua lluvia: 12.45 m^2 y 7.2 m^2 (marquesina del patio de ropas) para un total de 19.65 m^2 de área de recogida de lluvias, valor pequeño según usuales tamaños de casas.

• Por espacios disponibles y para no alterar el aspecto estético de la vivienda (ver Figura 2) se optó por un volumen de 1000 l para almacenamiento, dividido en un tanque comercial de 500 l y dos tanques de 250 l.

• Para equiparar las presiones con el acueducto público, se escogió un sistema de impulsión de 56 P.S.I.

• Como limpieza inicial del agua, dadas las hojas, ramas, plumas, sedimentos etc. que se arrastran de los techos en los primeros minutos de las lluvias, se instalaron dos mecanismos de recepción de primeras lluvias con capacidad de

1 l/m² según describe la guía de diseño (UNAH, 2013). Tuberías horizontal y vertical bajo los tejados (ver Figura 3) con facilidad para drenar el agua y descolmatar la suciedad retenida, con lo cual se aumenta la vida útil de los procesos posteriores al espaciar sus mantenimientos.

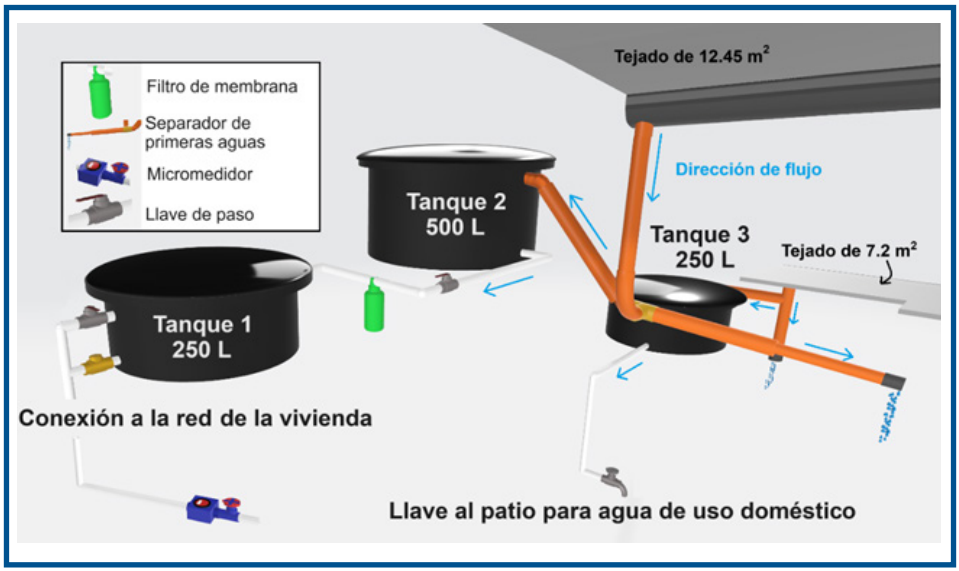

Figura 3. RWHS prototipo esquematizado en tridimensional
Fuente: propia

• Al llenarse los separadores de primeras aguas, un cierre automático redirige el agua a los tanques 2 y 3, según vengan de los tejados de mayor y menor área (ver Figura 3), ingresando a los depósitos tras atravesar una membrana en cada recipiente sedimentador. Esta tela retiene gran cantidad de sólidos, por lo que debe lavarse con cierta frecuencia.

• El agua del tanque 2 (ver Figura 3) sale por la parte inferior y pasa por un cartucho de filtración con una membrana de retención de partículas de hasta una

micra para llegar al tanque 1 donde se desinfecta con luz ultravioleta con una lámpara tubo fluorescente (tipo T8, diámetro 15 mm y rango de voltaje 47 a 67 V). Proceso ventajoso frente a otros métodos, incluido el uso de cloro porque no requiere mantenimiento frecuente y ajustes a la dosis, sin introducir químicos al agua con el riesgo de hacerla tóxica, endurecerla, fuera del obvio costo (Tucto Cueva, 2020). Líquido que al ser potable se conecta con impulsión a la red de la vivienda.

•Por último, el agua lluvia proveniente del tejado más pequeño sale por la parte inferior del tanque 3 (ver Figura 3) con solo destinación doméstica de lavado, riego de jardines, etc., evasión de la microfiltración, carbón activado y desinfección que alarga la vida útil de los cartuchos al usarse solo para agua potable.

2.5 Análisis de calidad del agua lluvia potabilizada

Para evaluar la calidad del agua lluvia y verificar el rendimiento del sistema de tratamiento se tomaron muestras del agua lluvia cruda, el agua tratada por el sistema, y para fines comparativos, del acueducto público municipal; muestras ensayadas con las facilidades y colaboración del Laboratorio de Materiales y Procesos Reactivos (LM&PR), grupo de investigación en Procesos Reactivos Intensificados y Materiales Avanzados (PRISMA) y el Laboratorio de Química de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Mediciones que siguieron las indicaciones del "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (Bridgewater et al., 2017) y de la Resolución 2115 de 2007, para el control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Se cumplió con todos los estándares, incluso superando la calidad del agua del sistema público, al no emplear insumos químicos en su potabilización.

2.6 Compensación energética del RWHS construido

Al instalar una lámpara de luz ultravioleta, un sistema de impulsión del agua, sensores y dispositivos domóticos para controlar la calidad del agua, se aumentó el consumo de energía eléctrica en la vivienda; para compensarlo se instalaron paneles solares cumpliendo los requisitos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) para las "energías limpias", además del aislamiento a tierra de todo el sistema (Resolución 90708, 2013); revisando y garantizando la estabilidad estructural de la vivienda y su cubierta ahora cargada con tanques de agua y paneles solares. La demanda energética promedio mensual de la vivienda según la facturación de la empresa de energía era de 100 kW/h. Tras la construcción del sistema de celdas fotovoltaicas con 8 paneles de 450 Wp (para una potencia máxima de 3600 Wp) y dos micro inversores con 4 puertos cada uno para conectar los paneles, se obtuvieron excedentes de energía que se exportan a la red pública interconectada. Sistema para el que se optó controlarlo a través de una unidad central de procesamiento para recopilar información en tiempo real y una interfaz electrónica de visualización de estos datos.

3. Resultados

3.1 Resultados hidrológicos

Se desarrolló un método para estimar qué cantidad de la demanda hídrica de las viviendas de la zona urbana de Manizales se puede satisfacer mediante un RWHS, construyendo un prototipo que satisfaga parcialmente dicha demanda, para responder a los desafíos planteados por (Marikyan et al., 2019) sobre la prevalencia de sistemas teóricos pero no implementados en la práctica; exponemos a continuación, la capacidad de suministro cuando varía la demanda hídrica, capacidad de almacenamiento y área de captación, empleando los datos representativos de la estación La Nubia (ver Figura 1). Así, la demanda teórica

según Res. 0330 de 2017, en una vivienda manizaleña de dos habitantes es de 120 l/hab×día o 7.3 m^3 promedio mensuales vs. el promedio real facturado por Aguas de Manizales a la vivienda donde se instaló el prototipo de 150 l/hab×día o 9.35 m^3 al mes; valores representados en la Figura 4 con líneas azul clara y oscura respectivamente, comparados con la oferta de lluvia en línea naranja. La brecha entre esta última y las columnas del suministro, corresponde al humedecimiento del tejado (factor reductor del método racional- Chow et al., 1993) y el volumen de los separadores de primeras aguas.

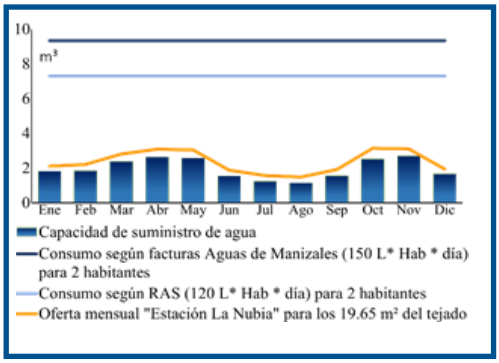

Figura 4. Relación entre suministro según RAS, el consumo promedio facturado y el suministro del RWHS. Fuente: propia

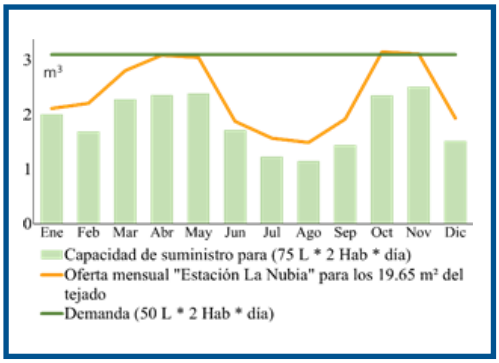

Figura 5. Gestión de la escasez por suspensión del suministro, suplido por el suministro del RWHS. Fuente: propia

Considerando que, el sistema debe poder suplir de agua en casos de suspensión del servicio de suministro público, es decir, gestionar el riesgo de escasez, se planteó que los habitantes redujeran su consumo a 75 l/hab×día (ver Figura 5), con lo que el RWHS puede cubrir hasta el 78 % de la demanda en los meses de mayores magnitudes de lluvias y hasta un 36 % en agosto o temporada de menores magnitudes de lluvias en la ciudad.

Si se varía el volumen de almacenaje de agua pero sin modificar el número de residentes en la vivienda, ni el área de captación, como muestra la Figura 6, la

capacidad de suministro del RWHS no mejora significativamente por encima de un volumen de 500 l; comportamiento que se evidencia más, debido a las menores magnitudes de lluvias en los meses de julio y agosto, ya que es menos probable que los tanques se llenen por completo, es decir, que así haya más volumen de almacenamiento, si no llueve lo suficiente, los tanques no recogerán.

Pero si se varía el área de captación se observa un incremento para el mes más lluvioso (octubre) pudiéndose llegar a captar 3.9 m^3 en 30 m^2 (ver Figura 7); pero dado que, solo se cuenta con 19.65 m^2 el máximo captado es de 2.5 m^3. Así parezca que el crecimiento es lineal, revisando a detalle se observa que el gradiente de la capacidad de suministro entre 10 m^2 y 19.65 m^2 es mayor que entre este y 30 m^2.

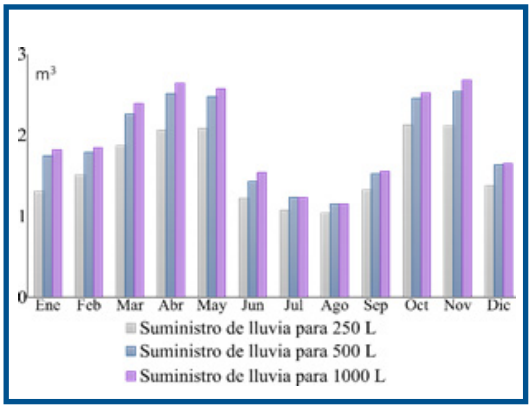

Figura 6. Suministro de lluvia para diferentes volúmenes de almacenamiento
Fuente: propia

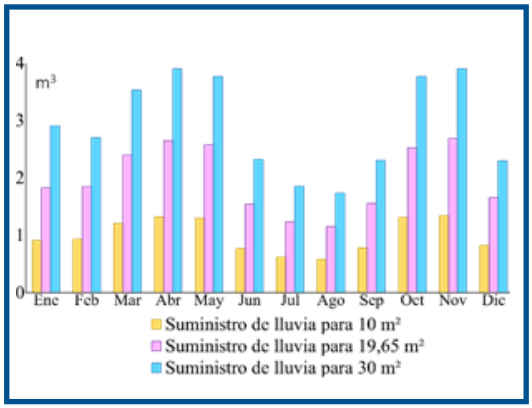

Figura 7. Suministro de lluvia para diferentes áreas de captación
Fuente: propia

3.2 Resultados microbiológicos, físicoquímicos y análisis del índice IRCA

Una comparación visual de los parámetros del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo Humano (IRCA) (Decreto 1575 de 2007) para tres muestras: agua lluvia bruta, agua lluvia tratada por el RWHS y agua del acueducto municipal se presenta en la Figura 8, usando una escala logarítmica donde valores por debajo de "1" indican que el parámetro supera el límite máximo permitido para agua potable, "1" representa lo exigido por el IRCA y valores por encima de "1" implican que en ese parámetro el agua está bajo lo exigido, es decir, no lo supera y es por ende, segura para consumo humano. Escala logarítmica cuyo rango de 0.1 a 100, permite ver con mejor precisión los valores que más se acercan al límite del IRCA para agua potable, aclarando que, aquellos parámetros que alcanzan el valor “100” se deben a las bajas concentraciones de elementos en la muestra, por lo que no es significativo poner el valor completo.

Así, la muestra de agua lluvia sin ningún tratamiento muestra parámetros con valores por debajo de "1", es decir, excede los límites establecidos por el IRCA en microorganismos heterótrofos y turbiedad, indicando que esta agua NO es apta para consumo humano. En contraste, la muestras de agua tratada en el RWHS y la del acueducto municipal muestran valores por encima de "1" o sea que están por debajo de los límites fijados en el índice IRCA, lo que confirma que el tratamiento del RWHS es efectivo para producir agua potable. Hay que destacar las menores concentraciones en: conductividad, aluminio, nitratos, hierro total, sulfatos, dureza total, magnesio, calcio, alcalinidad total y cloro residual libre del agua tratada mediante el RWHS, que en la provista por el acueducto de la ciudad.

Para monitorear constantemente los parámetros en el prototipo, se instaló una serie de sensores para medir cada cinco minutos: temperatura, pH, conductividad y solidos totales disueltos en el agua tratada; en caso de alterarse alguno

de los valores y superar el límite máximo del índice, emiten una notificación al usuario del sistema —vía teléfono celular—; en un año de funcionamiento del RWHS, al evaluar e inspeccionar los sensores, no emitieron alarmas, ni registraron datos que sobrepasaran los límites.

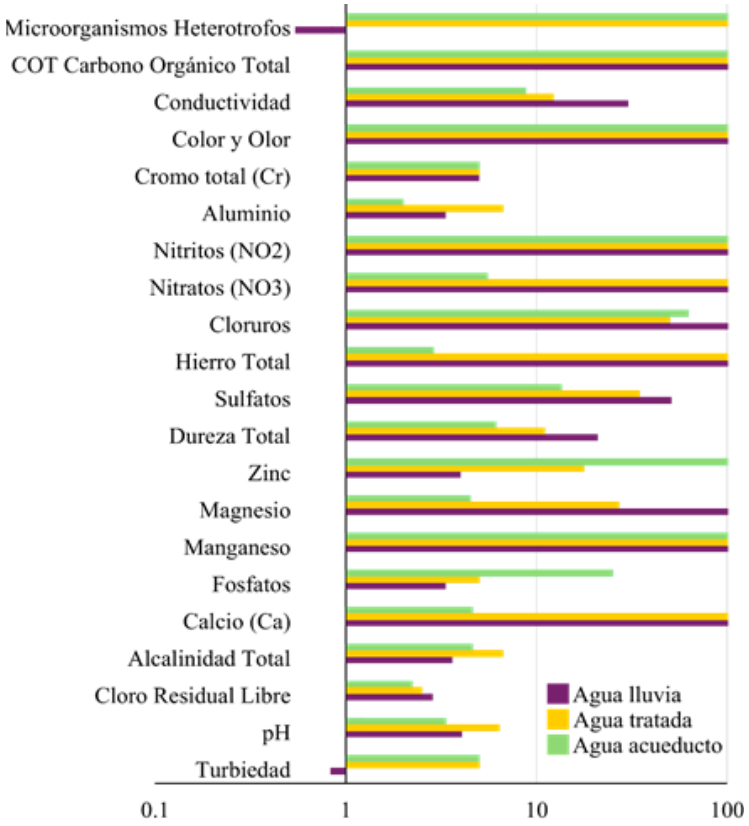

Figura 8. Mediciones del agua lluvia cruda y el agua tratada según el IRCA
Fuente: propia

3.3 Validación de la capacidad de suministro del RWHS

En la Figura 9 se registran el promedio de consumo mensual de 150 l/hab×día facturado por Aguas de Manizales antes de instalar el RWHS, el consumo máximo que se esperaría suplir con el RWHS y el valor mensual de agua registrada en el sistema tras un año (enero a diciembre de 2022) de funcionamiento. El volumen total anual de agua ahorrada fue de 55 m^3 lo que en promedio mensual equivale a 4.6 m^3, es decir, el 49 % de la demanda del mes.

Monitoreando el sistema de celdas fotovoltaicas, en la Figura 10 se observan las columnas verdes que representan la generación de energía, las columnas grises que muestran la demanda energética de la vivienda incluyendo el RWHS y las amarillas inferiores que muestran la cantidad de energía vendida a la red pública, en la que el retorno mensual por la energía producida compensa la totalidad del costo de la factura.

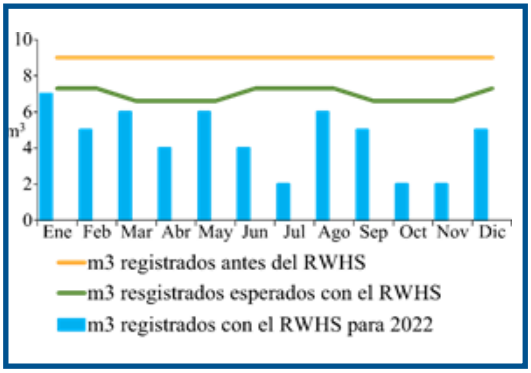

Figura 9. Consumo anterior, proyectado con RWHS y real registrado con el RWHS. Fuente: propia

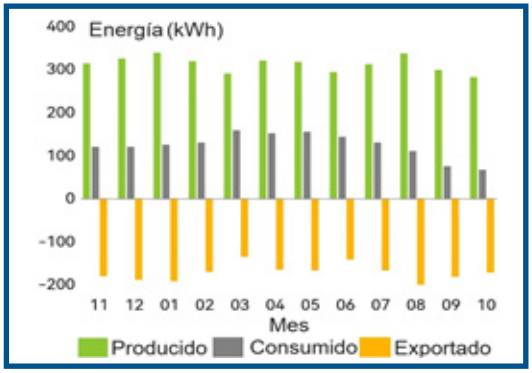

Figura 10. Generación, consumo y exportación de energía. Fuente: propia

4. Discusión

Se proporciona a los habitantes de Manizales y Villamaría el mapa de isoyetas con el cual identificar las magnitudes de lluvia en su zona de habitación; pudiendo ser más rigurosos en los cálculos de otros posibles RWHS especificando las estaciones del SIMAC más cercanas a la vivienda a utilizar. No obstante, es un trabajo adaptable a otros lugares en los cuales se tengan series de precipitación adecuadas para cálculo.

Habiendo estudiado dos tipos de demanda: una teórica (normativa) y otra real (facturada) (ver Figura 4, líneas azules) y, al comparar con el volumen calculado que en promedio mensual el sistema podría suministrar, se puede asumir que, con un consumo menor se cubriría un mayor porcentaje de la demanda. Es tentador generar cálculos basados en consumos disminuidos, ya que podría ofrecer mejores proyecciones, pero en realidad es mejor trabajar con un histórico de consumos facturado, aunque esto resulte en proyecciones menos satisfactorias.

El prototipo fue construido en una vivienda cuya disposición física limitó el área de captación a menos de 20 m², dado que la vivienda está ubicada en una zona de bajas precipitaciones y es habitada por solo dos personas; cuando las lluvias son intensas y continuas, el ritmo de consumo puede ser menor a la velocidad de llenado de los tanques, lo que resulta en pérdida de capacidad de almacenamiento. Aun así, el sistema superó las expectativas al reducir, incluso, el consumo de agua, tanto de forma directa mediante la recolección, como indirectamente, al concientizar a los usuarios al ver que los depósitos llenos se vaciaban en cortos lapsos de tiempo con su uso.

Si bien, se dice en este trabajo, que un almacenamiento superior a 500 l no implica una mejora sustancial en la capacidad de suministro del sistema (ver Figura 6), se aplica para el caso de dos (2) habitantes y el área de captación empleado; mayores áreas, más usuarios y más capacidad de almacenamiento

darán lugar a otros volúmenes de almacenamiento óptimos. En este caso se optó finalmente por por 1000 l para construir el prototipo por el tratamiento del agua: clarificación de una porción para uso doméstico y potabilización de otra porción, que al exigir etapas adicionales de procesamiento aumentó indirectamente la capacidad de almacenamiento.

En el agua lluvia sin procesamiento la turbidez se debe al material particulado en la atmósfera de Manizales, proveniente principalmente del volcán, de los procesos fabriles y del flujo vehicular; pero tras el tren de tratamiento implementado en el prototipo, ningún elemento previsto en el IRCA supera el 5 % confirmando su potabilidad. Sin embargo, en cloruros, zinc y fosfatos resultaron mayores las mediciones en el agua tratada por el RWHS que en la muestra del acueducto, quizá debido a que las membranas y filtro de 1 micra se lavaron con agua del acueducto que en su tratamiento usa sulfato de aluminio, cloro, etc.

El filtro de carbón activado y la luz ultravioleta culminaron el tratamiento eliminando las dioxinas y furanos presentes en el agua atmosférica de la ciudad y eliminando microorganismos heterótrofos, sin el empleo de químicos tóxicos como cloro.

El sistema de paneles fotovoltaicos superó el objetivo establecido en este trabajo, ya que no solo satisfizo la demanda energética del RWHS, sino también, las necesidades de la vivienda, lo que generó excedentes vendibles a la electrificadora, que al comprarla, la considera una energía “limpia” con altos estándares de calidad (CHEC.E.S.P, 2023).

5. Conclusiones

Este trabajo muestra que es posible captar el agua lluvia y procesarla tanto para uso doméstico como potable a escala de vivienda; que por tratarse de una

escala micro no impacta negativamente el ciclo hidrológico de la cuenca, sino que, incluso reduciría la extracción en cuerpos de agua y ayudaría a regular la escorrentía urbana que de otra forma llegaría a las alcantarillas saturándolas; por lo que se le da un buen uso al agua, se le desinfecta sin químicos y se promueve el uso de energías renovables.

El proyecto plantea una oportunidad de negocio, que ofrece la construcción de un sistema adaptado a otras viviendas bajo supervisión profesional y garantiza calidad en los procesos del tren de tratamientos que se solicite, proporcionando una alternativa al suministro usual de agua potable por una red pública. Deberá buscarse una optimización de los costos que pueden resultar elevados. Los procesos de tratamiento modificaron la calidad del agua de lluvia, convirtiéndola en un líquido potable de excelente calidad, comparable con el agua del acueducto público de la ciudad e incluso en algunos parámetros (aluminio, dureza total, magnesio y sulfatos) con concentraciones menores, lo que puede atraer a las personas interesadas en consumir un agua más pura o, por lo menos, sin empleo de químicos en su procesamiento.

Los resultados del tratamiento respaldan la eficacia del sistema, puesto que los valores resultantes tras analizar el agua fueron menores que aquellos fijados por el índice IRCA como riesgosos para el consumo humano, y proporcionan una base sólida para la implantación de este sistema de aprovechamiento del recurso hídrico en otras partes de la ciudad y el país.

Referencias

Aguas de Manizales. (2022). Conozca su Factura. https://www.aguasdemanizales.com.co/Aguas-de-Manizales-SA-ESP

Aguas de Manizales. (2023). Informes calidad de agua promedio mensual (23–504; p. 1). Aguas de Manizales S.A.S. https://www.aguasdemanizales.com.co/Aguas-de-Manizales-SA-ESP/Transparencia

Ballén Suárez, J. A., Galarza García, M. Á., & Ortiz Mosquera, R. O. (2006). History of rainwater harvesting systems. International Symposium on Hydraulic Structures - XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.

Bridgewater, L. L., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation, Eds.; 23rd edition). American Public Health Association.

CHEC.E.S.P. (2023). Chec.com [Text]. Chec.com. https://www.Chec.com/
Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1993). Hidrología aplicada. McGraw-Hill.

González, C. M., & Aristizábal, B. H. (2012). Acid rain and particulate matter dynamics in a mid-sized Andean city: The effect of rain intensity on ion scavenging. Atmospheric Environment, 60, 164–171. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.054

González Duque, C. M. (2012). Calidad del aire en la zona centro y oriente de la ciudad de Manizales: Influencia del material particulado (pm10) y lluvia ácida [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9864

Google Earth. (2022). Google Earth. https://earth.google.com/web

Marikyan, D., Papagiannidis, S., & Alamanos, E. (2019). A systematic review of the smart home literature: A user perspective. Technological Forecasting and Social Change, 138, 139–154. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.015

OMS. (2021, septiembre 22). Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, Pub. L. No. 90708 (2013). https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS, 0330 182 (2017). https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras

Resolución 2115, 2115 18 (2007). https://www.minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007

Roncancio Rubio, D. N., & lain D., S. (2021). Mapas climáticos urbanos para la planificación ambiental en Manizales, Colombia (Boletín Ambiental 182; p. 26). Instituto de Estudios Ambientales IDEA. https://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/boletines_ambientales/boletin_182.pdf

SIMAC. (2022). Geoportal-SIMAC. https://cdiac.manizales.unal.edu.co/geoportal-simac/

Tucto Cueva, E. (2020). Eficiencia de filtros en la potabilización de agua en zonas rurales. Repositorio Institucional – UCS. https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1466

UNAH. (2013). Guía de diseño de sistema de cosecha de agua lluvia para consumo humano, Proyecto del Fondo de Adaptación, Honduras. Proyecto del Fondo de Adaptación: “Enfrentando Riesgos Climáticos en Recursos Hídricos en Honduras”, 23.

Vélez Upegui, J. J., Orozco Alzate, M., Duque Méndez, N. D., & Aristizábal Zuluaga, B. H. (Eds.). (2015). Entendimiento de fenómenos ambientales mediante análisis de datos (Primera edición). Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Facultad de Administración. https://cdiac.manizales.unal.edu.co/publicaciones/publicacion2.pdf

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -
Teléfono: 8879300 Ext. 50190
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas
http://idea.manizales.unal.edu.co
idea_man@unal.edu.co

Edición, Diseño y Diagramación: IDEA Sede Manizales
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales