

# UNOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS PARA SU APROVECHAMIENTO, VEREDA SAN JORGE (ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA)

Rainwater collection systems for its use, San Jorge  
(Zipaquirá, Cundinamarca)

**Lizeth Dayana Castillo-Suárez**

Ingeniera Civil, Tecnóloga en Informática  
lcastillosu@uniminuto.edu.co

**Laura Yamirle Gómez-Cañón**

Ingeniera Civil  
lgomezcanon@uniminuto.edu.co

**Néstor Rafael Perico-Granados**

Ph. D. en Ciencias de la Educación  
posdoctor en Educación, Ingeniero civil  
Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO. Zipaquirá. Cundinamarca. Colombia  
nestorrafaelpericogranados@gmail.com, nestor.perico@uniminuto.edu.co

**Evelyn Carolina Medina-Naranjo**

Licenciada en Educación, Magíster en Gestión de la Educación Virtual  
Corporación Universitaria Minuto De Dios  
evelyn.medina.na@uniminuto.edu.co

**Marly González-González**

Magíster en Manejo y Sostenibilidad ambiental. Estudiante doctoral Upel Educación Ambiental  
grupo de investigación Betanci. Tunja. Boyacá. Colombia  
marlycons@hotmail.com

**María Alejandra Puerto-Cristancho**

Ingeniera Civil. Magíster en Geotecnia  
Investigadora independiente

## Resumen

La escasez de agua se ha convertido en una de las principales problemáticas que ha afectado diferentes comunidades, consecuencia directa del mal uso de este recurso natural y de los efectos directos de la contaminación global. Entonces, son necesarias soluciones que permitan hacer un uso racional del agua y que incentiven y creen hábitos que promuevan la sostenibilidad ambiental. Una de ellas es la implementación de sistemas de captación de agua lluvia. En este artículo se documentan dos sistemas de captación de aguas que pueden ser eficientes para la implementación en una de las zonas rurales en el municipio de Zipaquirá, específicamente en la vereda San Jorge. Se presentan los aspectos más relevantes de cada sistema para conocer así su efectividad, y las consideraciones que son importantes tener en cuenta para plantear, diseñar y construir un sistema de aprovechamiento de agua lluvia con jagüeyes y cubiertas. Se presentan datos relevantes que sirven para tener una aproximación de los niveles de agua que se puede aprovechar en los meses más húmedos y el ahorro que se puede obtener al destinar el agua captada en actividades domésticas, lo que se convertiría en un beneficio para las familias de la vereda San Jorge.

*Palabras clave:* Agua Potable, Almacenamiento de Agua, Calidad del Agua, Lluvia, Seguridad Hídrica, Zona Rural.

## Abstract

Water scarcity has become one of the main problems that has affected different communities, a direct consequence of the misuse of this natural resource and the direct effects of global pollution. Therefore, solutions are necessary that allow rational use of water and that encourage and create habits that promote environmental sustainability. One of them is the implementation of rainwater harvesting systems. This article documents two catchment systems that can be efficient for implementation in one of the rural areas in the municipality of Zipaquirá, specifically in the village of San Jorge. The most relevant aspects of each system are presented in order to know its effectiveness, and the considerations that are important to take into account to propose, design and build a rainwater harvesting system with jagueyes and covers. Relevant data are presented that serve to have an approximation of the levels of water that can be used in the wettest months and the savings that can be obtained by allocating the water collected in domestic activities, which would become a benefit for families. from the path of San Jorge.

*Keywords:* Drinking water, Water storage, Water quality, Rain, Water security, Rural Areas.

CASTILLO S. Lizeth Dayana; GOMEZ C. Laura Yamile; PERICO G. Nestor Rafael; MEDINA. N Evelyn Carolina; GONZALEZ. G Marly; PUERTO C. María Alejandra. "UNOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS PARA SU APROVECHAMIENTO, VEREDASAN JORGE (ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA)". In L'Esprit Ingenieux. Vol. 16-1, p.p X-X.

## 1. Introducción

El agua es uno de los recursos naturales que mayor importancia tiene para la vida en el Planeta Tierra, con trascendencia para el sostenimiento de los ecosistemas, el desarrollo socioeconómico y lo más importante para la supervivencia de los seres humanos. Es un recurso seriamente afectado por la contaminación, la sobreexplotación y los efectos del calentamiento global, aspectos que han disminuido las reservas del agua dulce y han afectado su calidad (Araque-Niño *et al.*, 2020), (García-Puentes y Delgado-Bello, 2021). El problema se agudiza con el crecimiento poblacional, por el incremento en la necesidad de acceder al servicio de agua potable de un recurso natural, que se considera renovable, pero que por su uso inadecuado pierde esta condición, aspecto que reduce caudales de casi todas las fuentes hídricas, e incluso con su desaparición en muchos casos. Para Rojas-Cruz (2019) y para Puerto-Cristancho *et al.* (2022), el cambio de cobertura vegetal, el mal uso del agua, junto a la mala disposición y uso de los plásticos y la deforestación son los principales responsables del calentamiento global. Según García-Puentes (2022) se requiere formar en pensamiento crítico para comenzar a resolver los problemas del calentamiento global.

Asimismo, se considera que el acceso al agua potable es indispensable para la salud y el desarrollo de una población. En efecto, las Naciones Unidas (2018) declara que el agua potable es un derecho humano fundamental, esencial para garantizar la calidad de vida sus habitantes. Así las cosas, las condiciones de acceso a este recurso es un compromiso que involucra a múltiples actores. Por esta razón, la preservación de los recursos hídricos genera grandes inquietudes en los gobiernos a nivel mundial, y más aún ante los desafíos que representan el cambio climático, la explosión geográfica y desarrollo industrial (Crespo-Lambert *et al.*, 2022). Ante los efectos de cambio climático cobran especial valor la preservación de fuentes hídricas, las estrategias para mejorar la cobertura para sus habitantes y las prácticas sostenibles para evitar su contaminación y promover su reutilización para que garantice el derecho al agua de sus habitantes.

En este sentido, dado que el acceso y la calidad del agua son necesidades apremiantes se incluyó en la agenda 2030 de las Naciones Unidas, en el sexto *Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS)*, agua limpia y saneamiento (Naciones Unidas, 2018). Por consiguiente, es pertinente precisar estrategias para la optimización de este recurso, en especial en las zonas rurales, donde también es utilizada para la producción agrícola. Entonces, este objetivo se convierte en un desafío que conlleva a reflexionar sobre la incidencia de las técnicas usadas para el aprovechamiento del recurso hídrico, y, por otro lado, fomenta la integración de estrategias encaminadas a la sostenibilidad ambiental. Hoy más que antes, según Hurtado-Peña *et al.*, (2020) es esencial formar para la sustentabilidad del planeta y ello incluye la ecología humana.

Inclusive, el *Foro Económico Mundial (WEF)* por sus siglas en inglés, (2023) en el reporte del riesgo mundial afirma que existe una preocupación latente por el estrés hídrico, al ser una causa de conflictos de violencia y, además, se estima que más del 50% de la producción económica tiene una alta y mediana dependencia de la naturaleza, producto de prácticas de intervenciones humanas con incidencia negativa en los ecosistemas. Es decir, que es menester propiciar prácticas ecológicas para de abastecimiento, captación y conservación del agua. Así las cosas, el uso adecuado de

este recurso natural es una necesidad no solo por su impacto ambiental, sino por la trascendencia a nivel económico, social y cultural.

En consecuencia, surge el desafío de la seguridad hídrica, el cual conlleva al acceso al agua, la utilización equilibrada, establecer las cantidades adecuadas, precisar su calidad y el aprovechamiento eficiente y sostenible (Donoso, 2022). Así comienza una preocupación a nivel mundial con implicaciones en diferentes sectores económicos, y más aún cuando se aumenta la demanda de agua y por el contrario se evidencia escasez del recurso en varios lugares del planeta.

Al respecto, la escasez de agua potable afecta a más del 40% de la población mundial, 3 de cada 10 personas no tienen acceso a fuentes de agua potable y todos los días mueren más de 1000 niños por enfermedades relacionadas con la calidad del agua (*Naciones Unidas*, 2020). Según esta entidad en 2020 cerca de 2.200 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable, gestionados de manera segura, y más de la mitad de la población, 4200 millones de personas, carecen de servicios de saneamiento. Igualmente, el 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas. Por lo tanto, resulta de interés la integración de prácticas sostenibles que ayuden a optimizar la utilización del recurso e incluso establecer estrategias de reutilización del agua.

Es precisamente la escasa infraestructura una de las causas que impide la cobertura del agua en diferentes regiones a nivel mundial. De esta manera se requiere una mayor movilización de recursos y asignaciones presupuestales por parte del Estado (*WWAP*, 2019). Colombia no ha sido la excepción a la problemática del acceso al recurso hídrico, se observa que existe un déficit en el acceso al agua, en especial en las zonas rurales (Forero-Salazar *et al.*, 2020). La problemática se agudiza en estas zonas, al ser utilizado este recurso no solo para consumo humano sino también para procesos agropecuarios.

Para González-Díaz (2015) y Araque-Niño *et al.* (2020) existen muchas maneras de proceder en su tratamiento, pero hasta ahora no se hace. Entonces, es un reto para docentes y estudiantes universitarios, especialmente de ingeniería, promover procesos para la regulación de caudales en páramos y en cuencas, con procesos de reforestación y para el tratamiento de aguas potables y de aguas residuales. Sin embargo, cabe destacar que la región andina cuenta con el mayor porcentaje de *Aguas Residuales Tratadas (STAR)*, seguida por la región caribe. Por ende, es oportuno continuar con proyectos ambientales que permitan la optimización del recurso y la preservación del medio ambiente.

En Colombia para el año 2018 la cobertura nacional para el servicio público de acueducto es del 87.54% para el área urbana y del 34.95% para el área rural (*Departamento Nacional de Planeación y Superintendencia de Servicios Públicos*, 2019). En el año 2018 la cantidad de agua que se requería para satisfacer las necesidades de la población nacional correspondía a 2.747 millones de m<sup>3</sup> al año (*IDEAM*, 2019). Para esta entidad (2019) y para Perico-Granados *et al.*, (2015) la evolución del casquete de los nevados disminuye en casi el 50% cada 30 años y en los páramos, su cobertura vegetal se merma de forma dramática. Al respecto, ante estas cifras es urgente la formación en la escuela para que los nuevos ciudadanos y profesionales se encarguen

de sostener el ambiente y de revertir estos cambios dañinos para la naturaleza y para el hombre.

En el Departamento de Cundinamarca la cobertura del servicio de acueducto corresponde al 79%, con cerca del 94% en la zona urbana y del 63% en la zona rural. Allí se cuenta con un total de 997 fuentes abastecedoras, de las cuales el 78% suministran a las zonas rurales y el 22% a las zonas urbanas. De ellas, predominan las fuentes superficiales con cerca del 91% del abastecimiento, luego siguen las subterráneas con aproximadamente el 7% y el 2% con otros medios, como el uso de carro tanques (*Contraloría de Cundinamarca*, 2019). Igualmente, Zipaquirá cuenta con 6 fuentes abastecedoras: Ríos Neusa, Borrachero, Frio, El Clavel, La Hoya y Arteza y a nivel veredal se encuentran las Quebradas La Carolina, La Fuente, Panamá, Mata Paja, El Recreo, Amoladero, Nacedero Alto del Páramo y La Hoya. Esta última abastece a la vereda San Jorge, parte alta y El Nacedero Aguas Calientes abastece la vereda en la parte baja (*Contraloría de Cundinamarca*, 2019).

En la vereda San Jorge (Zipaquirá), existe desabastecimiento de agua potable, ya que no se cuenta con un servicio eficiente de acueducto para suplir las necesidades relacionadas con el consumo en los hogares y menos para el cuidado y crecimiento de cultivos. Entonces, es importante conocer la viabilidad de implementar un sistema de recolección de aguas lluvias en la vereda, disponiendo de métodos que ayuden a cumplir las metas propuestas del objetivo de desarrollo sostenible 6 “Agua Limpia y Saneamiento” (*Naciones Unidas*, 2020). Este objetivo busca el acceso universal y equitativo del agua potable, con un uso eficiente de los recursos hídricos para el año 2030. Entonces, el objetivo de la presente investigación fue el de establecer una propuesta para recoger agua en una vivienda de la vereda mencionada y definir un posible costo del proceso, con base los estudios previos.

Entonces, se convierte la implementación de sistemas de recolección de agua lluvia, en soluciones apropiadas para el aprovechamiento del recurso hídrico, que puede generar un impacto positivo en la zona. La recolección de aguas lluvia es una estrategia con beneficios a nivel ambiental y económico; en primer lugar, porque representa una disminución en el consumo de agua potable, y, en segundo lugar, genera una reducción en el costo del servicio público para los habitantes (Torres-Hugues, y Fresquet-Blanco, 2020). Con ello ayuda a suplir las necesidades de los habitantes de la vereda para su consumo y para el uso potencial en riego en menor escala y puede contribuir en crear conciencia ambiental frente a su uso eficiente.

## 2. Materiales y métodos

Para este propósito es importante conocer las características principales de la zona de interés, en especial los aspectos climáticos, para poder establecer si las condiciones son propicias para la recolección de agua lluvia, para establecer los sistemas de recolección adecuados que permitan un buen aprovechamiento de este recurso. Para Perico-Granados *et al.* (2020) y Perico-Granados, Garza-Puentes *et al.* (2022) en la escuela, una buena manera de construir conocimiento en ingeniería, especialmente para la parte ambiental, se hace con la investigación práctica, aspecto que permite recordar por más tiempo y que fue utilizado en esta investigación.

## 2.1 Área de estudio

Zipaquirá cuenta con 17 veredas ubicadas en las zonas rurales las cuales cuentan con aproximadamente 2.020 hogares (DANE, 2018). La vereda San Jorge está a una altura de 2839 msnm, en promedio, dividida en tres grandes sectores denominados Casalata, el Puyón y el Gavilán. En ellos hay nacedores de arroyos y quebradas, cubiertos con bosque primario y secundario consolidado con una flora compuesta principalmente por: Eucalipto, Mora, Zarcillejo, Arrayán, Encenillo, Chusque, Gaque, Mortiño, Espino, Corono, Aliso y una arborización con Pino.

Zipaquirá cuenta con un régimen de lluvias bimodal, con una primera temporada de precipitaciones a mediados de marzo a junio y una segunda temporada, un poco más húmeda, a mediados de septiembre y diciembre (Mendoza y Niño, 2016). En el año 2020 se observó que el mes con la lluvia más alta fue octubre con 90 mm, con 16 días lluviosos y enero el mes con la lluvia más baja considerándose como el mes más seco con 26 mm., con 7 días lluviosos (Weather Atlas, 2020). Igualmente, se hizo una revisión de los diferentes sistemas de recolección de agua lluvia utilizados en la historia, para entender las características principales de su funcionamiento y establecer los principios que ayuden a seleccionar los sistemas que se pueden utilizar en la vereda San Jorge (Ballén *et al.*, 2006).

Las prácticas de recolección de agua para suplir las necesidades del ser humano, se consideran ancestrales y surgen como respuesta a la falta de acceso del recurso (Torres, 2019). Su implementación se remonta a 4000 años, con sistemas de recolección en zonas como el Desierto de Negev en Israel y Jordania, en donde utilizaban el desmonte de tierra para aumentar la escorrentía superficial y dirigirla a las zonas agrícolas en la parte más baja. En la parte delantera en las viviendas en Roma, con la construcción de estanques para recoger el agua lluvia. En China se hicieron pozos para recoger el agua con una antigüedad mayor a 2000 años. En Cuba se hizo recolección de agua lluvia por medio de cisternas en los conventos y castillos, dado que por la dureza del suelo no se podía obtener agua subterránea. Con caños de ladrillo se recogía el agua de los techos (Torres, 2019). Según Vera-Guarnizo *et al.* (2020b) en los momentos de la crisis actual de migraciones se puede generar mano de obra no calificada para construir estos reservorios.

En Centroamérica se sabe que en el imperio Maya, sus reyes sostenían a su pueblo de manera práctica, centrando su atención en obras de construcción de tipología pública. Por otro lado al sur de Oxkutzcab (estado de Yucatán) en el pie de la montaña Puuc, en el siglo X a.C. el suministro de agua para las personas y para los cultivos se realizaba por medio de diversas tecnologías, las cuales consistían en el aprovechar las aguas proporcionadas por la lluvia. El agua era embazada en un área de 100 a 200 m<sup>2</sup> y almacenada en cisternas llamadas “Chultuns”. Estas cisternas presentaban un diámetro aproximado de 5 m, y eran excavadas en el subsuelo e impermeabilizadas con yeso. Los habitantes abrieron canales y construyeron diques para drenar y así poder administrar el agua de lluvia por sistemas de depósitos que permitían que las personas aguantaran en las zonas durante el tiempo de sequía (Acero *et al.*, 2022).

El agua en la industria se usa desde plantas de acondicionamiento, hasta procesamiento de alimentos frescos, para transportar el producto entre zonas en la planta,

para enfriar el producto a través del contacto directo con agua fría y para eliminar la suciedad de campo en la superficie del mismo. La industria tiene una alta demanda del recurso hídrico y por ende grandes cantidades de vertimientos o residuos que allí se originan. Es por esta razón que, si se quiere hacer que se reduzca este problema, se deben implementar estrategias que hagan preservar el agua en cuanto a la calidad química y microbiológica. No se tiene suficiente conocimiento sobre la relación existente entre el agua de lavado y las enfermedades por alimentos, estos temas tan importantes han sido ignorados (López y Gil 2020).

Se estima que en el mundo cerca de 100 millones de personas dependen del aprovechamiento del agua lluvia, especialmente en las áreas rurales, para uso doméstico y riego de cultivos (Torres, 2019). Entonces, para este caso de estudio se analizará el aprovechamiento del agua lluvia en la Vereda San Jorge y para ellos se plantea el uso de jagüeyes o reservorios y de las cubiertas de las viviendas para la recolección del agua.

## 2.2. Uso de jagüeyes y cubiertas para recolección de aguas lluvias

Los jagüeyes son sistemas para recolectar agua, dispuestos y conservados por las comunidades mediante estrategias organizativas de las mismas. El utilizar el agua de la escorrentía en épocas secas tiene una relevancia para el uso de abrevaderos, el hogar, disfrute, pesca, cría de tortugas y otros servicios, ya sean hidrológicos y ambientales, que van a ayudar a la restauración y apoyo de conservar la biodiversidad planetaria. De acuerdo con Aguilar y Palerm (2022), en Puebla cuatro comunidades están en proceso de llevar a cabo los estudios para los reservorios tradicionales que han sido destinados para sistemas de recolección doméstica y agrícola. Es por esta razón que se quiere estimular la conservación e instalación de estos tipos de procesos para mitigar la desertificación que se está presentando (Aguilar y Palerm, 2022).

El hombre desde siempre ha tenido el recurso hídrico como un gran aliado para su sustento. La parte pluvial suministra el agua y es deber el hombre aprovechar de forma adecuada este recurso para el desarrollo de los diferentes territorios. Según Martínez (2020) La Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), propone características de pendientes en la superficie de la cubierta para captar agua pluvial. El objetivo es que todas las personas se beneficien por este recurso, dadas las condiciones que se pueden orientar con base en el conocimiento cada vez mayor sobre épocas de lluvias y de sequías. Entonces, se sugiere que se desarrollen procesos que permitan la mayor cobertura posible (Martínez, 2020).

Según Perico-Granados, Arévalo-Algarra *et al.* (2021) se regula el agua con la siembra de árboles nativos en la cuenca, dado que ellos forman suelo y allí se almacena y/o se infiltra. Sin embargo, con la construcción de jagüeyes también se regula el agua, proporcionalmente al número y tamaño que se construyan. De otro lado, el uso de cubiertas para la captación de aguas lluvias se usa con mucha utilidad para la obtención de agua y se utiliza en sitios con acueductos deficientes. Un ejemplo de su uso se llevó a cabo en México, en Los Achotes, municipio de San Luis Acatlán, Estado de Guerrero. Se usaron los techos como área de captación, con canales de conducción y filtro de arena para retener los sólidos. Se construyó una cisterna como tanque distribuidor y se recogió el agua en los meses de lluvia de mayo a octubre. Se promov-

ieron las acciones para que la implementación la hicieran las mismas familias, a partir de capacitaciones (Avelar *et al.*, 2019). Para el consumo humano es necesario tratar las aguas con sistemas de decantación, filtración y desinfección, dada la presencia de sales y otros contaminantes (Basán *et al.*, 2018).

De la misma manera, está la implementación del aprovechamiento del agua lluvia en el Jardín Infantil Julio Flores en Bogotá. Se redujeron los gastos en el consumo de agua, con un impacto positivo para el ambiente y se enseñaron prácticas apropiadas a los niños para el cuidado de ella (Lara-Carvajal, 2019). Existen otros ejemplos del uso eficiente del agua como en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, en Antioquia, con abastecimiento para la casi totalidad del año, elementos que requieren promoción en otras instituciones escolares (Vera-Guarnizo *et al.*, 2020a). Al respecto, para promover la adecuada utilización del agua lluvia es oportuno señalar que el método de proyectos, con temas relacionados a la sustentabilidad del planeta, es una herramienta valiosa (Avella-Forero *et al.*, 2021; García-Puentes *et al.*, 2019; Perico-Granados *et al.*, 2021; 2022).

Entonces, existen diferentes formas del uso apropiado del agua lluvia para los usos domésticos, abrevaderos y riego de huertas y jardines, que pueden ser replicados y mejorados para reducir su consumo y enseñados desde la escuela, con base en proyectos. En efecto, los sistemas de recolección de aguas lluvia, se convierten en una alternativa sostenible y económica para el agua para países en desarrollo como Colombia (León-Agatón *et al.* 2016) Lo anterior, permite que se integren practicas amigables con el medio ambiente alineadas con la seguridad hídrica.

### 3. Resultados

Con base en los resultados obtenido en estudios de factibilidad, en diseños y construcciones de captación de aguas lluvias en diferentes sitios del mundo, se encontró que, en función de la cantidad de agua lluvia se pueden desarrollar estos sistemas. Entonces, se requiere establecer el número de milímetros del líquido en promedio del sitio. En el jardín del ejemplo se aprovecha el 40% de agua lluvia en los meses secos y el 75% en los lluviosos, con una demanda mensual de 50 m<sup>3</sup> (Lara-Carvajal, 2019). Igualmente, con un techo de 50 m<sup>2</sup> se puede aprovechar, en promedio, cerca de 47 m<sup>3</sup> de agua cada año por familia (Avelar *et al.*, 2019). Se recomienda mejorar la calidad del agua con lavado de cubierta y para ello se usan solamente cerca de sesenta litros, aunque depende del área y del tipo de cubierta (Solano *et al.*, 2017).

En el mismo sentido, en la Universidad Católica de Colombia se hizo un análisis de las estaciones pluviométricas de sus sedes para obtener las cantidades de agua potencialmente aprovechables y se encontró en todas ellas un comportamiento bimodal en el régimen de lluvias, con precipitaciones intensas en marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre. Se hizo la valoración de los tejados y se determinaron las pendientes óptimas para el aprovechamiento del agua lluvia (Robayo y Pérez, 2016).

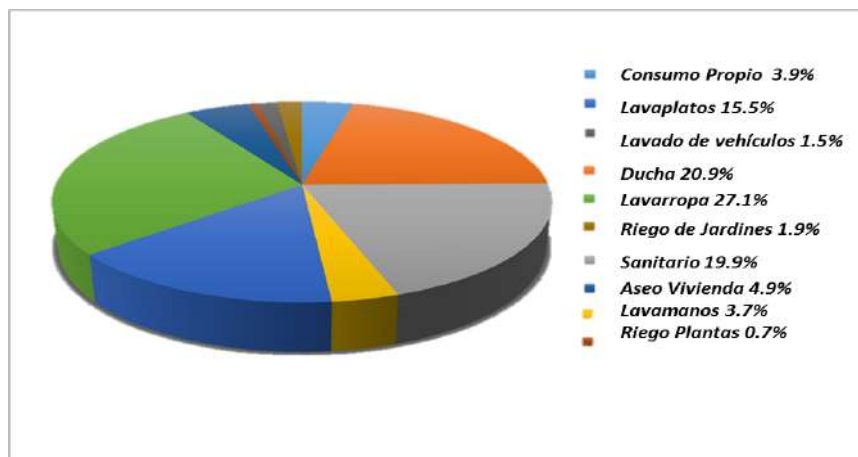
Gracias a los sistemas con los que se captan aguas las personas pueden acceder a este recurso hídrico, sobre todo las personas de las zonas rurales, para sus actividades diarias y la manutención del ganado que les proporciona beneficios para la sociedad. En Manabí es importante que se capte agua en las zonas rurales de poca lluvia con

ayuda de zanjas de filtración, excelente técnica para la retención del agua. Estas zanjas son una fuente principal de captación de agua en las zonas donde las precipitaciones son pocas y se busca generar aprovechamiento al máximo del agua por ser tan limitado este recurso en determinados lugares (Castro y Aguilar 2021).

Para determinar los costos en la recolección y utilización de aguas lluvias se usó como ejemplo una vivienda familiar de estrato 3 ubicada en el municipio de Zipaquirá, con 8 personas, con un consumo total de 40 m<sup>3</sup> y un costo total de \$43.428 COP. El costo del metro cúbico del agua es de \$1.085 COP. Se tuvieron en cuenta los consumos aproximados de agua para diferentes actividades realizadas en el hogar, de acuerdo Méndez-Sayago y Méndez-Sayago (2011), valores que se ven reflejados en la Figura 1.

Figura 1.

Distribución de consumo de agua de acuerdo a diferentes actividades en el hogar.



Nota: adaptado de Méndez-Sayago y Méndez-Sayago (2011).

Con los porcentajes mostrados y el consumo total que se tomó de ejemplo en una familia en Zipaquirá, se determinaron los valores en COP que se ahorra al implementar el sistema de aprovechamiento de agua lluvia en actividades que normalmente se realizan en los hogares, diferentes al consumo humano, como se muestra a continuación:

$$\text{Sanitario } 7,96\text{m}^3 \times \$1085 = \$8636.6$$

$$\text{Lavarropa } 10,84 \text{ m}^3 \times \$1085 = \$11761.4$$

$$\text{Aseo vivienda } 1,96 \text{ m}^3 \times \$1085 = \$2126.6$$

$$\text{Riego plantas } 0,28 \text{ m}^3 \times \$1085 = \$303.8$$

$$\text{Lavado de vehículo } 0,6 \text{ m}^3 \times \$1085 = \$651$$

$$\text{Riego jardines } 0.76 \text{ m}^3 \times 1085 = 824.6$$

Con este procedimiento se puede llegar a tener un ahorro de \$24.304 COP, por lo que con el aprovechamiento del agua lluvia se puede cubrir aproximadamente el 56% del valor total del consumo de una vivienda de las características inicialmente descritas.

#### 4. Análisis de resultados

Con base en diferentes estudios no todas las captaciones resultan exitosas, aspecto que está relacionado con el nivel de lluvias en la zona. Si son muy bajas es posible que no alcancen a suplir la necesidad requerida (Arévalo, et al., 2020). Resulta exitoso cuando las precipitaciones son frecuentes y con periodos cortos de sequía. Sin embargo, con estudios bien hechos se cumplen los propósitos de acumular el agua necesaria para los usos requeridos, como el caso del sistema de captación en los techos de las instalaciones agropecuarias en un organopónico en la población de Modesto Reyes, en Cuba. Allí se obtuvieron mayor cantidad de metros cúbicos a la demanda requerida. Ésta fue de 8.32 m<sup>3</sup> y se captaron más de 84.62 m<sup>3</sup> de agua (Brown *et al.*, 2016).

Cuando el agua lluvia se requiere para consumo humano, es necesario garantizar una buena calidad, para evitar enfermedades. Por lo tanto, su calidad se mide a través del Índice de Calidad del Agua (ICA). Así se determina su composición (química, física y bacteriológica) y se evalúa su potabilidad (Crespo-Lambert *et al.*, 2022). Existen estudios que manifiestan sobre la acidez de esta agua, como en el municipio de Ibagué, con niveles de pH entre 4.7 y 5.6, que indican que el agua lluvia de esta zona era ligeramente ácida. Entonces, se puede aplicar una solución con carbonato de sodio que neutralice el pH, mediante un método de filtración para las tuberías, así como prever sistemas de desinfección segura (Ospina y Moyano, 2015). La acidez es uno de los criterios primordiales para tener en cuenta y definir el uso que se dará al agua captada.

Para definir el tratamiento al agua una vez captada se hace con base en su uso posterior. Se pueden implementar filtros hechos con arena, que es uno de los más usados para agua lluvia, dado que su construcción es relativamente sencilla, aunque no garantiza que el agua sea óptima para el consumo humano (Brown *et al.*, 2016). Sin embargo, existen tratamientos microbiológicos que se aplican después de los filtros de arena, a partir de desinfección con cantidades bajas de hipoclorito de sodio. También se puede hervir el agua y finalmente pasarla por un proceso de radiación. Es un método un poco complejo, pero es bastante completo y genera una mayor garantía para que el agua lluvia captada pueda ser consumida por el ser humano (Basán *et al.*, 2018).

##### 4.1. Implementación de sistemas de captación de las aguas lluvias

Los sistemas de captación de agua lluvia pueden ser implementados para suplir la demanda de agua en las diferentes actividades de la población, desde las básicas en el hogar relacionadas con la limpieza y el uso de equipos sanitarios, hasta en actividades agropecuarias en las zonas rurales. En los casos en que sean de gran necesidad para consumo humano, siempre se deben tomar medidas adicionales frente a la calidad de esta. Según Pérez-Rodríguez (2020) y Perico-Granados, Tuay-Sigua *et al.*, (2022), en la tercera década del siglo XXI es imperiosa la construcción de conocimiento sobre sostenibilidad ambiental, para reorientar el desarrollo humano y la conservación de la especie, junto a la naturaleza. Entonces, la escuela está llamada a actuar desde

ahora en la formación de los profesionales con conciencia ambiental, el uso del agua lluvia y el desarrollo sostenible, en general.

El tipo de sistemas de captación y almacenamiento de esta agua y el uso que se le dé a la misma debe estar directamente relacionado con las características climáticas de las zonas donde se van a implementar, de tal forma que se pueda garantizar que la oferta de este líquido logre satisfacer la demanda de este para las actividades concretas que se quieran suplir con estos sistemas de abastecimientos. Los estudios y los diseños aportan las acciones que se deben tomar en sequía y alta pluviosidad para cubrir la demanda, con base en el almacenamiento para los meses con menos lluvia. Ahora bien, en estudios internacionales evidencian que la recolección de aguas lluvia se convierten en una alternativa para suplir necesidades básicas en la población (León-Agatón *et al.*, 2016). Para Puerto-Cristancho *et al.*, (2023) se requiere una mayor formación en protagonismo de los estudiantes de ingeniería para que estos cambios comiencen a la mayor brevedad.

## 5. Conclusiones

Los sistemas de agua potable generan un importante impacto en la sociedad, en especial en lugares donde no se tiene acceso al agua o donde no se cuenta con un servicio eficiente y continuo de acueducto. Estos problemas son más comunes en las zonas rurales, donde el acceso a los servicios públicos es limitado. Entonces, el aprovechamiento de agua lluvia contribuye con su almacenamiento y uso en mitigar la sequía. Es un alivio económico en los hogares que cuenten con acueducto, dado que reduce el consumo de agua, destinando el agua lluvia para aseo y limpieza, métodos que pueden beneficiar a muchas familias de la en la vereda de San Jorge (Zipaquirá, Cundinamarca), con base en los resultados encontrados.

Se han mejorado las técnicas para potabilizar el agua, de tal forma que se potabilice y adecúe para el consumo humano. Este sistema se puede implementar en la vereda San Jorge, en sectores en los que no alcanza a cubrir el acueducto regional. Surge como una alternativa económica y viable de acuerdo a las necesidades de la zona rural y a los datos relacionados en el presente proyecto.

En Colombia y varios países Latinoamericanos se puede promover el uso eficiente del agua lluvia y con ello se disminuye el desequilibrio de los ecosistemas, la contaminación y el deterioro de los recursos hídricos. Así se reduce el impacto generado por las malas actuaciones del propio ser humano, con un cambio de conciencia, generando hábitos que busquen la sostenibilidad ambiental, con acciones que a la vez beneficien a las comunidades.

## Referencias

Acero Camargo, S. P., Romero Vergara, H. G. & Vega Chivata, N. M. (2022). Alternativa para la adquisición e instalación de un sistema de recolección de aguas lluvias a bajo costo, para los pequeños agricultores del municipio de Sopó en Cundinamarca (Bachelor's thesis, Ingeniería industrial).

Araque-Niño, I., Britto-Aponte, M., Cuellar-Rodríguez, L., Perico-Granados, N. (2020). Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento previo. Caso: Tierra Negra, Boyacá, V 17, N 1, en: <https://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/2950>

Arévalo, M., Martínez, O., Rosales, A., Pérez, M., y Barria, N. (2020). Evaluación del ahorro de agua potable que se podrían percibir en los viveros al implementar un sistema de captación de agua de lluvia en la ciudad de Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 59-64. doi: <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.1.2614>

Aguilar, D. V. F., & Palerm-Viqueira, J. (2022). Los jagüeyes y su trascendencia en cuatro comunidades del Estado de Puebla. (FALTAN DATOS BIBLIOGRÁFICOS???)

Avelar, J., Sánchez, J., Domínguez, A., Lobato, C., y Mancilla, O. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. Chile. *IDESIA*, 37(1), 53-59.

Avella-Forero, H., Perico-Granados, N., Acosta-Castellanos, P., Queiruga-Dios, A., y Arévalo-Algarra, H. (2021). Desarrollo de Competencias Aplicando el Método de Proyectos. Aplicación en Ingeniería Ambiental. En: Gude Prego, JJ, de la Puerta, JG, García Bringas, P., Quintián, H., Corchado, E. (eds) 14th International Conference on Computational Intelligence in Security for Information Systems and 12th International Conference on European Transnational Educational (CISIS 2021 e ICEUTE 2021). *CISIS - ICEUTE 2021. Avances en Sistemas Inteligentes y Computación*, vol 1400. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-87872-6\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-030-87872-6_37)

Ballén, J.A., Galarza, M.A. y Ortiz, R.O. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua. João Pessoa, Brasil.

Basán, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Tejerina, F., y Jordan, P. (2018). Sistemas

de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. *Aqua-LAC*, 10 (1), 15-25. Recuperado de: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/multimedia/field/montevideo/pdf/02basan.pdf>

Brown, O., Díaz, R., y Díaz, R. (2016). Sistema de captación de agua lluvia para la producción hortícola en condiciones de organopónico. *Universidad y Ciencia*, 5(1), 12-27.

Castro, J. O. C., & Aguilar, R. L. (2021). Las zanjas de infiltración en el aprovechamiento de agua en el sector rural de Manabí. *Domino de las Ciencias*, 7(4), 2281-2303.

Contraloría de Cundinamarca. (2019). Agua Potable en Cundinamarca. En: <http://www.car.gov.co/uploads/files/5e29f8f13c3ee.pdf>

Crespo-Lambert, M., Fernández-Rodríguez, M., y Pérez-García, L., (2022). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el poblado de Yamanigüey según ICA de Montoya. *Minería y Geología*, 38(2), 157-167. Epub 30 de junio de 2022. Recuperado en 05 de septiembre de 2023, de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1993-80122022000200157&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122022000200157&lng=es&tlng=es)

Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas-DANE-. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda. Bogotá.

Departamento Nacional de Planeación y Superintendencia de Servicios Públicos. (2019). Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2018. En: [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe\\_sectorial\\_aa\\_2018-20-12-2019.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_sectorial_aa_2018-20-12-2019.pdf)

Donoso, M. (2022). ¿Cuán importante es la seguridad cibernética para lograr la seguridad hídrica?. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 284-297. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.56/1.15>

Forero-Salazar, J., Castellanos-Villamil, J., y Cruz, Imbol-Cruz, W. (2020). Colombia, ¿alineándose al cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible n°6 sobre agua limpia y saneamiento?. *Producción + Limpia*, 14(2), 108-123. Epub October 30, 2020. <https://doi.org/10.22507/pml.v14n2a3>

García-Puentes, C., & Delgado-Bello, C. A. (2021). Acueductos rurales o sistemas de suministro de agua. *Centrosur Agraria*, 1(11). En: <https://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/130>

García Puentes, C., Montaña Santana, J., & Pérez Rodríguez, C. (2019). Aprendizaje basado en proyectos para el desarrollo comunitario, una experiencia en la formación de Ingenieros Civiles. *Conrado*, 15(68), 130-134. Epub 02 de septiembre de 2019. Recuperado en 22 de marzo de 2022, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442019000300130&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000300130&lng=es&tlng=es)

García-Puentes, C., González-Díaz, L., Perico-Granados, N., Pérez-Rodríguez, C., Hernández-Romero, J. (2022). Pensamiento crítico y los objetivos de desarrollo sostenible: comunidades y ciudades sostenibles. *Ingenio Magno*, Vol. 13, No. 1, pp.59-79, en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2574>

González-Díaz, L. (2015). Diseño de una alternativa de tratamiento a las aguas residuales por lagunas de oxidación en el casco urbano del municipio de Pacho –

Cundinamarca. Tesis de pregrado, Corporación universitaria Minuto de Dios.

Hurtado-Peña, D., Bautista-Roa, M., Bohórquez-Aunta, R. (2020). Cuestiones de Educación, Pedagogía y Humanismo en el Siglo XXI, en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/31303/Cuestiones%20educacion%2C%20pedagogia%20y%20humanismo%20en%20el%20siglo%20XXI.pdf?sequence=1>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM-. (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. En: <https://cta.org.co/biblionet/estudio-nacional-del-agua-2018/>

Lara-Carvajal, A. M. (2019). Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de agua lluvia: caso de estudio jardín infantil julio flores de la secretaría distrital de integración social. Universidad Libre Facultad de Ingeniería, Ingenio Libre 7(17).

León-Agatón, A., Córdoba-Ruiz, J., y Carreño-Sayago, U., (2016). Revisión del Estado del Arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Tecnura*, 20(50), 141-153. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10>

López-Gálvez, F., & Gil, M. I. (2020). La importancia del agua en la industria de alimentos vegetales. *Arbor*, 196(795), e547-e547.

Martínez Luján, D. R. (2020). Aplicación del sistema captación de agua pluvial y arquitectura paisajista para diseñar un terminal terrestre en la ciudad de Tarapoto. (FALTAN DATOS BIBLIOGRÁFICOS???)

Méndez-Sayago, J., y Méndez-Sayago, J. (2011). Simulación y evaluación de una propuesta de implementación del mínimo vital de agua potable en Colom-

bia, Semest. Econ. vol.14 no.spe29, en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-63462011000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-63462011000200006&script=sci_arttext)

Mendoza Chávez, X y Niño Pulido, D. (2016). Recopilación Documental Del Estado Actual del Recurso Hídrico y Usos del Agua en el Territorio del Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca) (monografía). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3587/TESIS%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Naciones Unidas (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.

Naciones Unidas. (2020). Agua. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. En: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>

Ospina, O., y Moyano, Y. (2015). Evaluación del aprovechamiento para consumo del agua de lluvia en una microcuenca urbana de Ibagué, Tolima, Colombia. *Revista Ingenium*, 9(24), 11-22. En: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/771/Evaluaci%F3n%20del%20aprovechamiento%20para%20consumo.pdf;jsessionid=5EBC1168F38395368F48840C867D3A4B?sequence=1>

Pérez Rodríguez, C. (2020). Comunidades Sostenibles: Fomentando la Conservación del ambiente desde el Semillero 'Gestión del recurso hídrico'. *PDR*, 5(17), 13–25. Recuperado a partir de <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Pers/article/view/2130>

Perico-Granados, N., Caro-Camargo, c., Acosta-Castellanos, P., Bohórquez, J. (2015). Páramo de Siscunsi, en la Cuen-

ca alta de La Martinera. En: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1164/1168>

Perico-Granados, N., Galarza, E., Diaz-Ochoa, M., Arévalo-Algarra, H., Perico-Martínez, N. (2020). Guía práctica de investigación en ingeniería: Apoyo a la formación de docentes y estudiantes. Uniminuto. En: [https://repository.uniminuto.edu/jspui/bitstream/10656/10822/1/Libro\\_Gu%C3%ADa%20practica%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20ingenier%C3%ADa\\_2020.pdf](https://repository.uniminuto.edu/jspui/bitstream/10656/10822/1/Libro_Gu%C3%ADa%20practica%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20ingenier%C3%ADa_2020.pdf)

Perico-Granados, N., Tovar-Torres, C., Reyes, C., Perico-Martínez, C. (2021). Formación de docentes y transformaciones desde la ingeniería. Uniminuto. En: [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/11822/1/Libro\\_Formaci%C3%B3n%20de%20docentes%20y%20transformaciones%20desde%20la%20ingenier%C3%ada\\_2021.pdf](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/11822/1/Libro_Formaci%C3%B3n%20de%20docentes%20y%20transformaciones%20desde%20la%20ingenier%C3%ada_2021.pdf)

Perico-Granados, N., Arévalo-Algarra, H., Reyes, C., Perico-Martínez, C., Vera-Guarnizo, M., Monroy, J., (2021). Sitios de inundaciones causados por los ríos Jordán y La Vega, Tunja, Tecnura <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/15248/16857>

Perico-Granados, N., Tuay-Sigua, R., Blanco-Portela, N. (2022). La educación para el desarrollo sostenible en la formación de ingenieros, en: La educación, las ciencias sociales y la interculturalidad. Una mirada desde la formación posdoctoral. En: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/43596/libro%20educaci%C3%B3n,%20las%20ciencias%20sociales.pdf?sequence=1>

Perico-Granados, N., Garza-Puentes, J., Tovar-Torres, C., González-Díaz, L. (2022). Análisis de la recordación del concepto de remoción en masas en graduados de ingeniería civil. Un estudio de

caso de Educación para el Desarrollo Sostenible. Corporación universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO. Editorial Grupo Compás. En: II Congreso internacional de Responsabilidad Social, Innovaciones y retos emergentes para el cuidado del planeta 2021, pp. 27-53. En: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8494213>

Perico-Granados, N, Tovar-Torres, C., Reyes, C., Vera-Guarnizo, M., (2022). Método de proyectos para construir conocimiento en experticia, comunicación y pensamiento crítico, sobre el ambiente, *Publicaciones*, 52 (3), 291–303. <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v52i3.22275>

Puerto-Cristancho, M., Perico-Granados, N., Reyes-Rodríguez, C., Guzmán-Serrano, L., Garzón-Castro, L. (2022). Ladrillo de plástico comparado con el ladrillo tradicional, *Revista Ingenierías USBMed*, V 13 n 1, pp. 56-63, en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8467467>

Puerto-Cristancho, M., Perico-Granados, N., Bautista-Roa, M., Garza Puentes, J., Perico-Martínez, N., (2023). Los Ingenieros Como Sujetos Para Promover Cambios, *Ingenio Magno*, V14, n1, en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2713>

Robayo, J., Pérez, R. (2016). Análisis de la captación y aprovechamiento del agua lluvia para utilización en el campus de la universidad Católica de Colombia (Bogotá), de acuerdo a las características de sus sedes. Universidad Católica de Colombia. En: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13903/4/an%c3%81lisis%20de%20la%20captaci%c3%93n%20y%20aprovechamiento%20del%20agua%20lluvia%20para%20utilizaci%c3%93n%20en%20el%20campus%20de%20la%20universi>

[dad%20cat%C3%93lica%20de%20co~1.pdf](#)

Rojas-Cruz, C. (2019). Determinación de la respuesta hidrológica de la Microcuenca La Chorrera debido a actividades agrícolas y ganaderas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Solano, C., Gonzaga, F., Espinoza, F., y Espinoza, J. (2017). Sistema de Captación de agua de lluvia para uso doméstico, Isla Jambelí, cantón Santa Rosa. *Revista Cumbres* 3(1), 151-159.

Torres, R. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental Volumen 40 N° 2 Paginas 125 – 139*. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lang=es)

Torres-Hugues, R., y Fresquet-Blanco, A. (2020). Caracterización de la captación de las aguas de lluvia para tipologías de viviendas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41(1), 100-114. Epub 01 de abril de 2020. Recuperado en 29 de agosto de 2023, de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382020000100100&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100100&lng=es&tlng=es)

Vera Guarnizo, M., Monroy Gutiérrez, J., Perico Granados, N. (2020a). Problemática de las instituciones educativas públicas del municipio de Girardot-Cundinamarca: un análisis desde la Educación Superior, *Sinergias educativas*, V5 n 1, en: <https://sinergiaseducativas.mx/index.php/revista/article/view/77>

Vera Guarnizo, M., Monroy Gutiérrez, J., Perico Granados, N. (2020b). Crisis Migratoria Determinante para Evaluar el Desarrollo, *Centrosur*, V 4 N 1, en: <https://centrosureditorial.com/index.php/revista/article/view/34/75>

Weather Atlas. (2020). Previsión Meteorológica y Clima Mensual Zipaquirá, Colombia. En: <https://www.weather-atlas.com/es/colombia/zipaquira-clima>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. <https://www.acnur.org/media/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos-hidricos-2019-no>

World Economic Forum, weforum. "The global risks report." 2023. Geneva, Switzerland <https://www.weforum.org/reports/globalrisks-report-2023/>