



Evaluación integral y propuesta de solución para el acceso sostenible al agua para consumo humano en la comunidad de la Zona Humanitaria “Camelias es Tesoro” del Carmen del Darién-Curbaradó: un enfoque en la captación y tratamiento de agua lluvia y la gestión de pozos.

Nataly Moreno Ospina

Cristian Camilo Muñoz Quintero

Monografía para optar al título de especialista en manejo y gestión del agua

Asesor

Guillermo León Sepúlveda Quintero, Especialista (Esp) en Gerencia de proyectos

Universidad de Antioquia

Ingeniería

Posgrado

Medellín

2024

---

|      |  |
|------|--|
| Cita | (Moreno Ospina, N. & Muñoz Quintero, C 2024) |
|------|--|

---

|            |  |
|------------|--|
| Referencia | Moreno Ospina, N. & Muñoz Quintero, C. (2024). <i>Evaluación integral y propuesta de solución para el acceso sostenible al agua para consumo humano en la comunidad de la Zona Humanitaria “Camelias es Tesoro” de Carmen del Darién-Curbaradó: un enfoque en la captación y tratamiento de agua lluvia y la gestión de pozos.</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. |
|------------|--|

---

Estilo APA 7 (2020)



Especialización en Manejo y Gestión del Agua, Cohorte XII.



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexo.

## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen .....  | 6  |
| Palabras claves.....   | 6  |
| Abstract.....  | 7  |
| Keywords.....  | 7  |
| Introducción.....  | 8  |
| Pregunta de Investigación.....   | 12 |
| Objetivo General.....  | 12 |
| Objetivos específicos.....   | 12 |
| Marco teórico.....   | 13 |
| Área de Estudio .....  | 15 |
| Metodología.....   | 19 |
| Recopilación de información .....  | 23 |
| Identificación de las Fuentes y Gestión del Recurso Hídrico (Diagnostico)..... | 25 |
| Preparación y Equipamiento .....   | 30 |
| Análisis de la Muestra.....  | 31 |
| Alternativa Propuesta.....   | 35 |
| Identificación de los Parámetros de Diseño.....                                | 35 |
| Conclusiones .....   | 46 |
| Recomendaciones .....  | 48 |
| Anexos .....   | 50 |
| Bibliografía .....   | 51 |

## Lista de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Metodología implementada .....                               | 19 |
| Tabla 2. metodología utilizada para el análisis de las muestras ..... | 31 |
| Tabla 3. Comparativo normativa ambiental aljibe .....                 | 32 |
| Tabla 4. Proyección de población.....                                 | 36 |
| Tabla 5. Dimensionamiento del filtro.....                             | 42 |
| Tabla 6. Tasa de filtración .....                                     | 42 |
| Tabla 7. Altura del filtro .....                                      | 43 |
| Tabla 8. Altura material filtrante .....                              | 44 |
| Tabla 9. Volumen requerido de material.....                           | 44 |

## Lista de ilustraciones

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Municipio Carmen del Darién-Curvaradó (Tomada de PBI Colombia, 2011).<br>..... | 17 |
| Ilustración 2. Precipitación media Fuente: SamSamWater.....                                   | 38 |
| Ilustración 3. Demanda vs Oferta Fuente: SamSamWater .....                                    | 39 |
| Ilustración 4. Tendencia de escurrimiento del agua en diferentes tipos de techo.....          | 41 |
| Ilustración 5. Filtro comunidad Camelias Elaboración propia Ver Anexo “Filtro -1A .....       | 45 |

## **Resumen**

El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo de las sociedades, y mientras las ciudades suelen tener una cobertura generalizada de servicios de agua, en áreas rurales como la Zona Humanitaria “Camelias es Tesoro” de Carmen del Darién-Curbaradó se enfrentan desafíos en el abastecimiento y gestión del agua. La disponibilidad de agua potable en la zona muestra la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua, puesto que el mismo depende del volumen y frecuencia de lluvias y la capacidad de almacenamiento de estas. Por parte, de la comunidad se resalta que la mayor parte del agua aprovechada para el consumo humano es la obtenida de las aguas lluvias de la zona humanitaria, de igual manera captan agua del aljibe para generar limpieza, pero es común el uso del agua cruda sin tratamiento, lo que lleva a que la calidad del agua genere riesgos sanitarios donde son frecuentes las enfermedades de origen hídrico como las gastrointestinales. Por medio de este análisis se podría tener una alternativa para el suministro del recurso vital para la comunidad, ya sea netamente de aguas lluvias o del aljibe, además, de ayudar al cumplimiento de uno de los artículos establecidos en la constitución política de Colombia que establece que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. “Es deber del estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional, (Constitución Política de Colombia, 1991).

### **Palabras claves.**

Abastecimiento, Gestión comunitaria del agua, saneamiento básico, sistemas de potabilización.

## **Abstract**

Water resources are fundamental for the development of societies, and while cities usually have widespread water services coverage, rural areas like the Humanitarian Zone "Camelias es Tesoro" in Carmen del Darién-Curbaradó face challenges in water supply and management. The availability of drinking water in the area highlights the vulnerability of the water supply system, as it depends on the volume and frequency of rainfall and the storage capacity thereof. On the community's part, it is emphasized that the majority of surface water used for human consumption comes from wells installed in the humanitarian zone. They also capture rainwater for cleaning activities; however, the use of untreated raw water is common, leading to water quality issues and health risks, with waterborne diseases such as gastrointestinal illnesses being frequent.

Through this analysis, an alternative could be proposed for the supply of this vital resource to the community, either exclusively from rainwater or from the cistern. Additionally, this initiative can contribute to the fulfillment of one of the decrees established in the political constitution of Colombia, which stipulates that public services are inherent to the social purpose of the State. "It is the state's duty to ensure their efficient provision to all inhabitants of the national territory." (Constitución Política de Colombia, 1991).

## **Keywords.**

Supply, community water management, basic sanitation, purification systems

## Introducción

Si bien Colombia es uno de los países con mayor disponibilidad de agua dulce en el mundo pues tiene un caudal superficial tres veces mayor que el promedio sudamericano y seis veces mayor que el promedio mundial. (Ministerio de Medio Ambiente, 2023)

El acceso sostenible y seguro al agua potable es un desafío global, y en este contexto, los sistemas de potabilización que emplean la captación de aljibe y aguas lluvias han ganado interés. Este estado del arte examina la viabilidad de dichos sistemas, considerando aspectos técnicos, ambientales y sociales.

El acceso al servicio de agua potable es un derecho humano esencial para el desarrollo de la vida y de todos los derechos humanos, así lo reafirmó las Naciones Unidas en Asamblea General en 2010 al firmar, la Resolución A/64/L.63/Rev.1

En Colombia solo el 34,95% de las zonas rurales cuentan con un sistema de suministro de agua que garantiza condiciones óptimas para ser utilizadas en múltiples actividades básicas de un hogar (M. D. C. y J. F. Rojas, 2018). Es importante realizar investigaciones sobre otro tipo de captaciones como son las aguas lluvias y las aguas subterráneas, que faciliten la disponibilidad del recurso y su potabilización, debido a que en varias zonas de Colombia las fuentes hídricas superficiales tienen una calidad deficiente que no es apta para el consumo humano o no están disponibles, como es el caso en la comunidad de la Zona Humanitaria “Camelias es Tesoro” de Carmen del Darién-Curbaradó donde su población se abastece de dos fuentes. Aguas subterráneas para el aseo de las viviendas y aguas lluvias sin tratamiento alguno para el consumo humano. La comunidad ha presentado

afectaciones en la piel y enfermedades gastrointestinales asociadas al consumo de agua cruda. Por esta razón se analizará la alternativa más viable entre la captación tipo aljibe o aguas lluvias para aplicar un proceso de potabilización.

A continuación, se describen los procesos de potabilización para agua lluvias. Los sistemas de captación, como techos y canales, son fundamentales para la maximización de la recolección de agua de lluvia. Se evalúa las innovaciones en el diseño y la eficiencia de estos sistemas para garantizar una captación efectiva y sostenible. Es importante identificar la precipitación en la zona, las temporadas de baja lluvia, los picos de consumos para la comunidad, con el fin de garantizar que el recurso va a estar disponible todos los días del año.

En el mundo hay diferentes metodologías implementadas para almacenar y captar agua lluvia, esto se debe a la necesidad de la demanda de agua, ya que en muchos lugares no cuentan con red de acueducto, la calidad de agua en baja y el acceso a agua potable es costoso (Castellano. L, García, C. 2015).

Para el caso de los aljibes (ecocal, 2019), menciona que el aljibe es una construcción arquitectónica para aprovechar el recurso hídrico subterráneo, por lo que el agua almacenada por el aljibe está expuesta a todo tipo de suciedad como materia orgánica de los alrededores (material vegetal, insectos e incluso materia fecal por falta de saneamiento básico) y una contaminación química causa de la actividad humana de los alrededores donde pesticidas y herbicidas pueden llegar al interior del aljibe.

Si se realiza una mirada más de cerca a las connotaciones sociales y geográficas de la comunidad citada en este escrito, se sabe que es una región del Chocó, afectada por la

violencia y el desplazamiento, con una alta contaminación de suelo y agua debido a la minería ilegal y al monocultivo de plátano.

Considerando estos factores, la monografía se orienta hacia la implementación de un sistema de potabilización de aguas lluvias. Esto se debe a que, en esta región, las precipitaciones son significativamente altas y los sistemas de recolección y tratamiento de aguas pluviales resultan ser más económicos. Por el contrario, los aljibes, aunque una alternativa tradicional, se ven gravemente afectados por contaminantes de origen antrópico. Además, para su funcionamiento adecuado, sería necesaria una infraestructura mucho más compleja. Esta incluiría, entre otros elementos, motobombas de alta presión capaces de impulsar el agua hacia una planta de tratamiento, desde donde se distribuiría posteriormente a las viviendas.

En este contexto, es fundamental considerar los avances en los sistemas de potabilización del agua de lluvia desde una perspectiva ambiental. Dichos avances no solo contribuyen de manera significativa a la sostenibilidad y a la gestión responsable del agua, sino que también tienen un impacto positivo en la calidad de vida de la comunidad. Estos sistemas innovadores permiten aprovechar un recurso natural abundante, reduciendo la dependencia de fuentes de agua subterráneas y minimizando el riesgo de contaminación asociada con los aljibes. (Naranjo Contreras, B. E., 2024).

El agua de lluvia es un recurso natural renovable que, por sus características intrínsecas, presenta bajos índices de contaminación. En áreas rurales, el acceso al agua potable puede ser una actividad poco factible debido a limitaciones de infraestructura y recursos. Por esta razón, la implementación de un sistema autosostenible para la recolección

y tratamiento del agua de lluvia surge como una alternativa viable para mitigar problemas relacionados con el estrés hídrico y la salud pública.

El agua de lluvia puede convertirse en una fuente de agua no convencional porque no depende de fuentes tradicionales de suministro de agua potable. A pesar de esto, su calidad puede considerarse adecuada si se adoptan las precauciones necesarias durante su captación y almacenamiento. Estos cuidados incluyen la instalación de sistemas de filtrado y la correcta gestión de las superficies de recolección, garantizando así que el agua mantenida en los depósitos se conserve en condiciones óptimas para su posterior uso.

Implementar sistemas de este tipo no solo proporciona una solución práctica y económica para las comunidades aisladas, sino que también contribuye a una gestión más sostenible de los recursos hídricos. Al reducir la dependencia de fuentes de agua subterránea y minimizar la exposición a contaminantes antrópicos, se mejora la resiliencia de estas comunidades frente a las variaciones climáticas y las presiones ambientales. En resumen, la captación y tratamiento del agua de lluvia representan una estrategia eficaz y sostenible para asegurar el acceso al agua potable en zonas rurales, promoviendo así el bienestar y la salud pública de sus habitantes (Hernández Avilés, D. M., & Chaparro, T. R., 2020).

## **Pregunta de Investigación.**

En la Zona Humanitaria “Camelias es Tesoro” de Carmen del Darién-Curbaradó. ¿Cuál es la alternativa más viable para garantizar el acceso sostenible a agua potable considerando las características fisicoquímicas tanto de la captación de agua de pozo como aguas de lluvias, en términos de eficiencia, sostenibilidad ambiental y accesibilidad, con el objetivo de garantizar la provisión de agua segura y saludable para la comunidad?

### **Objetivo General.**

Evaluar y proponer una solución integral y sostenible para garantizar el acceso a agua potable en la Zona Humanitaria “Camelias es Tesoro” de Carmen del Darién-Curbaradó mediante el análisis de las características fisicoquímicas de las muestras de agua, y la identificación del tratamiento de bajo costo para la captación y tratamiento de agua lluvia o la gestión de un pozo, con el fin de mejorar las condiciones de vida y promover la seguridad hídrica en la comunidad.

### **Objetivos específicos.**

- Comparar los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica, de las fuentes de agua disponibles en la comunidad, incluyendo parámetros como pH, turbidez hierro, y otros indicadores relevantes
- Realizar encuestas y entrevistas a la comunidad en términos de acceso al agua de consumo, considerando factores culturales sociales y económicos
- Identificar los requerimientos de diseño en relación con el caudal, espacio disponible y normativa ambiental.
- Evaluar las tecnologías disponibles para la captación y potabilización de agua lluvia.

### **Marco teórico.**

Es común que en la mayoría de los países que aún se encuentran en desarrollo, la cobertura del servicio de agua potable sea deficiente en zonas distantes de los centros urbanos o ciudades principales, por lo cual, las poblaciones rurales se ven afectadas en su calidad de vida. Este escenario se agrava cuando la mayoría de los sistemas de tratamiento son costosos y complejos, totalmente ajenos a las características sociales, culturales, económicas y geográficas de las zonas rurales y cuando no se cuenta con personal calificado para el manejo de los sistemas del acueducto. La escasez de agua para consumo humano en Camelias ha sido y es uno de los problemas de mayor relevancia para el asentamiento y desarrollo de las actividades humanas, por lo cual hoy en día en la comunidad de Camelias padece un sinnúmero de casos de enfermedades gastrointestinales, en la piel entre otras afectaciones constantes, de igual manera ha generado que la gestión comunitaria del agua se lleve a cabo de una manera poco equitativa aumentando así los problemas sociales de la zona humanitaria.

Colombia, por su diversidad topográfica, valles, montañas y demás, es un país con acceso a diferentes recursos naturales, según Cajal (2018), la extensa disponibilidad del recurso hídrico ya que cuenta con dos océanos, gran cantidad de fuentes superficiales, lagos, que generan oportunidades significativas para llevar a cabo una gestión y desarrollo sobre el componente hídrico. Este país es considerado uno de los países más lluviosos del planeta. Según Carvajal (2017), los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO,2017) afirman que en el territorio colombiano anualmente se ha registrado en promedio, un total de 3.240 milímetros de lluvia. En Colombia, un bajo porcentaje de agua de lluvia se aprovecha, ya que la mayoría discurre por los colectores de agua lluvia u otra parte se aposa en las superficies y, del porcentaje restante,

una parte vuelve a la atmósfera para realizar el ciclo natural del agua, razón por la cual el resto, que es un porcentaje mínimo, se almacena para las actividades en las que se puede implementar, que no representan un ahorro considerable frente a las cantidades desperdiciadas día a día.

Sin embargo, en poblaciones rurales no se cuenta con los servicios públicos básicos, por esta razón se han analizado opciones para el tratamiento de agua lluvia o de aljibe y adaptarlas a alternativas de bajo costo que posean la capacidad de suplir la demanda de agua apta para el consumo humano. Para identificar la mejor alternativa acorde a la comunidad se debe realizar una viabilidad técnica en cuanto a instalación, operación y mantenimiento, al igual se debe garantizar la disponibilidad continua y fiable considerando la variabilidad climática o problemas ambientales locales, los costos económicos en la implementación y el mantenimiento a largo plazo. También se debe de garantizar el cumplimiento normativo que para el caso de estudio aplica la resolución 2115 del 2007, del Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano.

Como en numerosos países del mundo, en Colombia el marco institucional del sector del agua está sectorizado. En lo que respecta al agua potable, los municipios tienen la responsabilidad de garantizar la prestación de este servicio. A menudo, a través de las Secretarías de Salud Municipal, se realizan inversiones en acueductos rurales y se brinda apoyo institucional a las empresas de servicios públicos, u otras entidades prestadoras de servicio. Esto ha llevado a que el enfoque de estas inversiones se centre en resolver problemas

de salud pública, condicionando la inversión en infraestructura exclusivamente para uso doméstico, especialmente para agua potable.

Las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), responsables de la gestión, administración y monitoreo de los recursos hídricos, pueden desempeñar un papel importante en la integración del sector de recursos hídricos. Uno de sus instrumentos es la asignación de concesiones de agua para diferentes usos, o también están los programas subsidiados, como el del Ministerio de vivienda que través del Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico -VASB, estructuró conjuntamente con el DNP el documento de CONPES 3810 de 2014 de Política, con el objeto de cumplir con lo dispuesto por el PDN 2010-2014: “Definir una política integral de acueducto, alcantarillado y aseo para el sector rural, que se financie con aportes de la Nación y entidades territoriales, la cual debe estar articulada con las estrategias de vivienda rural del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural”.

Debido a la dificultad para acceder y gestionar recursos para implementar en las comunidades soluciones tradicionales para abastecer agua potable, este trabajo se centró en ofrecer una alternativa autogestionaria para que la comunidad, implemente sistemas de tratamiento que les ayuden a mejorar su salud y calidad de vida.

### **Área de Estudio**

Colombia, situada en la esquina noroccidental de América del Sur, es un país conocido por su rica diversidad cultural y biológica. Limita al norte con el mar Caribe, al oeste con el océano Pacífico, al este con Venezuela y Brasil, y al sur con Perú y Ecuador. Esta diversidad se refleja en sus distintas regiones geográficas, cada una con características únicas que contribuyen a la complejidad y riqueza del país. La región del Pacífico colombiano se extiende entre la cordillera Occidental de los Andes al oriente y el océano Pacífico al

occidente. Al norte, limita con Panamá, y al sur, con Ecuador. La región es notable por su alta biodiversidad, con muchas especies de flora y fauna, recursos hídricos y minerales. Además, es una zona de gran riqueza cultural, donde conviven diversos grupos indígenas y afrodescendientes, cada uno con sus propias tradiciones y formas de vida.

Dentro de la región del Pacífico, el Departamento del Chocó se destaca por su exuberante naturaleza y diversidad étnica. Compuesto por 30 municipios, Chocó se divide en cinco subregiones basadas en el curso del río Atrato: la región del Litoral Pacífico, la región del Bajo Atrato (también conocida como Urabá chocoano), la región del Bajo San Juan, la región del Medio Atrato y la región del Alto Atrato. Cada una de estas subregiones posee características geográficas y culturales propias, contribuyendo al mosaico que forma el Chocó.

El área de estudio específica para esta monografía se centra en la región del Bajo Atrato, ubicada dentro del Departamento del Chocó. Esta región, caracterizada por su densa vegetación y numerosos cuerpos de agua, es hogar de comunidades predominantemente afrodescendientes. Dentro del Bajo Atrato se encuentra el municipio del Carmen de Darién, un lugar significativo tanto por su biodiversidad como por su importancia cultural. El Carmen de Darién, con una latitud de 7.15892 y una longitud de -76.9565, es atravesado por el río Atrato, uno de los ríos más importantes de Colombia. Las comunidades ubicadas en las cuencas de los ríos Curvaradó y Jiguamiandó forman parte de este municipio. Estas áreas no solo son ricas en recursos naturales, sino que también enfrentan desafíos relacionados con el acceso al agua potable y la sostenibilidad ambiental (Martínez, 2013).

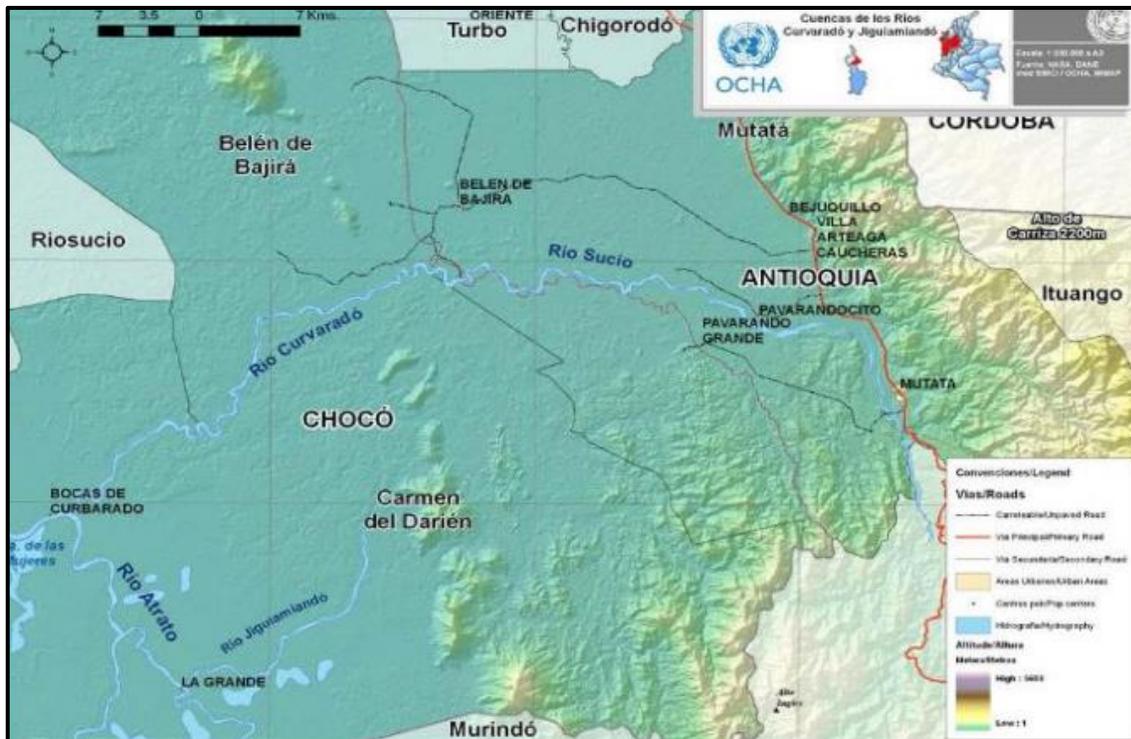


Ilustración 1. Municipio Carmen del Darién-Curvaradó (Tomada de PBI Colombia, 2011).

La zona específica de estudio para este trabajo es la zona humanitaria “Camelias es Tesoro”, ubicado en el municipio del Carmen del Darién Curvaradó. Con una población aproximada de 174 habitantes y alrededor de 35 viviendas. A través de la encuesta realizada para este trabajo, se determinó estos datos. Es importante mencionar que la zona la delimitó la misma comunidad y, por el conflicto armado al que están expuestos constantemente, se vieron en la necesidad de denominarse zona humanitaria.



Fotografía 1. Zona humanitaria Camélias Tesoro

Fuente: Elaboración propia

Según el informe nacional de la calidad de agua para consumo humano del gobierno nacional, en el año 2022, se constató que 64 municipios no cumplieron con el requisito de notificar las muestras correspondientes a la vigilancia de la calidad del agua en el Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP), entre ellos en Carmen del Darién, por lo que no se tiene un dato verídico de la calidad de agua en este municipio, según otras investigaciones como las de Mosquera-Torres, Y.E., García, E., Mena, D.A. 2024 manifiestan que debido a la presencia principalmente de unidades formadoras de colonia de *Escherichia Coli* y Coliformes totales, se concluyó que el agua lluvia en la zona del Chocó, no cumple con los estándares establecidos en los parámetros evaluados y requeridos por la norma, lo que significa que no es segura para el consumo humano debido al nivel de contaminación que presenta.

## Metodología.

La metodología utilizada para realizar la revisión y el análisis de cada una de las alternativas de abastecimiento de agua cruda para la comunidad de camelias se centrarán en los siguientes tres pilares:

- Investigación de la información existente en el municipio relacionada con el proyecto.
- Levantamiento de las estructuras existentes (captación, aljibes y tanque de almacenamiento)
- Toma de muestra de agua cruda de las fuentes de abastecimiento.

En la Tabla 1 se detalla la metodología que se empleó para llevar a cabo la respuesta de la pregunta de investigación.

*Tabla 1. Metodología implementada*

| <b>Etapas</b>  | <b>Descripción</b>  |
|--|---|
| <b>Recopilación de información</b>                                 | I. Entrevistas con la comunidad<br>II. Trabajos e investigaciones relacionados                            |
| <b>Identificación de las fuentes y gestión del recurso hídrico</b> | I. Levantamiento del abastecimiento actual<br>II. Toma de muestras in Situ<br>III. Análisis IRCA          |
| <b>Identificación de los parámetros de diseño</b>                  | I. Caudal requerido, espacio disponible<br>II. Normativa ambiental, con la autoridad ambiental CODECHOCHO |
| <b>Selección de tecnologías y equipos</b>                          | I. Configuración del sistema de captación de aguas lluvias  |

| <b>Etapa</b>         | <b>Descripción</b>   |
|----------------------|--|
|                      | II. Configuración y determinación del sistema de bombeo de los aljibes                                 |
|                      | III. Tipos de tratamiento que garanticen el consumo del agua   |
|                      | IV. Materiales de construcción relacionado costo beneficio, durabilidad, mantenimiento y escala social |
| <b>Esquema final</b> | Entrega de planos con la alternativa determinada   |
| Elaboración propia.  |  |

Considerando los datos de laboratorio obtenidos a partir de las muestras de agua cruda de las fuentes de abastecimiento destinadas al consumo en Camelias, y tomando en cuenta los parámetros recomendados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) y lo establecido en la Resolución 0844 de 2018, se determinó el tratamiento más adecuado para garantizar la calidad del agua. Este proceso de selección no solo se basó en los criterios técnicos y normativos, sino que también se valoró el componente social de la zona de interés.

Es fundamental tener en cuenta las características específicas de la comunidad de Camelias, sus hábitos de consumo, y las condiciones socioeconómicas, para implementar un sistema de tratamiento que sea eficiente y sostenible a largo plazo. Al integrar estos factores, se busca asegurar que el tratamiento del agua no solo cumpla con los estándares de calidad exigidos, sino que también sea apropiado y aceptable para la población local, promoviendo así su adopción y correcto uso. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), 2.100 millones de personas alrededor del mundo no tienen acceso al agua. Las fuentes de

agua contaminadas pueden causar problemas de salud pública por la propagación de enfermedades de origen hídrico, indicando que se necesitan tratamientos eficaces para su adecuación y posterior consumo. La necesidad de ofrecerles a las personas provenientes de comunidades rurales las mejores condiciones de vida ha hecho que la comunidad científica se preocupe por considerar la implementación de varias alternativas que puedan solucionar los problemas de salubridad pública y de cuidado del ambiente. Por lo que la Resolución 0844 del 2018 establece los requisitos técnicos aplicables en las etapas del proyecto. Con el fin de que las poblaciones asentadas en zonas rurales puedan acceder al consumo de agua, en el cual se cuenta con principios orientadores en aras de que el proyecto sea fructífero. El primer principio es la progresividad, el cual se debe enfocar en la atención prioritaria entorno a la necesidad básica del agua, el segundo es la implementación de soluciones tecnológicas apropiadas, que permite aplicar tecnologías simple, adecuada y que presente un costo-eficiente en relación con las necesidades y expectativas de la comunidad, promoviendo la participación comunitaria en la selección de tecnologías, el tercer ítem de control es la disponibilidad del agua, donde se deberá considerar la disponibilidad del recurso hídrico, por lo que se debe de incluir medidas de mejora para la calidad del agua disponible e implementación de prácticas para el uso sostenible del agua, el cuarto punto es la sostenibilidad ambiental en la cual se debe de identificar las medidas de protección, de ahorro y un consumo responsable buscando el enfoque de economía circular, el quinto punto es la sostenibilidad operativa, este enfoque es transversal a todas las etapas del proyecto debido a que la comunidad misma es la que debe de hacerse cargo de la gestión sostenible de los servicios públicos domiciliarios, con el fin de tener una administración y poder recuperar costos y garantizar el funcionamiento permanente y eficiente, por lo tanto se debe de contar

con la participación comunitaria y una gestión social que garantice que la comunidad priorice el proyecto y este se lleve a cabo.

El tratamiento que se debe dar al agua cruda depende de su calidad, de sus características físicas, químicas y microbiológicas. Las condiciones naturales de la fuente, que están alteradas por la actividad humana, por lo que para determinar cuál de las alternativas es la más conveniente, se evaluará la disponibilidad del recurso y considerando el IRCA se determinará la fuente de abastecimiento principal y posteriormente, tratando de ajustar la prestación de este servicio a los términos legales establecidos en el RAS y en la resolución 0844 de 2018 relacionadas con el suministro de agua apta para consumo humano.

En consecuencia, se llevó a cabo una encuesta cualitativa y cuantitativa para medir y evidenciar las condiciones de saneamiento básico que posee la comunidad que habita la zona Humanitaria de Camelias.

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) establece que, para asentamientos rurales, la dotación bruta máxima permitida es de 100 litros por habitante por día (l/hab/d). Sin embargo, al realizar un análisis detallado de la comunidad de Camelias, sus actividades económicas y las características climáticas de la zona, se identifica que la dotación establecida en la norma no puede suplir adecuadamente la demanda requerida. Por ello, se establece una dotación de 140 litros por habitante por día (l/hab/d), considerando que la comunidad necesita una mayor cantidad de agua tanto para consumo como para sus actividades diarias.

Este incremento en la dotación implica la necesidad de considerar alternativas en el diseño del sistema de abastecimiento. Una de las opciones es el uso de fuentes de agua alternas para complementar el suministro. Otra alternativa importante es la promoción de

medidas de uso eficiente del agua. Estas medidas pueden incluir la implementación de tecnologías y prácticas que reduzcan el consumo de agua en ciertos usos, permitiendo así la disponibilidad necesaria para otros. Este enfoque holístico y adaptativo asegura que la demanda de agua de la comunidad sea satisfecha de manera sostenible y eficiente.

### **Recopilación de información**

Las investigaciones y trabajos relacionados con el medio ambiente en zonas de estudio de menos de 200 habitantes presentan desafíos únicos y complejos. Las zonas con poblaciones reducidas y condiciones humanitarias específicas suelen estar marcadas por limitaciones en infraestructuras, recursos financieros y capital humano. Estas áreas, al ser menos atractivas para la inversión y el desarrollo de proyectos, suelen quedar rezagadas en términos de avances tecnológicos y científicos. La situación se agrava en contextos de violencia, donde la inseguridad y el riesgo constante desalientan la presencia de investigadores, técnicos y profesionales de diversas disciplinas.

En la zona humanitaria de Camelias, la ausencia de estudios se hizo especialmente notoria. Esta falta de investigaciones se atribuye, en primer lugar, a la población reducida y dispersa, lo que implica que las investigaciones tienen menor repercusión directa en términos de beneficiarios potenciales. Esta situación disminuye el interés de financiadores y organizaciones no gubernamentales. Además, la recolección de datos en áreas con conflictos activos o latentes presenta riesgos significativos para la seguridad de los investigadores, limitando el acceso a información crítica sobre el estado del medio ambiente, los recursos naturales y la salud pública.

Sin embargo con el fin de obtener información de primera mano se utilizó como técnica una entrevista para recopilar información, la cual se basó en una charla abierta donde

hay una serie de preguntas que no son limitantes para la consecución de información, donde el entrevistado da sus comentarios de manera general, cada pregunta está diseñada para que las personas puedan tener una libre expresión, también se tiene charlas informales con la población residente de la zona humanitaria de Camelias.

A continuación, se listan las siguientes preguntas que se aplicaron a 22 familias de las 33 presentes en la zona humanitaria Camelias.

1. Información general del grupo familiar:

Nombre, edad y ocupación

2. Datos de la vivienda.

Propia \_\_\_\_\_ Arrendada \_\_\_\_\_

Tiene: Ducha \_\_\_\_\_ Baño \_\_\_\_\_ Lavaplatos \_\_\_\_\_ Lavarropa \_\_\_\_\_

3. ¿De dónde abastece el agua para su grupo familiar?

4. ¿En que almacena y que tipo de tratamiento le hace al agua que consume?

5. ¿Cuál cree usted que es la calidad del agua que consume?

6. ¿Cuál es la disposición final de las excretas?

Pozo séptico \_\_\_\_\_ letrina \_\_\_\_\_ Al aire libre \_\_\_\_\_

7. ¿Qué tipo de Enfermedades más comunes han presentado en su grupo familiar?

8. ¿Le gustaría que su vecindario cuente con una planta de tratamiento de agua potable?

9. ¿Cuántas personas habitan la vivienda?

Esta encuesta sirvió de insumo para evaluar las condiciones sanitarias, identificar enfermedades asociadas a sistemas deficientes de saneamiento básico y requerimientos de la comunidad.

### **Identificación de las Fuentes y Gestión del Recurso Hídrico (Diagnostico)**

Hoy en día la comunidad de Camelias lleva a cabo en algunas viviendas la captación de aguas lluvias, que instala cunetas elaboradas en zinc, que luego se dirigen a tanques de almacenamiento con un volumen útil de 500 a 1000 litros. Después del almacenamiento, el agua la consumen directamente los habitantes de la zona humanitaria, donde algunos poseen la facilidad de aplicarle cloro, hervir o consumirla directamente. En la fotografía 2 se evidencia una captación de agua lluvia elaborada por habitantes de la zona.

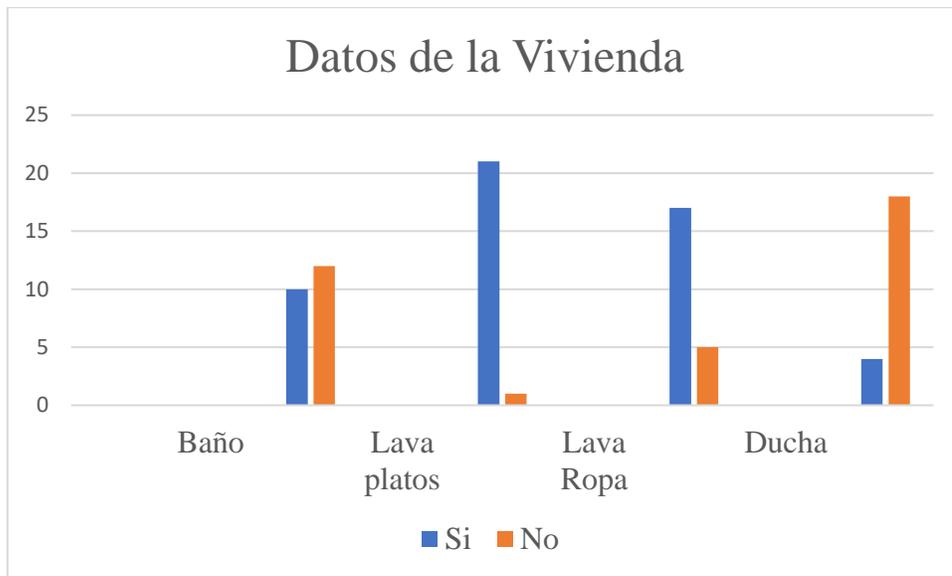


Fotografía 2. Sistema de captación aguas lluvias

De igual manera, la comunidad posee un aljibe comunitario equipado con una motobomba y una manguera elástica que permite distribuir el agua a diferentes viviendas. Sin embargo, este aljibe presenta varias deficiencias estructurales: carece de recubrimiento en los anillos, no posee tapa ni dique de control. Estas deficiencias han llevado a una contaminación cruzada debido a la presencia de diversos vectores en la comunidad, tales como el uso de plaguicidas y la exposición a excretas. Como resultado, la escorrentía y la filtración han permitido que estos contaminantes lleguen al aljibe, afectando negativamente la calidad del agua disponible para la comunidad.

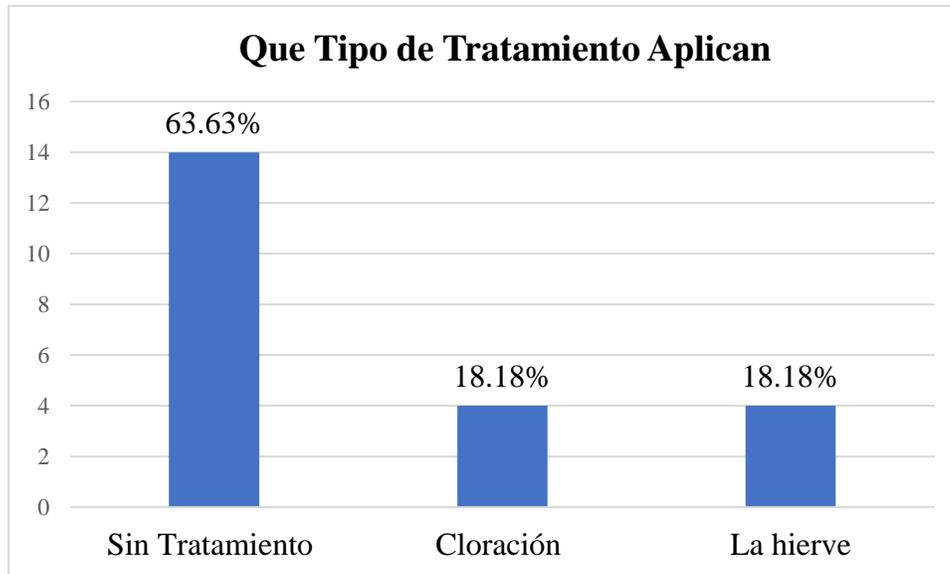
Teniendo en cuenta la disponibilidad y gestión del recurso hídrico, así como los datos recopilados a través de encuestas realizadas, se elaboraron diversas gráficas para obtener información detallada sobre la comunidad de Camelias. En una de estas gráficas se describe la distribución de espacios en las viviendas para realizar tareas de aseo y saneamiento. El análisis revela que más del 50% de las familias no dispone de baños, letrinas ni duchas, aunque todas cuentan con al menos un lavaplatos o lavadero. Esta carencia de instalaciones adecuadas impide que la mayoría de las familias lleven a cabo sus actividades de saneamiento

básico de manera adecuada, lo cual representa un desafío significativo para la salud y el bienestar de la comunidad.



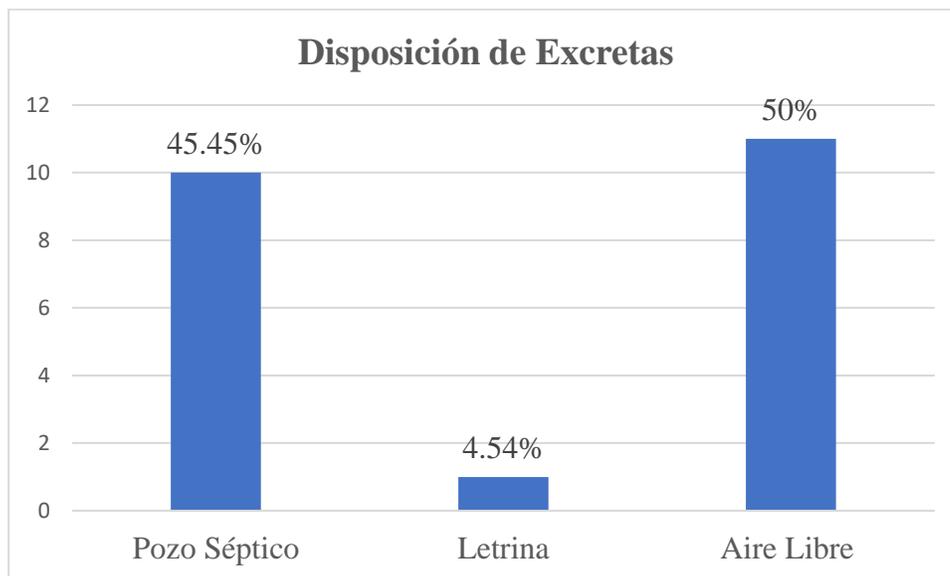
Grafica 1. Reconocimiento de viviendas

Esta gráfica describe los tipos de tratamiento que aplican las familias para el consumo de agua desde sus dos fuentes abastecedoras de agua, tanto de agua proveniente del aljibe o aguas lluvias siendo esta ultima la más utilizada para consumo. Los datos que más prevalece con valores del 63.6 % expresa que las familias no realizan ningún tipo de tratamiento al agua, el 18% realizan cloración indiscriminadamente, sin dosificaciones claras y sin un tipo de tratamiento o filtración previa.



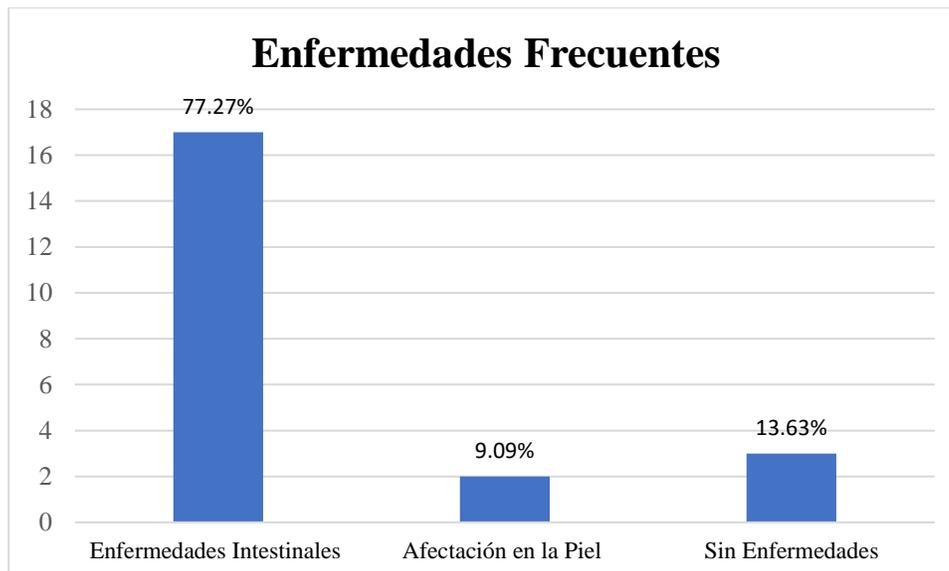
*Grafica 2. Tratamiento actual*

En el caso de Camelias el 50% de la población realiza sus necesidades fisiológicas al aire libre, en los alrededores de la zona, donde están presentes las plantaciones de plátano.



*Grafica 3. Disposición de excretas*

El 77.2 % de las familias indican haber tenido en algún momento enfermedades diarreicas e intestinales y el 9 % han presentado algún tipo de afectaciones en la piel. La mitad de la población dispone de sus excretas al aire libre lo que puede causar infiltración en la fuente de abastecimiento (aljibe comunitario), aunque el IRCA para agua lluvias es bueno y apta para consumo humano, puede haber contaminación cruzada dentro del hogar por mezclar ambas aguas en los tanques de almacenamiento o en el aseo de la vivienda, pues durante la entrevista la mayoría coincidió en que con el agua proveniente del pozo realizaban todo el aseo incluida la ducha y el agua lluvia solo era para preparar alimentos.



*Grafica 4. Enfermedades frecuentes*

Posterior a realizar las encuestas se llevó a cabo una toma de muestra puntal el día 14 de octubre del año 2023.

Para realizar la toma de muestras manual de agua potable en un tanque de almacenamiento, se debe seguir un proceso detallado que cumpla con los estándares. Para

este caso se aplicó el instructivo de toma de muestra detallado por CORNARE. A continuación, el proceso general:

## **Preparación y Equipamiento**

**Equipamiento de Protección Personal (EPP):** Se usó el equipo adecuado como guantes desechables, gafas de seguridad y batas, para garantizar la seguridad y evitar la contaminación cruzada.

**Material de Muestreo:** se prepararon los recipientes de muestreo estériles, de plástico y con tapa hermética.

## **Toma de la Muestra**

**Muestreo Manual:** Se dejó fluir el agua durante al menos 2 minutos antes de la toma de muestra para evitar agua estancada. Para el caso de la toma de muestra para agua lluvias se realizó un tanque de almacenamiento por la válvula de salida del agua y para el caso del aljibe se realizó en la descarga de la tubería de succión.

**Desinfección del Punto de Muestreo:** Se desinfectó el punto de muestreo con un paño limpio empapado en una solución de hipoclorito de sodio o calcio con una concentración del 5 al 10% de cloro activo, se llenó recipiente de muestreo hasta dejar al menos 5 cm de espacio libre

**Sellado del Recipiente y rotulado:** se cerró el recipiente de muestreo inmediatamente después de llenarlo para evitar la contaminación y asegurar la integridad de la muestra. Se rotuló con cinta y marcador para identificar la procedencia de la muestra.

## Análisis de la Muestra

Las muestras se enviaron al laboratorio Hidro Química en Medellín, acreditado por el IDEAM. A continuación en la Tabla 2, se describen los parámetros principales escogidos para el análisis y la metodología utilizada por el laboratorio.

*Tabla 2. metodología utilizada para el análisis de las muestras*

| <b>Parámetro</b>                            | <b>Método</b>                       |
|---|-------------------------------------|
| Coliformes Totales (NMP/100mL)              | Sustrato enzimático multicelda      |
| Escherichia Coli (NMP/100mL)                | Sustrato enzimático multicelda      |
| Color Aparente (UPC)                        | Espectrofotómetro                   |
| pH a 25°C (Unidades de pH)                  | Electrométrico                      |
| Turbiedad (NTU)                             | Nefelometría                        |
| Hierro Total (mg Fe/L)                      | Espectroscopía de Absorción Atómica |
| Alcalinidad Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L) | Volumetría                          |

Elaboración Propia

Después del análisis de los resultados de las muestras y por las condiciones sanitarias del lugar se presume que el agua proveniente del aljibe posee condiciones desfavorables sanitariamente. Según los antecedentes, en la zona hay una baja cobertura de alcantarillado por lo que sus necesidades primarias son hechas en los cultivos de plátano, lugares cerca al aljibe que tiene una alta susceptibilidad de ser contaminado por residuos químicos y/o coliformes fecales a través de la infiltración o escorrentía.

Por otro lado, se encuentra el agua lluvia, captada por los techos y conducida hasta tanques de almacenamiento, se cree que, por la capacidad del medio ambiente de depurar el agua lluvia, podría ser de mejor calidad.

Igualmente, se debe considerar el gasto energético para captar el aljibe, ya que en la zona se presenta intermitencia en el servicio de energía lo que pueden impedir el correcto funcionamiento del sistema, a diferencia del agua lluvia que se desarrolla por gravedad. Es importante mencionar que depende del sistema de potabilización, en ocasiones el sistema de agua lluvia suele ser más fácil de implementar, pero se puede ver afectado por periodos prolongados sin precipitaciones.

Por estas razones se podría escoger la alternativa de agua lluvias para el diseño del sistema de potabilización la zona humanitaria de Camelias.

En la siguiente tabla se realiza el comparativo de los análisis del laboratorio que se aplicaron a las tomas de muestra de ambas fuentes abastecedoras en este caso aguas lluvias y pozo tipo aljibe, con los valores máximos permitidos según la resolución 2115 de 2007

En la , los valores obtenidos para cada parámetro de la muestra del aljibe, comparados con la resolución 2115 de 2007

*Tabla 3. Comparativo normativa ambiental aljibe*

| <b>Parámetro</b>   | <b>Unidades</b> | <b>Valor<br/>Obtenido</b> | <b>Valor máximo<br/>permitido.</b> | <b>Cumple</b> |
|--------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------------|---------------|
| Color aparente     | UPC             | 14,6                      | 15                                 | Si            |
| pH a 25 °C         | Unidades de pH  | 5,80                      | 6.5 - 9.0                          | No            |
| Hierro Total       | Mg Fe/L         | <0,300                    | 0,3                                | Si            |
| Alcalinidad Total  | Mg CaCO3/L      | <20                       | 200                                | Si            |
| Turbiedad          | NTU             | 0,55                      | 2                                  | Si            |
| Coliformes totales | (NMP/100mL)     | 870,4 x 10 <sup>3</sup>   | <1                                 | No            |
| Escherichia Coli   | (NMP/100mL)     | 1,0 x 10                  | <1                                 | No            |

Elaboración propia.

En la Tabla 4 , se consolidan los valores obtenidos para cada parámetro de la muestra del agua lluvia, comparados con la resolución 2115 de 2007

Tabla 4. Comparativo normativa ambiental aguas lluvias

| <b>Parámetro</b>   | <b>Unidades</b> | <b>Valor Obtenido</b> | <b>Valor Máximo Permitido</b> | <b>Cumple</b> |
|--------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------------|---------------|
| Color Aparente     | UPC             | <5,00                 | 15                            | Si            |
| pH a 25°C          | Unidades de pH  | 7,31                  | 6.5 - 9.0                     | Si            |
| Turbiedad          | NTU             | 1,5                   | 2                             | SI            |
| Coliformes Totales | (NMP/100mL)     | <1                    | <1                            | Si            |
| Escherichia coli   | (NMP/100mL)     | <1                    | <1                            | SI            |

Elaboración propia.

A continuación, con los valores anteriores se presenta el cálculo del IRCA Según la resolución 2115 de 2007. El cálculo del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, IRCA, se realizará utilizando las siguientes fórmulas.

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{\text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

Es importante resaltar que tanto los puntajes de riesgo como la calificación final se obtienen en estricta conformidad con los lineamientos establecidos en la Resolución 2115 de 2007. Este marco normativo proporciona las directrices y parámetros necesarios para la

evaluación y gestión del riesgo en el suministro de agua potable. La resolución define los criterios específicos para la identificación y análisis de riesgos, así como los procedimientos para su monitoreo y control. Al seguir estos lineamientos, se asegura una evaluación precisa y consistente del riesgo, garantizando que los resultados obtenidos reflejen adecuadamente las condiciones de calidad del agua y las posibles amenazas a la salud pública. Este enfoque metodológico riguroso permite no solo una calificación final fiable, sino también la implementación de medidas correctivas y preventivas efectivas, conforme a las mejores prácticas y estándares internacionales en la gestión del agua potable.

A continuación, se presenta el IRCA para los valores de la toma de agua del aljibe

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{41,5}{65} \times 100$$

$$\text{IRCA (\%)} = 63,84$$

De igual manera se determinó el IRCA para los valores de la toma de agua lluvias

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{0}{65} \times 100$$

$$\text{IRCA (\%)} = 0$$

### **Alternativa Propuesta.**

En consecuencia, con los valores y tablas establecidas en la normativa ambiental vigente se analiza que de las dos fuentes abastecedoras de agua para la comunidad de Camelias la mejor opción, susceptible a tratamiento individual, es el agua lluvia, ya que de acuerdo con el IRCA calculado; el agua no representa riesgo y es apta para el consumo humano, por el contrario, el agua que proviene del aljibe tiene riesgo alto y no es apta para el consumo humano, lo que puede deber y como se mostró en gráficos anteriores más del 60 % de la población excreta al aire libre.

Por tal motivo, la adecuada y principal fuente para abastecimiento de agua en la “zona humanitaria de camelias es tesoro” es la alternativa de aguas lluvias. La demanda de agua en la zona supera la oferta anual basada en la precipitación. Por esta razón, se debe utilizar el aljibe existente como fuente secundaria. Este aljibe puede proporcionar un servicio auxiliar si el agua se filtra y desinfecta después, ya que su calidad no es apta para el consumo. Este proceso también garantiza la disponibilidad continua del recurso.

### **Identificación de los Parámetros de Diseño**

Aunque en Colombia existen diversas metodologías y técnicas para diseñar unidades de sistemas de tratamiento, no se analizan los casos específicos en los que la dotación per cápita sea mayor o inferior según las necesidades de la comunidad. En saneamiento rural, se observan opciones que aún no cuentan con la normativa correspondiente ni con la validación respecto a su eficiencia y seguridad de manipulación. Por ejemplo, las letrinas y sistemas sépticos artesanales que no facilitan el mantenimiento, sumado a la necesaria capacitación de las familias sobre los procedimientos para la manipulación y disposición segura de excretas en las comunidades rurales (Mejía, A., Castillo, O., & Vera, R. (2016).

Esta situación se replica en las unidades de captación, donde no se cumplen aspectos técnicos como la construcción de bocatomas y desarenadores; sin embargo, se lleva a cabo el suministro de agua potable apta para el consumo humano. En la comunidad de Camelias, aunque la mejor calidad de agua se obtiene de la captación de aguas lluvias, se diseñará un sistema de filtración individual para cada vivienda. Este sistema también podrá filtrar el agua del aljibe, garantizando un suministro continuo de agua apta para el consumo y reduciendo la dependencia de una sola fuente abastecedora.

Con el fin de identificar el correcto caudal para el sistema de tratamiento que requiere la población de Camelias se lleva a cabo la proyección de población mediante el método geométrico, teniendo en cuenta una proyección de diez años con una tasa de crecimiento del 0,02% en la Tabla 4 se consolidan los datos obtenidos.

*Tabla 4. Proyección de población*

|  |        |
|--|--------|
| Población encuestada (hab)                     | 119    |
| Población promedio                             | 174    |
| Tasa de crecimiento poblacional                | 0,02 % |
| Tiempo de proyección (años)                    | 10     |
| Población proyectada $P(t)=P_0 \times (1+r)^t$ | 212.11 |
| Dotación máxima para zona rural (L/Hab/Día)    | 140    |
| Q de consumo (L/día)                           | 29,695 |
| Caudal Promedio (L/s)                          | 0,3436 |

Elaboración propia.

Igualmente, se determina el caudal por vivienda, para conocer cuál es la necesidad de agua para cada familia.

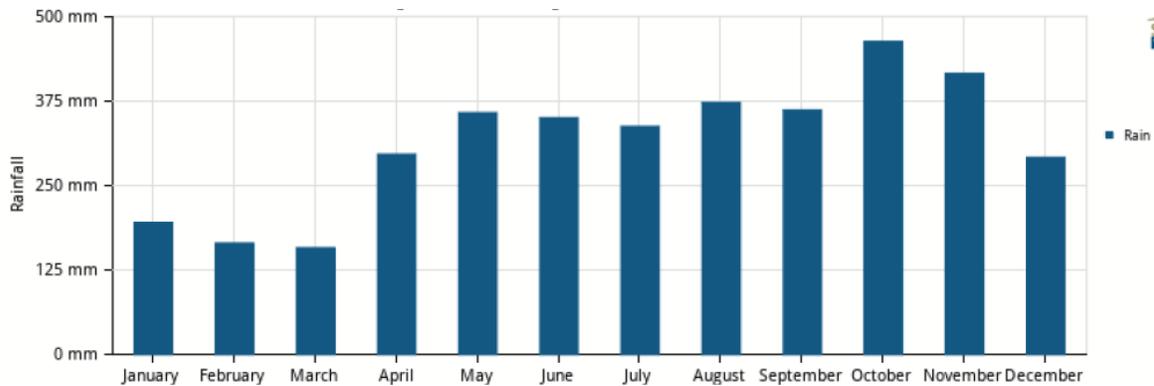
*Tabla 6. Determinación de caudal individual*

|   |         |
|---|---------|
| Promedio de usuarios por hogar (Hab)                | 5,4     |
| Caudal promedio de consumo por vivienda (L/Hab/día) | 756     |
| Caudal promedio (L/s)                               | 0,00875 |

Elaboración propia.

Posterior a conocer el caudal requerido, se identificó que la comunidad de Camelias requiere de 0.3436 L/s, para un caudal de este tamaño se necesita del diseño de un sistema de tratamiento convencional, que deberá de contar con recursos disponibles para llevar a cabo el proyecto, sin embargo al conocer la problemáticas de la zona, y que en caso anteriores se han realizado la instalación de sistemas de tratamiento, los cuales no perduran en el tiempo por el tema de operación y costos asociados, se decide realizar una análisis del abastecimiento de agua apta para el consumo humano de manera individual, para esto se utiliza la herramienta de *SamSam Water*, que conociendo la ubicación del área de influencia realiza un análisis histórico de la precipitación de la zona, y con el área del techo disponible y el tipo de material procede a simular el volumen de agua que se puede obtener.

Para el caso de camelias se realiza la simulación teniendo en cuenta una dotación de 140 L/hab/día, una población de cinco personas y un área disponible del tejado de 30 m<sup>2</sup> obteniendo los siguientes resultados.

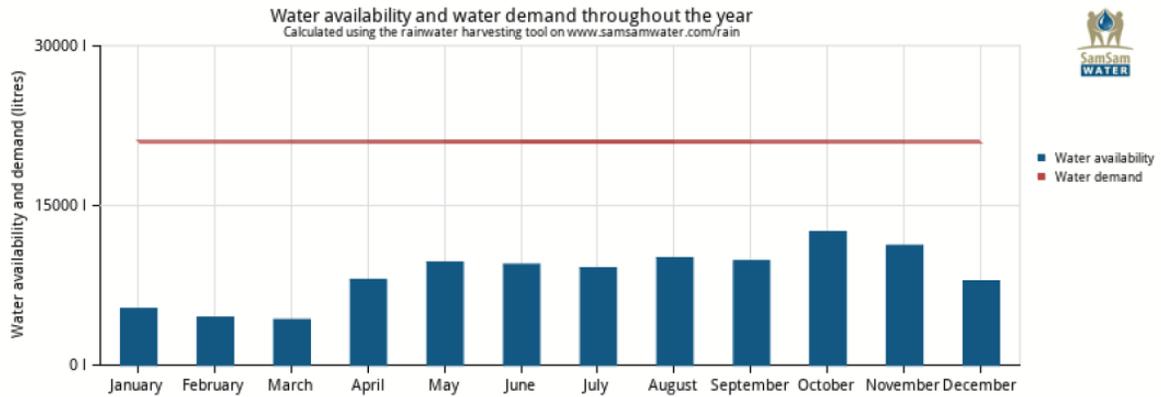


*Ilustración 2. Precipitación media*

Fuente: SamSamWater

La precipitación media en esta localidad varía entre 157,5 mm en el mes más seco (marzo) y 462,9 mm en el mes más lluvioso (octubre). La precipitación total anual en un año medio es de 3.762 mm. Partiendo de este valor de precipitación se analiza el potencial de escorrentía que tienen los techos de teja de zinc el cual al ser un tejado de metal tiene un coeficiente de escorrentía de 0,9, lo que significa que se puede recoger el 90% de la lluvia. con base a este coeficiente de escorrentía y una superficie de tejado de 30 metros cuadrados, se puede recoger un volumen de 4.253 litros (157.5 mm x 30 m<sup>2</sup> x 0,9) de agua en el mes más seco (marzo) y 12.498 litros (462,9 mm x 30 m<sup>2</sup> x 0,9) en el mes más lluvioso (octubre). La cantidad total anual de agua que se puede recoger del tejado es de 101.600 litros (102 m<sup>3</sup>) en un año medio.

Sin embargo, la demanda de agua es de 700 litros al día, lo que equivale a unos 21.000 litros al mes. La demanda total de agua es de 255.500 litros (255,5 m<sup>3</sup>) al año. La cantidad de agua que se puede recoger del tejado (102 m<sup>3</sup>) es menor que la demanda de agua (255,5 m<sup>3</sup>). Solo una parte de la demanda de agua se puede satisfacer mediante un sistema de captación de agua de lluvia.



*Ilustración 3. Demanda vs Oferta*

Fuente: SamSamWater

La cantidad total de agua que se puede recoger de este tejado, 101.600 litros anuales, no es suficiente para satisfacer la demanda total de agua de 255.500 litros anuales.

Sin embargo, aún podría valer la pena construir un sistema de recolección de agua de lluvia. Con un depósito de almacenamiento de 12.200 litros (12,2 m<sup>3</sup>), un sistema de recolección de agua de lluvia podría proporcionar 278 litros de agua por día, lo que supone el 40% de la demanda total. El depósito de almacenamiento se llenará y luego se vaciará lentamente hasta que esté (casi) vacío a fines de abril, el mes más seco del año.

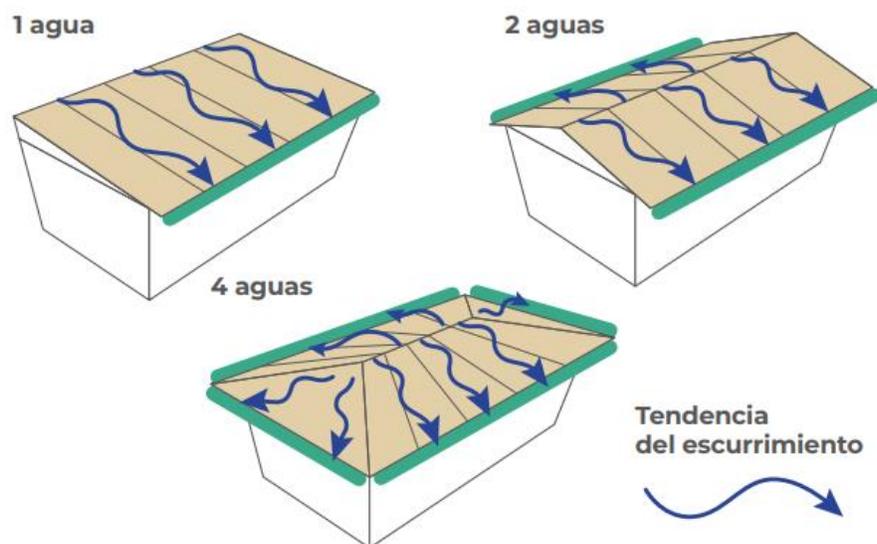
El tipo de material de la cubierta es de gran importancia, ya que el agua lluvia puede sufrir alteraciones en su calidad al circular a través de ella. La cubierta de captación debe estar hecha de un material favorable para el escurrimiento del agua lluvia. Se recomienda el uso de lámina metálica, comúnmente llamada zinc, aunque existen otros materiales para la cubierta. Este tipo de captación es habitual en un sistema de recolección de agua lluvia a nivel domiciliario. El tipo de material de la cubierta es un factor importante para la calidad del agua pluvial, y su área de captación es elemental para la cantidad de agua recolectada que se

pueda captar. Otra condición que corresponde cumplir la superficie de captación debe ser de fácil escurrimiento, así como impermeable.

Los tipos de materiales que emplean para la construcción de una cubierta pueden ser: lámina metálica, tejas de arcilla, tejas de madera, asbesto cemento, entre otros. Hay diferentes porcentajes de escurrimiento, según el tipo de material para cubierta.

El material para la conducción debe ser ligero y fácil de manipular para poder adosarlo junto a la cubierta. La conducción con PVC tiene como beneficio por ser de bajo costo y fácil de instalar, se lo puede encontrar en el mercado mientras que la canaleta de cobre tiene una vida útil mayor a la de PVC pero la desventaja de este material es que cuenta con un mayor costo y dificultad de implementar.

El sistema de recolección y conducción de agua está compuesto por canaletas y tuberías de agua pluvial que conducen el agua al tanque de almacenamiento y posteriormente al sistema de filtración. Para que la captación de agua sea correctamente instalada, se debe identificar hacia dónde baja el agua lluvia del techo de la vivienda. Esta condición está relacionada con la forma del techo, por ejemplo, si es de 1 o 2 aguas. Dependiendo de la forma del techo habrá diferentes inclinaciones y se identificará hacia qué lado o lados escurre el agua lluvia. Luego de identificar la adecuada pendiente se procede a instalar las canaletas en el perímetro del techo garantizando que se capte el mayor porcentaje de agua lluvia.



*Ilustración 4. Tendencia de escurrimiento del agua en diferentes tipos de techo*

Fuente Téllez, 2022

Partiendo del análisis anterior, se deberá continuar con ambas fuentes de captación, con el fin de tener una oferta continua, por lo cual en aras de evitar la contaminación cruzada que se presenta, se llevará a cabo el diseño de una unidad de filtración lenta a gravedad y posteriormente utilizar alguna alternativa de desinfección (hervir el agua o cloración) y así garantizar el agua apta para consumo humano.

El sistema es similar a los filtros de flujo ascendente, solo que en éstos el flujo va de arriba hacia abajo. Se debe de llevar a cabo una filtración lenta, a fin de obtener una buena eficiencia; el filtro debe contener diferentes tipos materiales. Desde un tamaño de grava específica y gruesa en el primer compartimiento hasta arena fina en el último. Así mismo, deberá contar con un sistema de drenaje que faciliten la rápida remoción del agua.

Consecuente con la información obtenida y en aras de que el sistema de filtración sea una unidad de bajo costo, se determinó que el volumen de filtración que cumple con la tasa

de filtración será un recipiente plástico de 110 litros con tapa hermética, con el fin de proteger el filtro cuando no se esté utilizando, posterior a obtener el volumen disponible y la geometría del recipiente se determina la tasa de filtración y así finalmente determinar el tipo y la cantidad de material filtrante de cada unidad de filtración

*Tabla 5. Dimensionamiento del filtro*

| <b>DIMENSIONAMIENTO</b>          |      |                |
|----------------------------------|------|----------------|
| Diámetro                         | 0,41 | m              |
| Diámetro Asignado                | 0,41 | m              |
| Volumen tanque                   | 0,11 | m <sup>3</sup> |
| Altura del tanque                | 0,8  | m              |
| Número de Unidades de filtración | 1,0  | Un             |
| Diámetro tubería IN              | 1,0  | pulg           |
| Diámetro tubería OUT             | 1,0  | pulg           |
| Diámetro tubería de lavado       | 1,0  | pulg           |

Elaboración propia.

Luego de identificar el dimensionamiento del filtro se procede a determinar la tasa de filtración , en la cual se tiene en cuenta el caudal y el área superficial en la Tabla 6 se consolidan los resultados obtenidos.

*Tabla 6. Tasa de filtración*

| <b>TASA DE FILTRACIÓN</b>                   |       |                |
|---|-------|----------------|
| Caudal de entrada al sistema; ( Qt )        | 0,009 | L/s            |
| Área Superficial de un compartimiento ( A ) | 0,13  | m <sup>2</sup> |
| Número de filtros; ( Nf )                   | 1,0   | un             |
| Caudal Máximo por componente; ( Qf )        | 0,01  | L/s            |

---

## TASA DE FILTRACIÓN

---

Tasa de Filtración  $T_F =$  **6**  $m^3/m^2 - día$

RAS Titulo Resolución 0330 (Art.114)  $TF < 300 m^3/m^2 - día$

---

Elaboración propia.

Conociendo la altura del filtro se determina el porcentaje de expansión del filtro el cual corresponde a la etapa de retrolavado, se refiere al proceso en el cual se invierte el flujo de agua a través del filtro para limpiar y remover las partículas atrapadas. Este flujo invertido causa que el medio filtrante (como la arena) se expanda y se agite, permitiendo que las impurezas sean liberadas y eliminadas del sistema, en la Tabla 7 se consolida dicho porcentaje y la altura libre, se resalta que posteriormente al realizar el retrolavados se debe de llevar a cabo la purga del filtro y volver a posicionar las válvulas en su posición habitual.

*Tabla 7. Altura del filtro*

---

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| Altura total filtro (m):  | 0,82      |
| Altura total filtro (cm): | 82        |
| Altura lecho (cm):        | <b>50</b> |
| % de expansión:           | 40%       |
| Altura expandido (cm):    | 70        |
| Altura libre (cm):        | 12        |

---

Elaboración propia.

Luego de identificar la altura el lecho filtrante, se divide dicha altura en los diferentes materiales filtrantes, los cuales corresponden a gravas de diferentes granulometrías, arena y antracita, con el fin de remover el mayor número de impurezas presentes en el agua cruda.

*Tabla 8. Altura material filtrante*

| <b>FILTRO</b>     | <b>ALTURA (cm)</b> |
|-------------------|--------------------|
| Grava 1" * 1/2"   | 7                  |
| Grava 1/2" * 1/4" | 7                  |
| Grava 1/4" * 1/8" | 7                  |
| 1/8 - MALLA 10    | 5                  |
| Arena:            | 14                 |
| Antracita:        | 10                 |
| <b>TOTAL:</b>     | <b>50</b>          |

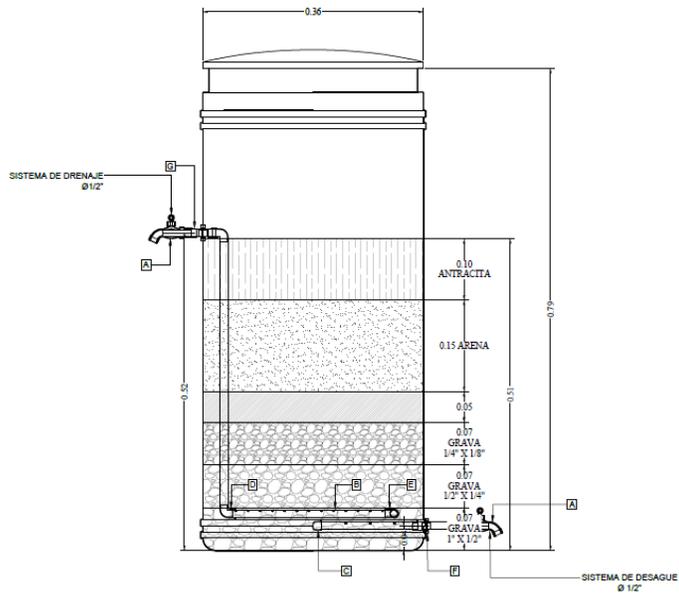
Elaboración propia.

Finalmente al determinar las alturas de cada uno de los materiales filtrantes se procede a calcular la cantidad de material. El cual se asocia a la densidad del material filtrante y así obtener la cantidad de bultos requeridos para obtener la altura específica de cada material.

*Tabla 9. Volumen requerido de material*

| <b>TIPO DE LECHO</b> | <b>ALTURA DE</b> | <b>VOLUMEN</b>       | <b>DENSIDAD</b>         | <b>CANTIDAD</b> | <b>BULTOS DE</b> |              | <b>TOTAL BULTOS FILTRO</b> |
|----------------------|------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------|----------------------------|
|                      |                  |                      |                         |                 | <b>40 Kg</b>     | <b>20 Kg</b> |                            |
|                      | <b>cm</b>        | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>Kg/m<sup>3</sup></b> | <b>Kg</b>       |                  |              |                            |
| Grava 1" * 1/2"      | 7,00             | 0,01                 | 1'600                   | 14,79           | 0,37             |              | 0,4                        |
| Grava 1/2" * 1/4"    | 7,00             | 0,01                 | 1'600                   | 14,79           | 0,37             |              | 0,4                        |
| Grava 1/4" * 1/8"    | 7,00             | 0,01                 | 1'600                   | 14,79           | 0,37             |              | 0,4                        |
| 1/8 - MALLA 10       | 5,00             | 0,01                 | 1'600                   | 10,56           | 0,26             |              | 0,3                        |
| Arena:               | 15,00            | 0,02                 | 1'333                   | 26,40           | 0,66             |              | 0,7                        |
| Antracita:           | 10,00            | 0,01                 | 666                     | 8,79            |                  | 0,35         | 0,4                        |
| Total:               | 51               | 0,07                 |                         | 90,1            | 2,0              | 0,4          | 2                          |

Elaboración Propia.



*Ilustración 5. Filtro comunidad Camelias*

Elaboración propia Ver Anexo "001\_FILTRO -1A"

## Conclusiones

Es crucial reconocer la importancia del componente social en la implementación de cualquier sistema de abastecimiento y tratamiento de agua. Los diseños deben ajustarse a la realidad de la comunidad, considerando sus prácticas culturales, socioeconómicas y necesidades básicas. En el caso de la comunidad de Camelias, las deficiencias en infraestructura de saneamiento, como la ausencia de baños y letrinas, subrayan la necesidad de soluciones que no solo cumplan con los estándares técnicos y normativos, sino que también sean aceptables y sostenibles para los habitantes. Integrar la perspectiva social asegura que las soluciones propuestas sean apropiadas y efectivas, promoviendo su adopción y correcto uso por parte de la comunidad.

Aunque la principal fuente de captación de agua debe ser la lluvia, especialmente dada la alta pluviosidad de la región, es esencial considerar la implementación de sistemas de tratamiento complementarios para garantizar el suministro continuo durante las temporadas secas. La recolección y tratamiento del agua de lluvia representan una solución económica y sostenible, pero no deben ser las únicas fuentes. Es viable utilizar un sistema de filtración para tratar el agua del pozo comunitario, especialmente considerando que el aljibe existente presenta problemas de contaminación. Mejorar la infraestructura del pozo, asegurando un recubrimiento adecuado, tapa y dique de control, junto con un sistema de filtración eficiente, puede proporcionar una fuente de agua segura y confiable durante todo el año.

Cómo se mencionó anteriormente y citando otras investigaciones de la zona del Darién, con respecto a los sistemas de aguas lluvias, se presentan resultados de mala calidad.

Es necesario entonces, realizar nuevos análisis al agua de ambas fuentes de abastecimiento, con el fin de corroborar la calidad de agua de las mismas. De la misma es recomendable, realizar dicho análisis en diferentes épocas del año.

## **Recomendaciones**

Es fundamental socializar con la comunidad los resultados de los análisis de las muestras tomadas de las fuentes de captación. Es necesario describir las condiciones sanitarias deficientes de la zona y los riesgos a los que la comunidad puede estar expuesta. Finalmente, se deben proporcionar estrategias para que la comunidad participe activamente en la implementación de sistemas individuales de potabilización de agua.

Se recomienda la implementación de un sistema de recolección de aguas lluvias como un complemento al sistema actual que existe en algunas viviendas de Camelias, con características técnicas y cuyos componentes sean diseñados a partir del caudal que se requiere captar, así como también a la demanda de los usuarios para los cuales está destinado.

**Elaboración de un Manual o Cartilla Didáctica:** Se recomienda la creación de un manual o cartilla que sea ágil y entendible para comunidad de Camelias. Este material debe contener instrucciones claras y detalladas sobre el proceso de construcción y mantenimiento del sistema de filtración para el agua de pozo. El manual debe incluir ilustraciones paso a paso, lenguaje sencillo y accesible, y secciones de preguntas frecuentes para resolver posibles dudas.

**Capacitación Comunitaria:** Organizar talleres y sesiones de capacitación dirigidos a los habitantes de Camelias. Durante estas sesiones, se debe explicar el contenido del manual y realizar demostraciones prácticas de la construcción y mantenimiento del filtro. Involucrar a miembros de la comunidad en estas actividades asegurará que todos comprendan el proceso y puedan replicarlo de manera efectiva.

**Materiales y Herramientas Accesibles:** Garantizar que los materiales y herramientas necesarios para la construcción del filtro sean fácilmente accesibles para la comunidad. Se

debe proporcionar una lista detallada de materiales con posibles proveedores locales, así como recomendaciones sobre alternativas económicas y sostenibles.

**Monitoreo y Asesoramiento Continuo:** Establecer un sistema de monitoreo y asesoramiento continuo para apoyar a la comunidad en la implementación y mantenimiento del sistema de filtración. Esto puede incluir visitas periódicas de técnicos especializados, la creación de un grupo de apoyo comunitario y la disponibilidad de una línea de asistencia para resolver problemas o dudas que puedan surgir.

**Fomento del Uso Eficiente del Agua:** Paralelamente a la implementación del sistema de filtración, es fundamental promover prácticas de uso eficiente del agua dentro de la comunidad. Incluir en el manual secciones sobre técnicas de ahorro de agua, mantenimiento de la calidad del agua almacenada y recomendaciones para minimizar la contaminación.

**Evaluación y Mejora Continua:** Implementar un programa de evaluación periódica para medir la efectividad del sistema de filtración y la satisfacción de la comunidad con el mismo. Recoger retroalimentación y sugerencias permitirá hacer ajustes necesarios y mejorar continuamente tanto el sistema como el manual.

## **Anexos**

- Resultados de laboratorio
- Plano del filtro “001\_FILTRO -1A”
- Plano del filtro “001\_VIVIENDA -1B”

## Bibliografía

Anaya, M. (2009). Antecedentes de la captación del agua lluvia. Centro internacional de demostración y captación de en aprovechamiento del agua lluvia. Recuperado en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-lluvia/presentacion-power-point/1852-antecedentes-de-la-captacion-del-agua-de-lluvia/file>.

Arcila, H. R., & Zúñiga. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para el uso doméstico en viviendas la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería solidaria*, 10(17), 125-137.

Amador, I. J. (2015). Lo vivo de la comunidad chocoana de Curbaradó: “concepciones de los jóvenes integrantes de la Zona Humanitaria “Camelias es Tesoro” del Carmen del Darién-Curbaradó (Chocó) acerca de lo vivo y su relación con la vida a través de su memoria biocultural”. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/1728>.

Bernal, A., Rivas, L., & Peña, P. (2014). Propuesta de un modelo de cogestión para los Pequeños Abastos Comunitarios de Agua en Colombia. *Perfiles latinoamericanos*, (43), 159–184. <https://www.redalyc.org/pdf/115/11529850007.pdf>

Comparar Oslender, Ulrich. (2008). “Introducción: Geografía, movimientos sociales y comunidades negras”. En Comunidades Negras y Espacio en el Pacífico Colombiano”, p 27.

Carrascal, O. (2009). Représentations sociales de l’eau dans un contexte de conflits d’usage : le cas de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombie. Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale, 81(1), 65-86. <https://doi.org/10.3917/cips.081.0065>

Carvajal E. (2017). La razón por la que Colombia es el país más lluvioso del mundo. El colombiano. <https://www.elcolombiano.com/medio-ambiente/pais-del-mundo-dondemas-llueve-XD7511550>

Cabrera Rosero, L., & Giraldo Urrea, L. A. (2018). Acueductos comunitarios en Dosquebradas Risaralda: un modelo para la gestión del recurso hídrico. Disponible en <https://hdl.handle.net/10495/18804>

Castellano. L, García, C. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de sistema de recolección y tratamiento aguas lluvias en casa multifamiliar para uso doméstico en el barrio consuelo localidad de Rafael Uribe Uribe. disponible en <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/c72dfea6-e0bc-48e7-9991-68dc8b0877e0/content>.

Díaz, A., Chingaté, N., Muñoz D., Wilmar, O., Castro, C., Sánchez, F., Sánchez, K. (2009).

Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. Scielo 11(1), 84-116.

Disponible en <Http://www.scielo.org.co/pdf/esju/v11n1/v11n1a5.pdf>

Echen, J. (2014). Aplicación de la tecnología de filtración por membranas como solución

para el abastecimiento de agua potable en comunidades rurales de países en desarrollo. Lecciones aprendidas con el uso del filtro «Waterbackpack PAUL».

Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo vol ISSN 1900-9178, Vol 5, numero 1.

Ecocal. (2018). «Potabilización agua de pozo,» Ecocal. Disponible en

<https://www.descalcificadoraguas.com/descalcificadores/potabilizar-agua-depozo/>.

M. D. C. y. J. F. Rojas, «Super Servicios,» (2019). Encontrado 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).

E. Wisbeck, E. K. Sandri, A. L. Soares y S. H. W. Medeiros. (2011). “Desinfecção de água

de chuva por radiação ultravioleta”, Engen. Sanit. e Amb., vol. 16, n.º 4, pp.337-342.

doi: 10.1590/S1413-41522011000400004.

Garrido Hinestroza, F. (2018). Estudio de factibilidad para la construcción de un acueducto

en el sector Brisas del Darién, corregimiento de Curbaradó, municipio de Carmen del Darién (Chocó). [Tesis de especialización]. Bogotá, Colombia: Escuela Superior de

Administración Pública. Facultad de posgrados. Especialización en proyectos de

desarrollo. Disponible en  
[https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/26535/FREDDY  
%20GARRIDO%20HINESTROZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/26535/FREDDY%20GARRIDO%20HINESTROZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gualdrón Becerra, N. (2014). Captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas El Salado y La Aguada del municipio de Lebrija Santander, Colombia. Disponible en <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/1714>.

Herrera, C. A. V., Gómez, H. S. D., Guaranguay, D. N. C., Meneses, F. C. G., & Moncayo, E. M. (2021). Prototipo automatizado de captación y tratamiento de agua lluvia para consumo y limpieza por filtración, cloración y radiación ultravioleta en San Juan de Pasto. Entrelazando formación, experiencias, escenarios y procesos vivenciales de investigación e innovación, 136. [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/4409/1/TTE\\_CarvajalGomezDann yAlejandro\\_2016.pdf](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/4409/1/TTE_CarvajalGomezDann yAlejandro_2016.pdf)

Hernández Avilés, D. M., & Chaparro, T. R. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. Ciencia e ingeniería neogranadina, 30(2), 97-107.

Herramienta climática SAMSAMWATER, (2024) Región del Darién, Colombia, disponible en <https://www.samsamwater.com/climate/index.php?t=true>

Instructivo de recolección de agua por CORNARE, disponible en  
[,https://www.cornare.gov.co/laboratorio/I-MA\\_01\\_Recoleccion\\_Muestras\\_de\\_Agua\\_V.05.pdf](https://www.cornare.gov.co/laboratorio/I-MA_01_Recoleccion_Muestras_de_Agua_V.05.pdf)

Informe nacional de la calidad del agua para consumo humano. (2022). disponible en  
<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-nacional-calidad-del-agua-para-consumo-humano-2022.pdf>

Martinez I. (2013). Análisis de las zonas humanitarias de Curvaradó y Jiguamiandó como ejercicio de acción colectiva no violenta (1997- 2007). Universidad Colegio Mayor. Disponible en <https://repository.urosario.edu.co/items/1d003523-203b-4358-a578-b921b47cd9e8>

Mejía, A., Castillo, O., & Vera, R. (2016). Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina. Agua para el desarrollo, Bogotá: CAF. Disponible en <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/918>.

Ministerio de Medio Ambiente, Artículo Colombia, Riqueza Hídrica del Mundo, 2023. Disponible en <https://www.minambiente.gov.co/colombia-riqueza-hidrica-del-mundo/>

M. A. Guerra-Ayala, G. J. Gutiérrez-Paredes and J. M. Sandoval-Pineda. (2022). "Ecodiseño de suelo radiante utilizando sistemas de captación de aguas lluvias" IEEE Central

America and Panama Student Conference (*CONESCAPAN*), San Salvador, El Salvador, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/CONESCAPAN56456.2022.9959277.

Mosquera-Torres, Y.E., García, E., Mena, D.A. (2014). Assessment of rainwater quality in the biogeographical Pacific Preliminary study Quibdó, Chocó, Colombia. *Ingeniería y Competitividad*, 26(2) e-20212985. <https://doi.org/10.25100/iyc.v26i2.12985>

N. Osseiran. (2017). “Organización Mundial de la Salud”. [Internet]. Disponible en: <https://www.who.int/es/newsroom/detail/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>.

Lozano-Rivas, W. A., & Lozano Bravo, G. (2015). Potabilización del Agua. Principios de diseño, control de procesos y laboratorio (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/j.ctt1c3q113>

Naranjo Contreras, B. E. (2024). Recuperación de aguas lluvias y residuales para su utilización en la zona rural de San Antonio de Tequendama. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12494/54979>

Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. 13 (2), 25,29. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25392> 13(2), 25-39 , 25-3, 13(2), 25-39 9

Ruberto, A. R., Gómez, M. J. M., Tymkiw, P. T., Pilar, J. V., & Galeano, F. H. (2013). Estudio de alternativas de abastecimiento de agua fresca en el chaco paraguayo. Disponible en <https://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/28429>

Revista Semana. 48 municipios se declararon en calamidad pública por desabastecimiento de agua. 2019. Disponible en <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/48-municipios-se-declararon-en-calamidad-publica-por-desabastecimiento-de-agua/42929>

Resolución 2115 de 2007, disponible en [https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res\\_2115\\_de\\_2007.pdf](https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf)

Resolución 0844 de 2018, disponible en [https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0844-2018\\_0.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0844-2018_0.pdf)

Pacheco, M. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “Lluviatl” en México. Revista Internacional de Sostenibilidad Tecnología y Humanismo, 3, 39-57.

Téllez Quintanar, Cecilia ¿Cómo hacer un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) en mi escuela? / Cecilia Téllez Quintanar, Roberta Karinne Mocva Kurek, Cecilia González Correa y Juan Carlos Centeno Álvarez. -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnolo. 2022 Disponible en <https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/ecoagua/ecoagua-sistema-captacion-agua-lluvia.pdf>

Zúñiga, O. E. O., García, O. H. C., & Londoño, J. P. L. (2017). Alternativa de acceso a agua potable a bajo costo para la población más vulnerable. Disponible en [https://www.fing.edu.uy/imfia/congresos/caae/assets/trabajos/29\\_Alternativa\\_de\\_acceso\\_a\\_agua\\_potable\\_a\\_bajo\\_costo\\_para\\_la\\_poblaci%C3%B3n\\_m%C3%A1s\\_vulnerable.pdf](https://www.fing.edu.uy/imfia/congresos/caae/assets/trabajos/29_Alternativa_de_acceso_a_agua_potable_a_bajo_costo_para_la_poblaci%C3%B3n_m%C3%A1s_vulnerable.pdf)