

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Propuesta de alternativas para mejorar la calidad del agua lluvia en sistemas de aprovechamiento para viviendas rurales en la vereda Pedregal sector La Independencia (Sogamoso, Boyacá)

Beatriz Carolina Acero Álvarez y Jose Antonio Pérez Castro

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Daniela Cristina Rey Romero

Ing. Ambiental – MSc Planificación y desarrollo de recursos hidráulicos

Codirector

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

Ing. Sanitario – PhD Ingeniería sanitaria y ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Dedicatoria

Esto es dedicado a mi madre Ledys Mercedes Castro y mi padre Antonio Enrique Perez, porque siempre me ofrecieron todo lo necesario para cumplir con este sueño.

También es dedicado a mi prometida Daniela Cristina Miramón porque fue un pilar muy importante para no desfallecer y continuar adelante a pesar de las adversidades.

Esto es dedicado a mi madre María Álvarez Cárdenas y mi padre Bernardo Acero Moreno, porque siempre me ofrecieron todo lo necesario para cumplir con este sueño y por su amor incondicional, a mi hermana Adriana Acero Álvarez por ser su apoyo constante y aliento en cada paso, y a mi pareja Giovanni López por su comprensión y por estar a mi lado en este camino aprendizaje.

¡Sin todos ustedes este logro no hubiese sido posible!

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Agradecimientos

A Dios por habernos proporcionado con la resiliencia, entendimiento y sabiduría necesaria para llevar a cabo este proyecto.

A nuestros padres porque sin su apoyo incondicional durante todo nuestro desarrollo académico esto hubiese sido imposible.

A la profesora Daniela Cristina Rey y el profesor Edgar Ricardo Oviedo porque siempre estuvieron dispuestos a guiarnos y ofrecernos todos sus conocimientos para desarrollar con éxito este trabajo.

Y finalmente queremos agradecer a todos nuestros amigos y cada una de las personas que nos impulsaron a seguir adelante y que fueron vitales para que hoy demos este gran paso en nuestras vidas profesionales.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Tabla de Contenido

Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1. Objetivo General	13
1.2. Objetivos Específicos	13
2. Marco Teórico	14
2.1. Sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en zonas verdes.....	14
2.2. Calidad y contaminación del agua lluvia	16
2.3. Tecnologías para el tratamiento de agua lluvia.....	17
3. Metodología	17
3.1. Área de estudio.....	18
3.2. Caracterización de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia	19
3.3. Análisis de la calidad del agua lluvia.....	20
3.4. Identificación e opción tecnológicas para mejorar la calidad del agua lluvia captada	24
4. Resultados y discusión	25
4.1. Caracterización de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia	25
4.1.1. Caracterización sociodemográfica	25
4.1.2. Características técnicas del SALL.....	25
4.1.3. Disponibilidad de agua.....	27
4.1.4. Fuentes de contaminación	32
4.1.5. Actividades de mantenimiento del SALL	34

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

4.2. Análisis de la calidad del agua lluvia	36
4.2.1. Análisis de laboratorio de los parámetros	36
4.3. Identificación de opciones tecnológicas para el mejoramiento de la calidad del agua lluvia	40
4.3.1 Desviador de primer flujo	40
4.3.2. Filtración lenta de arena	42
4.3.3. Desinfección	43
5. Conclusiones	45
6. Recomendaciones	46
Referencias Bibliográficas	48
Apéndices	54

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Usos del agua lluvia en la vereda de estudio.....	28
Tabla 2 Actividades realizadas para reducir contaminantes del agua lluvia.....	35
Tabla 3 Resultados de las muestras de agua lluvia y los estándares de calidad según su uso	36

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia	15
Figura 2 Ubicación de la vereda Pedregal sector La Independencia	18
Figura 3 Parámetros de calidad del agua lluvia más reportados en la literatura consultada	21
Figura 4 Elementos para la toma de muestras de ALL y lugar de muestreo en la vivienda de estudio	22
Figura 5 Elementos de los SALL implementados en las viviendas	26
Figura 6 Percepción de la comunidad respecto de los meses de mayores precipitaciones y meses de escasez de agua lluvia en el área de estudio.....	29
Figura 7 Precipitación total mensual	30
Figura 8 Motivaciones para la recolección del agua lluvia	32
Figura 9 Fuentes de contaminación del agua lluvia observadas en la vivienda de estudio.....	33
Figura 10 Desviador de primer flujo	41
Figura 11 Sistema de filtrado lento de arena.....	43

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Lista de Apéndices

	Pag.
Apendice A. Formato de encuesta.....	54
Apéndice B. Formato Observacional	62
Apéndice C. Artículos seleccionados para el desarrollo de la Fase II.	70
Apéndice D. Artículos seleccionados para el desarrollo de la Fase III.....	76
Apéndice E. Resultados del análisis en laboratorio del agua lluvia captada en la vivienda preseleccionada	78

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Resumen

Título: Propuesta de alternativas para mejorar la calidad del agua lluvia en sistemas de aprovechamiento para viviendas rurales en la vereda Pedregal sector La Independencia (Sogamoso, Boyacá)*

Autor: Beatriz Carolina Acero Álvarez y Jose Antonio Pérez Castro**

Palabras Clave: Tratamiento de agua lluvia, sostenibilidad, calidad del agua lluvia, Zonas rurales, hollín.

Descripción: En Colombia, las comunidades rurales con restricciones a sistemas de abastecimiento de agua satisfacen parte de sus necesidades mediante el aprovechamiento de agua lluvia. Sin embargo, estos sistemas podrían presentar problemas asociados a su calidad. Este trabajo analiza el funcionamiento de un sistema de abastecimiento de agua rural, ubicado en la vereda Pedregal sector La Independencia (Sogamoso, Boyacá), para tal efecto se realizó una propuesta para mejorar la calidad del agua lluvia en un sistema de aprovechamiento de agua lluvia (SALL) de una vivienda preseleccionada en dicha área. Inicialmente se realizó una caracterización de los SALL preexistentes en la zona de estudio y, entre los principales resultados, se encontró que existe una deficiencia en dichos sistemas ya que no todos estaban conformados con un módulo de captación, conducción y almacenamiento, esto está causando que la calidad del agua captada no esté en óptimas condiciones para su uso (bebida de animales y riego de cultivos). Por lo tanto, se analizaron parámetros físicos, químicos y biológicos que están relacionados con contaminantes generados por diversos factores tales como la quema de residuos sólidos y orgánicos, la falta de mantenimiento y limpieza de los SALL, la presencia de animales en el área de captación, el uso de chimeneas, entre otros. Se encontraron niveles de hierro y cadmio en concentraciones superiores a los estándares de calidad para el consumo de bovinos. Por esto que se propuso la alternativa de agregar un desviador de primer flujo; un módulo de tratamiento y desinfección al SALL para lograr reducir los contaminantes presentes en el agua. La reutilización del agua lluvia es una práctica muy común en países en desarrollo, pero es necesario aplicar un tratamiento para mejorar su calidad y así reducir el riesgo de contaminaciones según sea su uso.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: MSc Daniela Cristina Rey Romero. Codirector: Phd. Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Abstract

Title: Proposal for alternatives to improve the quality of rainwater in systems for rural housing in the Pedregal area of La Independencia (Sogamoso, Boyacá) *

Author(s): Beatriz Carolina Acero Álvarez y Jose Antonio Pérez Castro **

Key Words: Rainwater treatment, sustainability, rainwater quality, rural areas, soot

Description: In Colombia, rural communities with water supply system restrictions satisfy part of their needs by using rainwater. However, these systems may present problems associated with their quality. This work analyzes the operation of a rural water supply system, located in the Pedregal area of La Independencia (Sogamoso, Boyacá). To this end, a proposal was made to improve the quality of rainwater in a rainwater harvesting system (SALL) of a preselected home in said area. Initially, a characterization of the pre-existing SALL in the study area was carried out and, among the main results, it was found that there is a deficiency in said systems since they were all made up of a collection, conduction and storage module, this is causing the quality of the captured water to not be in optimal conditions for its use (drinking for animals and irrigation of crops). Therefore, physical, chemical and biological parameters were analyzed that are related to contaminants generated by various factors such as the burning of solid and organic waste, the lack of maintenance and cleaning of the SALL, the presence of animals in the catchment area, the use of chimneys, among others. Levels of iron and cadmium were found in concentrations higher than the quality standards for bovine consumption. For this reason, the alternative of adding a first flow diverter was proposed; a treatment and disinfection module to the SALL to reduce the contaminants present in the water. The reuse of rainwater is a very common practice in developing countries, but it is necessary to apply a treatment to improve its quality and thus reduce the risk of contamination depending on its use.

* Degree Work

** Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: MSc Daniela Cristina Rey Romero. Codirector: Phd. Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Introducción

El Acceso al agua es un derecho fundamental porque contribuye a mejorar la calidad de vida de las comunidades y su limitación puede generar restricciones en el desarrollo (Briceño & Chaparro, 2021). La disponibilidad de agua resulta ser en la actualidad un desafío para muchas comunidades a nivel global debido a la contaminación y la sobreexplotación del recurso hídrico (Tengan & Akoto, 2022). Globalmente, entre el 30% y 40% del suministro de agua en el contexto rural en los países de ingresos bajos es casi nula (UNICEF, 2022). Aunque no se puede mencionar una escasez hídrica a nivel global, esta va en aumento debido al crecimiento desenfrenado de la población, al uso inadecuado del recurso y al cambio climático, entre otros factores (Cala, 2011). Es importante resaltar que algunos de los factores que pueden poner en riesgo un sistema de abastecimiento de agua son la fiabilidad de la fuente, el método de transporte y la asequibilidad (UNICEF, 2022).

El cambio climático, la sobreexplotación y la contaminación de las reservas de agua dulce en Colombia hacen que el recurso escasee y ponga en riesgo la salud de las personas. Según el Estudio Nacional del Agua (ENA, 2022), en Colombia se proyecta una creciente demanda de agua para el 2030 y, teniendo en cuenta la variabilidad de la oferta hídrica, esto podría representar un alto riesgo de desabastecimiento hídrico en las cabeceras municipales (IDEAM, 2018). Por este motivo, se debe preservar el recurso mediante alternativas que reduzcan el consumo de agua potable para actividades que no requieran estándares elevados de calidad (Ruiz, 2017). En la vereda Pedregal, sector La independencia, localizada en la zona rural de Sogamoso, Boyacá, se presentan

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

problemas de desabastecimiento hídrico, caracterizados por las prohibiciones de uso del agua potable para riego de cultivos o bebida de animales, restricción establecida por parte de la empresa prestadora del servicio de acueducto local.

En este contexto, algunos habitantes de la vereda han decidido implementar sistemas artesanales de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para usos que no requieran de agua potable. Sin embargo, teniendo en cuenta las fuentes de contaminación del agua lluvia en contextos rurales (Abbasi & Abbasi, 2011), existen riesgos asociados a la ausencia de sistemas de tratamiento del agua lluvia en estos sistemas artesanales. En el caso específico de la vereda Pedregal, una costumbre de los habitantes se relaciona con el uso de leña y carbón para la preparación de alimentos, esta práctica genera subproductos de la combustión de la madera (hollín y cenizas) que se depositan en las cubiertas de las viviendas lo cual genera que el agua captada en la zona pueda contaminarse por estas partículas y metales pesados que se liberan mediante chimeneas. A partir de esta situación, los habitantes de la comunidad perciben una relación entre esa fuente de contaminación y algunos problemas de salud recurrentes en la zona, como afecciones respiratorias en personas y distintas enfermedades en el ganado. Por lo tanto, la pregunta de investigación de esta propuesta es ¿cuáles alternativas se podrían proponer para mejorar la calidad del agua lluvia en sistemas de aprovechamiento para viviendas rurales en la vereda Pedregal sector La Independencia (Sogamoso, Boyacá)? Este proyecto de grado ofrecerá información para mejorar los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia artesanales en el contexto rural colombiano, por lo tanto, representa un aporte al cumplimiento del Sexto Objetivo Desarrollo Sostenible que persigue garantizar el acceso al agua para toda la población (ONU, 2022).

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Proponer alternativas para mejorar la calidad del agua lluvia en sistemas de aprovechamiento para viviendas rurales en la vereda Pedregal, sector La Independencia (Sogamoso, Boyacá)

1.2. Objetivos Específicos

Caracterizar los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en la vereda de estudio.

Analizar la calidad del agua lluvia en una vivienda rural de la vereda de estudio que tiene como uso la bebida de animales y riego de cultivos.

Identificar opciones tecnológicas para mejorar la calidad del agua lluvia captada en viviendas rurales de la vereda de estudio.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

2. Marco Teórico

2.1. Sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en zonas verdes

La reutilización del agua lluvia sin tratar no resulta algo novedoso, ya que muchas comunidades han utilizado este recurso para su sustento, como alternativa al problema de escasez hídrica (Cala, 2011). Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia (SALL) pueden ser variados, pero en general tienen en común los sistemas de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución (Naranjo & Salazar, 2021). Sin embargo, estos módulos suelen variar por causa de los usos que se le dé al agua y la complejidad del sistema, ya que si se quiere obtener mejores resultados se pueden agregar componentes tales como un interceptor de las primeras aguas, el sistema de distribución por gravedad o por bombeo y el tratamiento (Palacio, 2010), tales como un sistema de filtración y un método de desinfección (cloración, desinfección ultravioleta, desinfección solar, ozonificación) (Gómez & Silva, 2019). La mayoría de los sistemas existentes en las zonas rurales consisten en la recolección del agua lluvia aprovechando el área del techo de las viviendas (Briceño & Chaparro, 2021), el cual debe contar con una pendiente mínima y adecuada que facilite el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección (Naranjo & Salazar, 2021). El módulo de conducción se realiza mediante canaletas instaladas al posterior del techo, las cuales dirigen el agua hacia el tanque de almacenamiento para su uso controlado con un sistema de distribución mediante llaves y válvulas (Reyes & Rubio, 2014).

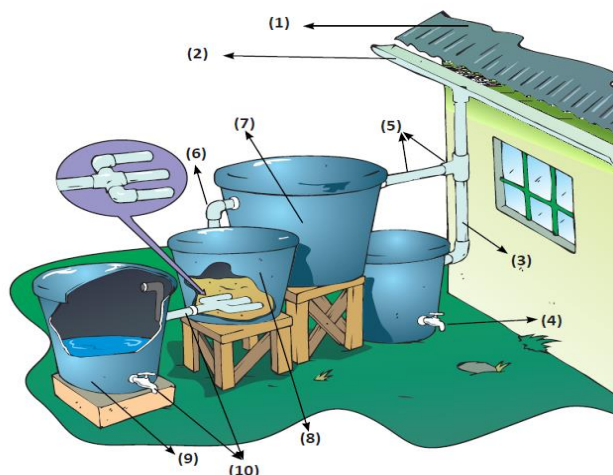
En la actualidad, se reconoce que los SALL proveen múltiples beneficios tales como la reducción de la demanda de agua potable de acuerdo con las condiciones de infraestructura, así

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

como beneficios ambientales y económicos debido a que los costos de recolección y tratamiento suelen ser inversamente proporcionales a la escala de la recolección (Owusu & Asante, 2020). Además, según estudios realizados en África se estima que los sistemas de recolección de agua lluvia podrían proporcionar una fuente de agua sustancial para solucionar el problema de escasez en todo el continente gracias a la facilidad en su implementación (García-Ávila et al., 2023). Como desventajas generales asociadas a los SALL se encuentran las dependencias del nivel de precipitaciones de la zona de implementación y los altos costos iniciales de construcción (especialmente por los volúmenes de almacenamiento) (Estupiñan & Zapata, 2010). A continuación, en la figura 1 se puede evidenciar un SALL con los módulos básicos que este debería tener para el aprovechamiento del agua lluvia a nivel residencial.

Figura 1

Componentes de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias



Nota. Esta figura muestra los módulos de un SALL. 1) Área de captación 2) Recolección y conducción 3) Bajante 4) Tanque interceptor 5) Conexión al tanque 6) Rebose (Codo) 7) Tanque

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

de recolección 8) Tanque filtro de arena 9) Tanque almacenamiento de agua tratada 10) Otros accesorios(OPS, 2010).

2.2. Calidad y contaminación del agua lluvia

El agua lluvia puede verse afectada por muchos factores, pero uno de los más importantes es el lugar en donde ocurra la precipitación. Por ejemplo, las emisiones producidas por incendios forestales contienen gases y partículas que pueden viajar distancias largas depositándose en los techos de las viviendas y pudiendo afectar de esta manera zonas alejadas del lugar donde se produjo dicho incendio (Spinks et al., 2006). También es importante resaltar que la calidad del agua depende del material de la superficie de captación en el SALL (p.ej. el techo de la vivienda), además del material de los canales y del tanque de almacenamiento. De igual forma, la ocurrencia de largos periodos de verano puede generar que se acumulen microorganismos, escombros, residuos vegetales, partículas y materias fecales de la atmósfera en la superficie de captación que posteriormente el agua recoge en el escurrimiento del techo, lo cual afecta su calidad (Tengan & Akoto, 2022). Esto debido a que el agua puede disolver porciones de casi todas las sustancias con las que entra en contacto (Abbasi & Abbasi, 2011).

Otro factor clave que está latente en las viviendas de zonas rurales es el uso de chimeneas donde ocurre la combustión de madera y/o carbón. Este proceso genera el desprendimiento de partículas de ceniza que se posan en la superficie del techo que será usado como superficie de captación, lo cual representa un riesgo de contaminación del agua que termina en los tanques de almacenamiento (Pineda et al., 2022). La principal preocupación asociada a este fenómeno corresponde a las emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) generados por la

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

combustión incompleta de materia orgánica y el arsénico de la madera tratada con arsénico de cromo y cobre (Spinks et al., 2006). Con respecto a lo anterior, cabe resaltar que se han realizado estudios en donde se ha encontrado una partícula con un alto nivel tóxico (Radojevic', 2003) llamada hollín y que está compuesta por HAP que preocupa a las autoridades de salud. Las personas pueden estar expuestas al hollín por inhalación, ingestión o absorción a través de la piel (NIH, 2015).

2.3. Tecnologías para el tratamiento de agua lluvia

Una vez se tenga el agua captada y almacenada es necesario implementar una tecnología para reducir la carga contaminante tanto fisicoquímica como biológica que esta pueda llegar a tener, ya que se ha determinado que el agua lluvia captada no es segura para el consumo humano directo (Latif et al., 2022) y por lo tanto debe tratarse de tal manera que sea apta para los usos a los cuales se destinará. Las tecnologías para tratamiento del agua lluvia se emplean con el fin de estabilizar los niveles de pH, reducir la turbidez, la concentración de metales pesados, materia orgánica, patógenos y sólidos presentes en el agua (Hernández Avilés & Chaparro, 2020). Algunas tecnologías eficaces para estos propósitos son los desviadores de primer flujo, la filtración lenta en arena, tratamiento por sedimentación, filtración por membrana, humedales construidos y como complemento se ha recomendado el uso de un sistema de desinfección dentro de los cuales resaltan algunos muy eficaces como lo es la cloración, ozonificación, coagulación, desinfección UV y filtración por carbón activado (Latif et al., 2022).

3. Metodología

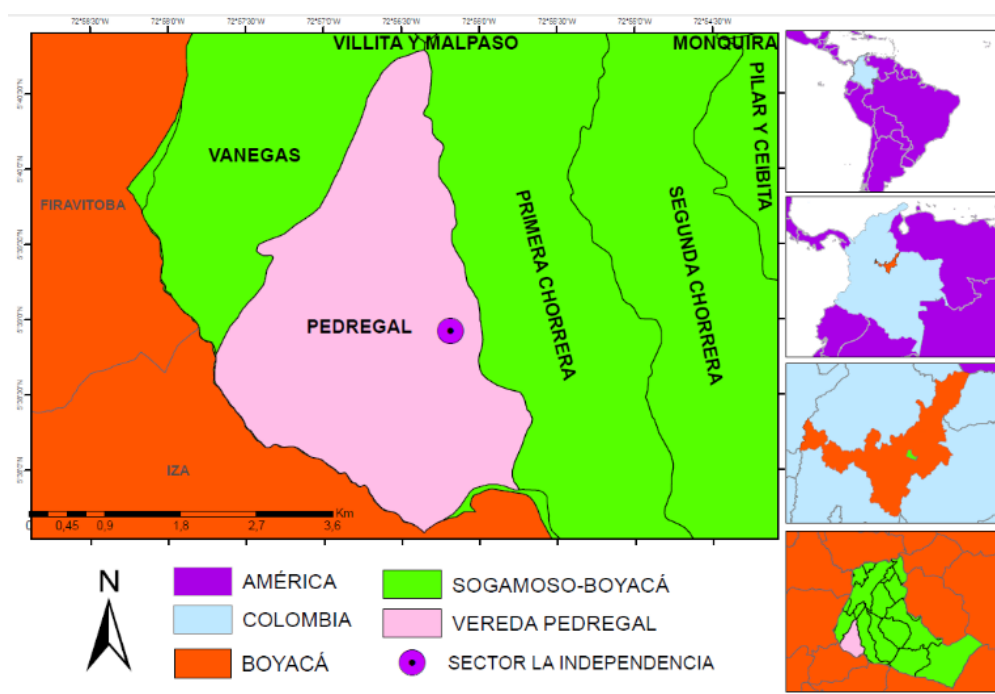
ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

3.1. Área de estudio

Para el desarrollo de este trabajo se eligió la vereda Pedregal, ubicada en el sector La Independencia, municipio de Sogamoso (Boyacá, Colombia), dado que se conoce de antemano una preocupación compartida por toda la comunidad del área de estudio con respecto a la posible presencia de hollín en los SALL que implementan en sus viviendas. La vereda se encuentra en las coordenadas $5^{\circ}39'29''$ N, $72^{\circ}56'13''$ W a una altitud de 2866 m.s.n.m. (ver Figura 2) y cuenta con un área de 1214 hectáreas. La topografía de la vereda es montañosa y sus actividades económicas dependen principalmente de la minería, la ganadería y la agricultura.

Figura 2

Ubicación de la vereda Pedregal sector La Independencia



Nota: Em este mapa se señala la ubicación de la vereda Pedregal sector la Independencia, Sogamoso (Boyacá)

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

3.2. Caracterización de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia

Durante esta fase se aplicaron entrevistas estructuradas a los habitantes de la comunidad y se implementaron técnicas de observación en campo con el propósito de caracterizar los SALL implementados por los habitantes de la vereda de estudio. Para ello, se elaboró un cuestionario (Apéndice A) que contenía preguntas relacionadas con las características sociodemográficas del usuario, disponibilidad y fuentes de agua, formas de captación y almacenamiento de agua lluvia, actividades de mantenimiento y limpieza del SALL y aspectos sobre la aceptación, motivación y opiniones de usuarios respecto al aprovechamiento del agua lluvia.

Adicionalmente, se elaboró un formato observacional (Apéndice B) que permitió, durante las visitas de campo, registrar aspectos técnicos sobre la configuración de los sistemas artesanales, incluyendo las características de la vivienda y del sistema de recolección de agua lluvia. El cuestionario contenía una introducción clara para el entendimiento de la actividad que fue realizada en la zona y preguntas que permitieron obtener información demográfica de la comunidad de estudio, las fuentes con las que cuenta la comunidad para abastecimiento de agua, problemas observados con el servicio de agua, meses de lluvia en la zona, sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, usos para el agua lluvia captada, entre otros. Por otro lado, el formato observacional contenía información sobre las características técnicas que presentan los sistemas de recolección de agua lluvia en las viviendas, tales como: fuentes de contaminación que se pueden observar en la zona, material de los techos, características de los tanques de almacenamiento para el agua lluvia, presencia de animales sobre los techos, posibles contaminantes que afecten la calidad del agua, entre otros.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

De 28 viviendas que hay en la zona, durante esta fase metodológica se consideraron 15 viviendas por una selección a conveniencia, debido que el área de estudio se encuentra en una zona rural montañosa y algunas viviendas presentan difícil acceso. Se aplicó estadística descriptiva para el análisis de datos obtenidos. Las entrevistas se aplicaron entre los meses de junio y julio de 2023, a personas mayores de 18 años, que fueran residentes permanentes de las viviendas.

3.3 Análisis de la calidad del agua lluvia

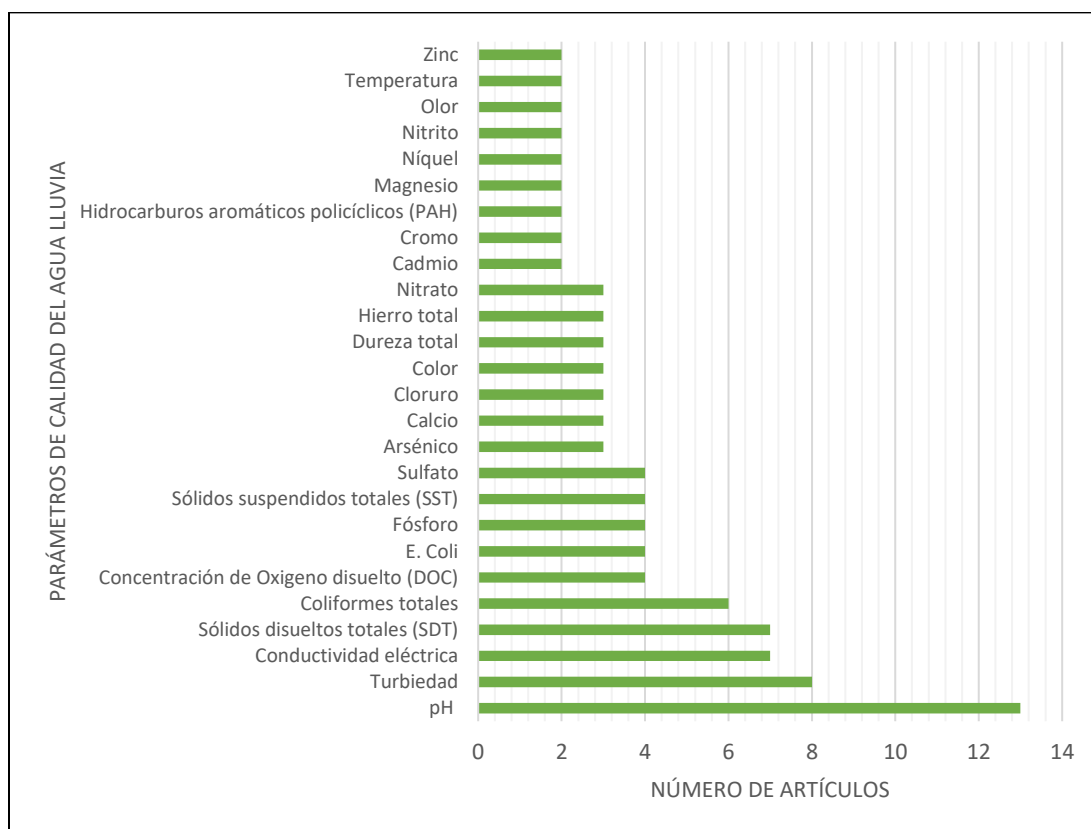
A continuación, se seleccionó una vivienda del área de estudio, con el fin de aplicar un muestreo del agua captada a través del sistema de aprovechamiento de agua lluvia presente en dicha vivienda, esta vivienda tenía las siguientes características disponía de uno de los SALL más completos en el área de estudio, contaba con un sistema de válvulas que facilitaba la salida del agua en el tanque de almacenamiento, y estaba equipada con una chimenea debido a la presencia de una estufa de carbón en su interior, lo que permitía analizar el impacto de los residuos emitidos, además, era la vivienda de acceso más fácil, considerando tanto la topografía del área como la aceptación por parte de la comunidad. Adicionalmente, se realizó una revisión de literatura, empleando las bases de datos Scopus y Web of Science, implementando palabras clave como “rainwater quality”, “quality parameters”, “use of rainwater”, entre otras. A partir de esta búsqueda, se seleccionaron 19 artículos, los cuales fueron útiles para conocer los diferentes contaminantes y/o parámetros que se encuentran frecuentemente en el agua lluvia captada por medio de los SALL ubicados en área rurales. Una vez finalizó la búsqueda se emplearon una serie de criterios para seleccionar 13 de los artículos encontrados y 4 normativas nacionales (Apéndice C) los cuales debían identificar los parámetros de calidad del agua lluvia más estudiados en contextos rurales para el consumo de animales y riego de cultivos. Dicha selección también tuvo en cuenta posibles

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

fuentes de contaminación en el área de estudio. Por lo tanto, se registró la frecuencia de usos de más de 20 parámetros presente en la literatura revisada los cuales se pueden evidenciar en la Figura 3. Teniendo en cuenta esta revisión, y las posibles fuentes de contaminación determinadas en la fase metodológica 1, se seleccionaron los siguientes parámetros de calidad para el análisis del agua lluvia en el presente estudio: arsénico total, cadmio total, color, conductividad eléctrica, cromo total, dureza total, Escherichia coli, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hierro total, níquel total, nitratos, pH, turbiedad y zinc total.

Figura 3

Parámetros de calidad del agua lluvia más reportados en la literatura consultada



Nota. El gráfico representa los parámetros de calidad del agua lluvia más reportados en la literatura consultada

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Para el análisis de calidad del agua, se contrataron los servicios de un laboratorio externo acreditado por el IDEAM, llamado “Analizar Laboratorio Físicoquímico Ltda” localizado en Duitama (Boyacá), el cual formuló un protocolo de recolección, almacenamiento y transporte de las muestras de agua lluvia. Se realizaron cinco (5) jornadas de muestreo durante el mes de agosto de 2023, que correspondió a un período lluvioso. Las muestras de agua lluvia se tomaron directamente del tanque de almacenamiento de la vivienda con el fin de garantizar que los resultados mostraran las condiciones reales del agua al momento de su uso. Los análisis de laboratorio se efectuaron siguiendo los protocolos de los Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas Residuales registrado en el manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio (Lopez et al., 2011) que recomiendan procedimientos para la toma de muestras, envasado, almacenado y transporte de estas como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Elementos para la toma de muestra de ALL y lugar de muestreo en la vivienda de estudio



(A)

(B)

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Nota. Las imágenes representan: A. Elementos para toma de muestras de agua lluvia. B. Lugar de muestreo de agua lluvia en la vivienda de estudio

Los resultados de laboratorio se procesaron mediante estadística descriptiva y se contrastaron con estándares de calidad del agua para diferentes usos según normas nacionales e internacionales, lo que permitió identificar el estado en el que se encuentra la calidad del agua en relación con dichos parámetros y el posible riesgo que tendrían los habitantes al no recibir un tratamiento adecuado.

Las normativas que se tuvieron en cuenta para contrastar los resultados de laboratorios fueron las siguientes: el Decreto 1594 del 26 de junio del 1984 expedido por el Ministerio de Agricultura de Colombia, en el cual se regula cumplir ciertos criterios y parámetros en el agua que es destinada para usos agrícolas (el riego de cultivos) ya que las consecuencias de emplear agua contaminada para el uso agrícola podrían ocasionar cambios en la salinidad, sodicidad y toxicidad del suelo (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2018), lo que resulta en una baja calidad en los cultivos y productos agrícolas [23] y pecuarios (consumo de animales) (Decreto 1594 de 1984, 1984), [26], la resolución 1256 del 2021 por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales para uso agrícola y otras disposiciones (Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible, 2018), directrices para la calidad del agua potable publicada por la Organización mundial de la salud (OMS) como sucesora de normas internacionales anteriores (World Health Organization, 2022) y por último la guía desarrollada por Fernández (2017), especializado en nutrición de bovinos “Calidad del agua para consumo vacuno” (Fernández Mayer, 2017).

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

3.4. Identificación e opción tecnológicas para mejorar la calidad del agua lluvia captada

La fase final de este trabajo de grado abarcó una búsqueda y posterior lectura de diferentes artículos científicos y libros de texto por medio de las bases de datos Scopus y Web of Science, usando palabras claves como: “rainwater harvesting”, “Rural”, “pollution”, “Rainwater treatment”, “rainwater quality”, entre otros. Además, se compilaron los datos generales de dicha literatura (Apéndice D) con el propósito de identificar y seleccionar la mejor información relacionada con las opciones de tecnologías de tratamiento que podrían ser útil en el contexto del caso de estudio, con el objetivo de alcanzar los estándares de calidad ideales, teniendo en cuenta el enfoque previo de uso del agua en zonas rurales y de la vivienda en específico.

También, se incorporó dentro de la caracterización de las opciones tecnológicas la elaboración de una preselección que cuente con una alternativa de dispositivo conforme al factor económico y la accesibilidad de los materiales contemplando que la población que habita en la zona de estudio son familias de con recursos limitados y no podrían costear tecnologías muy sofisticadas. Para esto se tuvieron en cuenta los resultados de los análisis de laboratorio que se realizaron anteriormente en la fase II para diferentes posibles parámetros que podrían estar presentes en el agua lluvia, dichos parámetros fueron estudiados por separado con el fin de identificar por medio de la literatura, la mejor tecnología que pueda reducir dichos parámetros a valores que estén dentro de los rangos aceptables establecidos por los diferentes entes reguladores nacionales e internacionales que fueron previamente consultados.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

4. Resultados y discusión

4.1. Caracterización de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia

4.1.1. Caracterización sociodemográfica

Con respecto a variables demográficas, se encontró que el rango de edades oscila entre 23 y 73 años, con una edad media de 43 años, de los cuales un 40% son de género masculino y el 60% son de género femenino. En cada vivienda se encontró una media de 3 habitantes y cabe destacar que, de las 15 viviendas incluidas en el estudio, tan solo 7 son las que implementan un SALL. Por lo tanto, los datos que fueron procesados son los correspondientes a estas viviendas

4.1.2. Características técnicas del SALL

Se observó la forma de captación que implementan en las viviendas para aprovechar el agua lluvia y se encontró que el 75% tiene un sistema complejo que cuenta con una superficie de captación, canales, tuberías y tanques de almacenamiento y el otro 25% utiliza un sistema más simple que consiste en captar el agua directamente en los tanques donde será almacenada. Si bien la mayoría de las viviendas cuentan con un sistema de aprovechamiento semi completo, ninguna de estas viviendas cuenta con un sistema de tratamiento.

En cuanto a los materiales que componen el área de captación (techo de la vivienda), se resalta que el 86.7% cuenta con tejas Eternit (fibrocemento) y un 40% usa tejas de zinc (acero galvanizado). Hay dos viviendas que utilizan baldes plásticos de 30 a 50 cm de alto que cuentan con una capacidad de almacenamiento de 25 a 35 L. Las demás viviendas usan tanques que tienen una altura entre 130 y 150 cm y cuentan con una capacidad de 900 a 4000 L. Cabe resaltar que, en

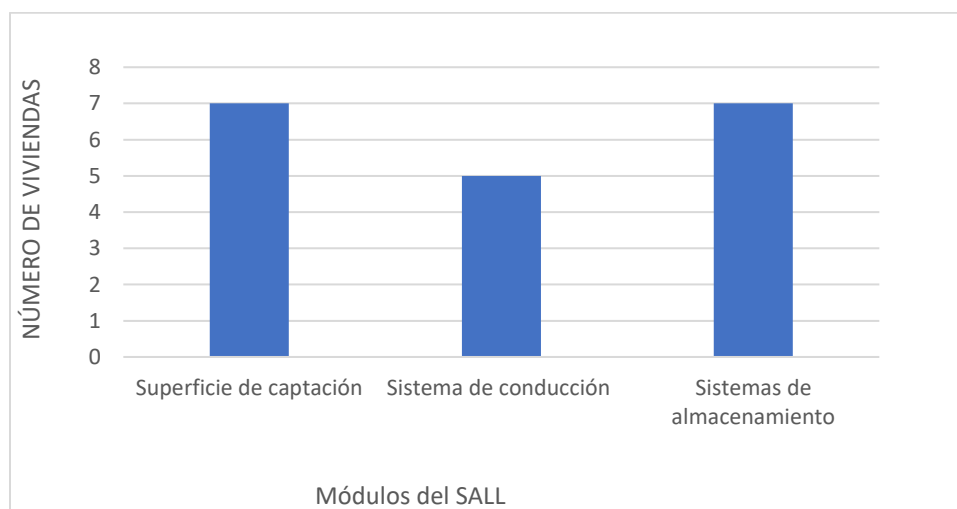
ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

una de las viviendas, el tanque de almacenamiento de agua lluvia es el mismo que usan para almacenar el agua suministrada por el acueducto y estas dos terminan mezclándose.

Algunos de los accesorios que se observaron en los SALL fueron una llave de salida de agua, la salida de agua con tubería y una viga canal. Se registró que las canaletas en un 83% de los sistemas que las poseen están en un estado aceptable y el otro 17% tienen un estado pésimo. De igual forma, el 71% de las viviendas cuentan con canaletas de PVC y una tiene canaleta de acero. Los tanques de almacenamiento son de diferente material en cada vivienda: se encontraron cinco tanques de polietileno, uno de concreto y ladrillo, otro de fibrocemento y un último de concreto. En la figura 5 se pueden identificar los módulos con los que cuentan las viviendas en su SALL

Figura 5

Elementos de los SALL implementados en las viviendas



Nota. El grafico representa los elementos de los SALL implementados en las viviendas

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

La necesidad de adoptar sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en zonas rurales de Colombia se ha vuelto indispensable para las comunidades que habitan en estas áreas. Una clara evidencia de esto se ha identificado en la zona rural de Los Santos en el departamento de Santander (Briceño & Chaparro, 2021) y en Los lagos, Buenaventura, en el departamento de El Valle del Cauca (Arboleda, 2016). En ambas localidades, estudios previos aplicaron entrevistas a la comunidad con el fin de diagnosticar las condiciones de aprovechamiento del agua lluvia, lo que permitió identificar el cumplimiento de las normativas ambientales para el uso del agua lluvia.

En estos dos casos de estudios seleccionados a conveniencia como referencia para el desarrollo de este documento, se puede evidenciar una similitud con respecto a la configuración de los SALL implementados en las diferentes zonas de estudio, las cuales están conformadas con un módulo de captación que suele ser el techo de las viviendas, un módulo de conducción y almacenamiento, y, al igual que el caso de estudio de este trabajo de grado, estos SALL no cuentan con un sistema de tratamiento que ayude a mejorar la calidad del agua. Por otra parte, en el ámbito internacional también se conoce el caso de estudio en el territorio de secano en Etiopía, en donde se llevó a cabo una revisión con el fin de determinar el conocimiento y la implementación de SALL para la producción agrícola y ganadera de la región (Meskele et al., 2023).

4.1.3. Disponibilidad de agua

Por otra parte, se conoció la disponibilidad y las fuentes de agua utilizadas por la comunidad con el fin de identificar los usos y si el suministro de agua principal es suficiente para dichos fines. Se establecieron unos usos predeterminados y cuáles son las fuentes de agua que la población prefiere y se encontró lo indicado en la Tabla 1.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Tabla 1*Usos del agua lluvia en la vereda de estudio*

Uso del agua	Agua suministrada por el acueducto	Agua de lluvia
Higiene personal	100%	0%
Descarga del sanitario	100%	13%
Aseo de la vivienda	100%	40%
Lavado de ropa	100%	20%
Riego de cultivos	60%	53%
Riego de jardines	67%	53%
Bebida de mascotas	93%	40%
Bebida del ganado	80%	40%

Nota: Esta grafica muestra la opinión sobre los usos del agua lluvia en vereda de estudio

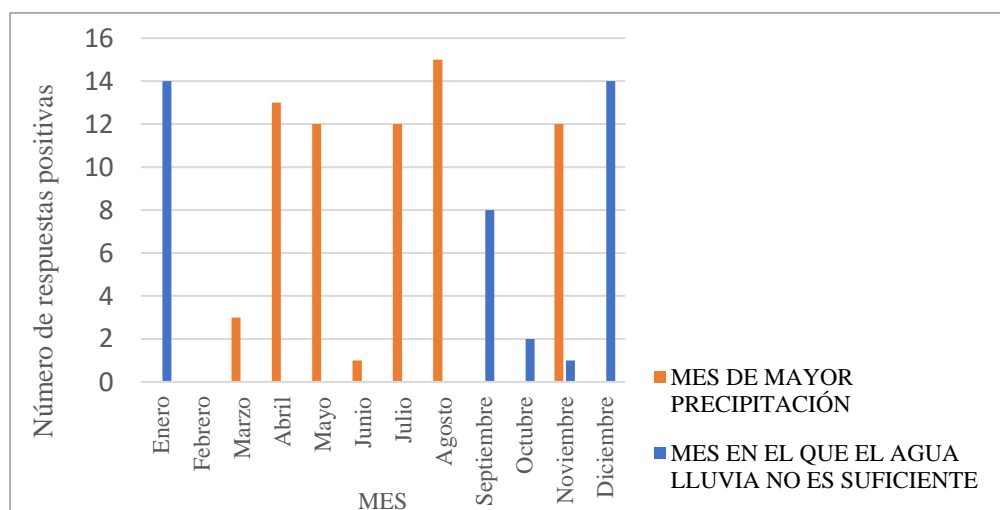
En la Tabla 1 se pueden identificar dos aspectos que logran resaltar el interés que tiene la comunidad por dirigir parte del suministro de agua lluvia hacia el riego de cultivos/jardines y el consumo de animales. Por lo tanto, se puede concluir que el agua lluvia captada está destinada para usos no potables y que no requieren altos estándares de calidad. También se puede observar que la mayoría usa el agua suministrada por el acueducto y algunos de ellos tiene como alternativa o de reserva el agua captada a través de los SALL que implementan en sus viviendas. Es bien conocido que en las zonas rurales colombianas las actividades económicas principales se relacionan con la ganadería y agricultura, lo cual demanda una cantidad significativa de agua que cumpla con los estándares de calidad para dichos fines y es por eso que en el municipio de Pandí, Cundinamarca, se realizó un proyecto de investigación con el fin de realizar una propuesta de un sistema de

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

aprovechamiento sostenible de agua lluvia con el propósito de proporcionar agua para el consumo de vacas y el riego de cultivos agrícolas (Bautista Arcila et al., 2022). El caso mencionado anteriormente coincide con los sistemas presentes en la zona de estudio, en donde las personas que implementan un SALL en sus viviendas lo hacen con el fin de satisfacer una necesidad importante como lo es su actividad económica, lo cual juega un papel importante y beneficia tanto a las familias de la zona como a la comunidad en general que consume los bienes y servicios allí producidos. Por otra parte, se evidenció que un 60% de las personas entrevistadas considera que las fuentes de agua que utiliza en la actualidad como suministro no es suficiente en épocas secas del año (ver figura 6). Este cuestionamiento puede variar según las necesidades que se tengan dentro de las viviendas y según la cantidad de agua que requieran las personas para los diferentes usos.

Figura 6

Percepción de la comunidad respecto de los meses de mayores precipitaciones y meses de escasez de agua lluvia en el área de estudio



ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Nota. Esta grafica representa la percepción de la comunidad respecto de los meses de mayores precipitaciones y meses de escasez de agua lluvia en el área de estudio.

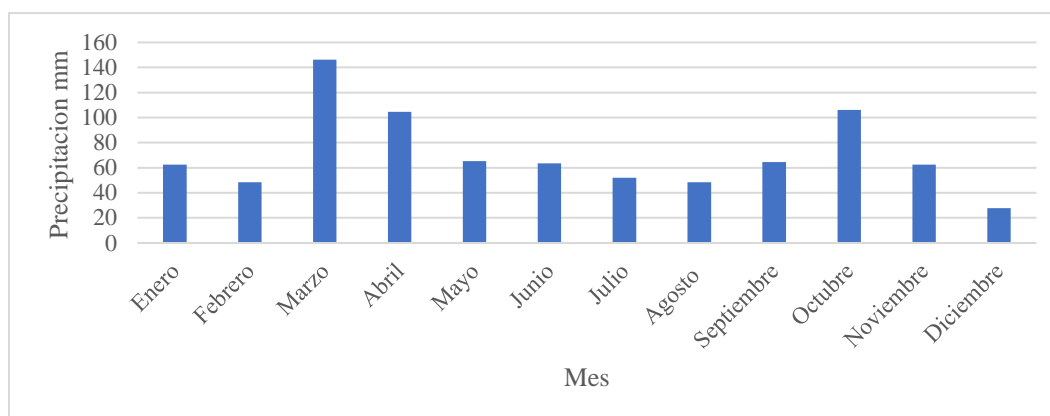
En esta sección es de gran importancia conocer los meses con mayores precipitaciones en la zona de estudio porque es vital identificar los meses en donde se necesitara un alto volumen de agua, aunque cabe aclarar que esta información por parte de la comunidad fue dada con poca seguridad debido a que ellos aseguraron que en los años 2022 y 2023 se observaron cambios respecto al patrón típico del clima; por lo tanto, en la figura 6 se ve reflejada la percepción que tienen los habitantes de la zona sobre los meses restantes del año.

Estas percepciones de la comunidad se contrastaron con los datos presentados por el IDEAM por medio de la estación Aeropuerto A Lleras C Aut (24035340) que se encuentra ubicada a 2500 m.s.n.m. en las coordenadas latitud 5.676944, longitud -72.967917, la cual se encuentra a una distancia de 4.1 km del área de estudio y a una diferencia de alturas de 385 metros. Es importante aclarar que la información presentada en la figura 7 hace alusión a un año en específico lo cual refleja una diferencia con los datos que se pudieran observar si se usara un promedio mensual o multianuales. Por esto, para el año 2022 se evidencia que los meses en los que se presenta mayor precipitación corresponden a marzo, abril, junio, octubre y noviembre, estos datos tienen unas diferencias particulares con las percepciones que tiene la comunidad entrevistada en la zona de estudio.

Figura 7

Precipitación total mensual

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA



Nota. Esta grafica muestra Precipitación total mensual en la estación Aeropuerto A Lleras C del IDEAM (IDEAM, 2023).

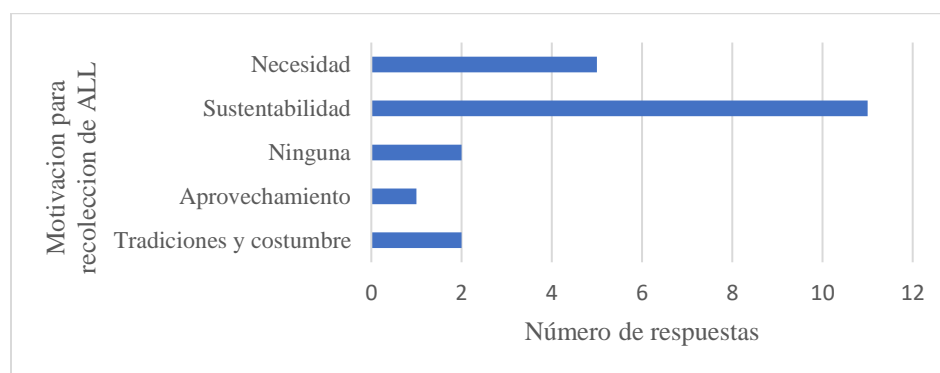
Por lo tanto, se puede ratificar que en los meses en donde ocurren menores precipitaciones, se genera una escasez del recurso hídrico que afecta directamente a la comunidad. Conocer estos datos meteorológicos resulta de importante para la comunidad, ya que de esta forma pueden identificar las épocas de escasez y así lograr prepararse haciendo un buen uso de sus SALL. Debido a la escasez de agua, la comunidad considera en un 73% que es importante el uso de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia y el otro 27% opina que es muy importante implementar un SALL, para lograr satisfacer sus necesidades de agua. También se analizó la aceptación y opiniones que hay en la comunidad por los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia y la motivación que tienen las personas al implementarlos en sus viviendas. Se encontró que un 73% de las personas son motivadas por la sustentabilidad y conservación del medio ambiente (ver figura 8). Se tiene que un 47% de las personas reconocen que es muy viable el aprovechamiento del agua lluvia y el 100% de los encuestados concuerda en que la captación y reutilización del agua lluvia trae ventajas en relación con el ahorro en el agua suministrada por el acueducto y de esta forma reducir gastos económicos. Esta información se puede contrastar con el estudio realizado en el municipio de Los

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Santos, Santander, en donde 97% de los encuestados presentan problemas con el recurso hídrico y todos afirman que la implementación de un SALL es la mejor solución a este problema de escasez, es por ello que según este estudio el 93% de la comunidad implementa un SALL en sus hogares (Fernandez & León, 2022).

Figura 8

Motivaciones para la recolección del agua lluvia.



Nota. La gráfica representa las razones por la cual la comunidad utiliza sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

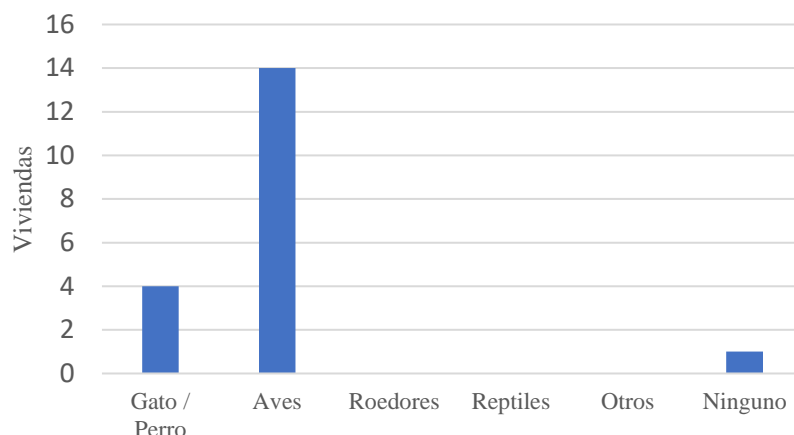
4.1.4 Fuentes de contaminación

El uso de agua lluvia captada puede en ocasiones representar riesgos a la salud debido a los posibles contaminantes presentes en la misma. Al indagar sobre este aspecto, el 87% de los entrevistados no reconocen la presencia de algún riesgo por el uso del agua lluvia, mientras que el 7% de los encuestados reconoce que sí hay riesgos, pero ignora cuales son. Sin embargo, durante las visitas a la zona de estudio se evidenció que en 93 % de las viviendas hay presencia de animales en los techos, los cuales en un 29% eran gatos o perros y en todas las demás se observaron diferentes tipos de aves silvestres en la cubierta de las viviendas (ver figura 9).

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Figura 9

Fuentes de contaminación del agua lluvia observadas en la vivienda de estudio



Nota. En la gráfica se representan los animales observados en los techos de las viviendas (superficies de captación de los SALL).

En 12 de las viviendas que corresponden a un 80% se observó que cuentan con chimeneas, lo cual genera aporte considerable de ceniza y posiblemente hollín que termina posándose en la superficie de los techos y el otro 20% usa una ventana como método de aireación. El 67% de las viviendas cuentan con estufas de leña, estufas de carbón y de gas, el 20% usa estufas de leña y carbón y el otro 13% solo usa estufas de gas. Con respecto a las posibles fuentes de contaminación en la vereda de estudio, es vital mencionar la posible presencia de hollín debido a la combustión de compuestos sólidos (madera y carbón) en las viviendas en donde se implementa el SALL. Se encontró que un 93.3% de las personas afirmaron tener conocimiento sobre el hollín y los posibles riesgos que estas partículas pueden traer para los seres vivos. Sin embargo, los entrevistados no relacionan las emisiones de hollín con posible contaminación del agua lluvia captada. En el 44% de las viviendas se observó que se realiza fumigación de cultivos cercanos y por otro lado se notó

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

que en un 56% realizaban quema de residuos sólidos, lo cual aumenta el riesgo de contaminar el agua lluvia con sustancias tóxicas y nocivas para la salud, dado que las emisiones gaseosas y material particulado derivado de la quema pueden contaminar los módulos del SALL.

Según la información recogida, las personas disponen de los residuos sólidos orgánicos de la siguiente manera: el 33% los utiliza como abono para sus cultivos, el 60% lo emplea como alimento para el ganado y el otro 7% lo entierra bajo el suelo. En un estudio realizado en la región este de Gippsland, Victoria en Australia, ocurre una situación similar, ya que en esta área se producen incendios forestales generando una gran cantidad de ceniza que contiene diferentes contaminantes orgánicos, metales de los cuales se destaca el arsénico, hierro, zinc y HAP (Spinks et al., 2006).

4.1.5. Actividades de mantenimiento del SALL

Como se observó anteriormente es necesario llevar a cabo diferentes actividades para reducir los contaminantes, dado que hacer uso de agua lluvia sin tratar puede causar afectaciones (Latif et al., 2022). En el área de estudio, se encontró que el 80% de las viviendas no tratan el agua lluvia captada, lo cual indica que no se tiene conocimiento sobre las tecnologías de tratamiento y así evitar que el agua se contamine. Aun así, solo el 13% manifestaron que realizan una limpieza de la zona de captación (lavado de los techos y recogida de materiales en la superficie de este) y en una de las viviendas se realiza cloración con una dosis no predeterminada (i.e., la persona indicó que añada algunas gotas de cloro en grandes cantidades de agua) (ver tabla 2).

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Tabla 2*Actividades realizadas para reducir contaminantes del agua lluvia*

Uso del agua	Ninguna	Añadir cloro
Descarga del sanitario	25%	0%
Aseo de la vivienda	75%	0%
Lavado de ropa	75%	0%
Riego de cultivos	88%	13%
Bebida de mascotas	63%	0%
Bebida del ganado	75%	13%

Nota. Actividades desarrolladas en la vereda de estudio para reducir contaminantes del agua lluvia

En la tabla 2, se observa que la comunidad no implementa un método de desinfección para usos domésticos (lavado de ropa, descarga de sanitarios y lavado de la vivienda) y solo un 13% reduce los contaminantes por medio de la cloración del agua. En las zonas rurales las condiciones económicas y el desconocimiento del uso correcto de estos sistemas no permiten una implementación segura de los SALL, lo cual se evidencia en el caso de estudio en Los Santos, donde se manifiesta que el 13% de los habitantes no practican alguna actividad de mantenimiento al sistema y solo un 44% manifiesta que lava y cepilla el área de captación (techos) y con respecto al método de desinfección en un 21% aplican cloro y el 17% hierve el agua (Briceño & Chaparro, 2021). lo cual también se ve reflejado en la investigación realizada en una zona rural de Australia donde sugieren de igual forma una desinfección por cloración ya sea en tabletas o líquido y de igual forma se plantea una desinfección ultravioleta y solar (Latif et al., 2022), esta última es muy usada

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

porque ayuda a realizar una eliminación microbiana del agua captada (Pineda et al., 2022). Otro ejemplo es el caso de estudio de la vereda Garbanzal en Los Santos en donde se reporta que los usuarios realizan una limpieza del sistema de una vez por año y de igual forma los métodos de desinfección más comunes es el uso de cloro y hervir el agua por su facilidad de aplicación. (Fernandez & León, 2022).

4.2. Análisis de la calidad del agua lluvia

4.2.1. Análisis de laboratorio de los parámetros

Después de obtener los resultados de los análisis hechos en laboratorio durante cinco días en la vivienda preseleccionada (Ver apéndice E) se procesaron y se observan en la tabla 3.

Tabla 3

Resultados de las muestras de agua lluvia y los estándares de calidad según su uso

Parámetros	Unidad	ANÁLISIS DE LABORATORIO					ESTÁNDARES	
		Promedio	Desviación Estándar	CV	Max	Min	Bebida de animales	Riego de cultivos
Arsénico	mg As/L	<0.0025	-	-	<0.0025	<0.0025	< 0.2 ⁽²⁾	< 0.1 ⁽²⁾
Cadmio	mg Cd/L	<0.01	-	-	<0.01	<0.01	< 0.005 ⁽²⁾	< 0.01 ⁽²⁾
Color	UPC	6.694	1.5	22%	7.68	<4.28	-	-
Conductividad eléctrica	microsiemens/cm	23.02	0.55	2%	23.8	22.6	-	<1500 ⁽¹⁾
Cromo	mg Cr/L	<0.10	-	-	< 0.1	< 0.1	< 1 ⁽²⁾	< 0.1 ⁽²⁾
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	13.32	0.73	5%	14.2	12.4	-	-
E. coli	UFC/100cm ³	119.4	163.17	137%	396	-	- ⁽²⁾	1000 ⁽²⁾
PAH	mg/L	<0.005	-	-	<0.005	<0.005	-	< 1 ⁽¹⁾
Hierro total	mg Fe/L	0.518	0.44	85%	1.26	<0.1	< 0.1 ⁽³⁾	< 5 ⁽²⁾
Níquel	mg Ni/L	<0.20	-	-	<0.2	<0.2	-	< 0.2 ⁽²⁾
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	<0.35	-	-	<0.35	<0.35	< 100 ⁽²⁾	< 11 ⁽¹⁾
pH	Unidades de pH	6.914	0.77	11%	8.16	6.33	< 8 ⁽³⁾	4.5 – 9 ⁽²⁾
Turbidez	UNT	2.302	0.43	19%	2.88	1.87	-	-
Zinc	mg Zn/L	1.362	0.14	10%	1.55	1.19	< 5 ⁽³⁾	< 2 ⁽²⁾

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Nota 1. Los valores de desviación estándar y Cv que tienen valor cero, fue porque no presentaron una variación o dispersión en los datos recogidos.

Nota 2. En la representación de valores Mínimos se tiene que para los datos de E. Coli el valor mínimo fue cero porque no se encontró registro en dos de las muestras.

- (1) Resolución 1256 de 2021
- (2) Decreto 1594 de 1984
- (3) Fernández M. Aníbal (2017)

En la tabla 3 se pueden apreciar los valores aceptables de los parámetros según sea su uso, pero cabe aclarar que, según los resultados obtenidos en laboratorio, estos se encuentran dentro de los estándares para el riego de plantas, por lo tanto, en este análisis se centró en analizar los posibles contaminantes que pueden contener estos parámetros y que pueden representar un riesgo para los animales. Adicionalmente, la tabla 3 indica los resultados de estadística descriptiva para los datos de las cinco muestras tomadas en campo del agua lluvia en la vivienda preseleccionada.

Inicialmente se tiene que la presencia de arsénico, cromo y los hidrocarburos aromáticos son efectos de la combustión de material sólido como lo es la madera (Spinks et al., 2006) y puede contaminar el agua captada y de los cuales se obtuvo un valor de <0.0025 mgAs/L, <0.1 mgCr/L y <0.0005 mg/L, respectivamente, en las muestras tomadas en campo y de las cuales según los estándares no representan un riesgo para los usos del agua. En cuanto al cadmio, se obtuvo un valor de <0.01 mgCd/L lo cual se encuentra por encima del rango del valor estándar para el consumo de animales que es <0.005 , el cadmio es un contaminante suele estar relacionado con partículas liberadas en incendios o combustión de materia orgánica (Spinks et al., 2006) y también por productos agroquímicos por lo tanto, este compuesto es altamente tóxico que al estar presente en

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

el agua pueden pasar a los vegetales, animales y humanos, su principal efecto en animales es un afectación al hígado y riñones generando alteraciones hematológicas, metabólicas e inmunitarias (Rodríguez Tellez et al., 2005). En el proceso de captar el agua lluvia se pueden recolectar también diferentes partículas como el polvo, sólidos disueltos y sedimentos que pueden aumentar el nivel del turbiedad y color en el agua, además de su apariencia y sabor (Abbasi & Abbasi, 2011), dentro de las muestras se obtuvieron valores de 2.3 UNT y 6.7 UPC respectivamente.

También, se tiene que la conductividad eléctrica refleja la capacidad el agua para conducir corriente eléctrica y se relaciona con la presencia de sales y algunos minerales que el agua pudo arrastrar en el techo de la vivienda(Gomez & Silva, 2019), para este caso se encontró que la conductividad en la muestra tiene una media de 23 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor que se encuentra dentro del rango aceptable según la resolución 1256 de 2021. La dureza en el agua hace referencia a la presencia se iones Ca y Mg expresados en carbonatos y no se conocen efectos nocivos para los animales o bovinos más exactamente (Fernández Mayer, 2017).

Por otro lado, en los tres primeros muestreos se registró presencia de *E. coli* lo cual descartaría su uso para bebida de animales, pero este registro desaparece en las dos últimas muestras y esto permite sugerir que este cambio se debió a la presencia de animales como aves y animales domésticos en área de captación, así que, se recomienda un tratamiento para el agua y/o limpieza del área de captación. También, se registraron en tres de las muestras niveles altos de hierro con una media de 0.5 mg/L lo cual según la norma resulta perjudicial para animales ya que estos toleran un nivel estándar de 0.1 mg/L. Este contaminante puede estar relacionado con el

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

material del techo y las tuberías del sistema ya que estos pueden desprender partículas metálicas como el hierro (Abbasi & Abbasi, 2011).[18]

Los nitratos son compuestos que podrían indicar la presencia de contaminación con fertilizantes en el SALL que posteriormente contaminaría el agua lluvia (Fernández Mayer, 2017), el consumo de valores por encima de los valores estándares de nitratos puede ser tóxico para los bovinos, lo cual en este caso no representa un riesgo porque se obtuvo una concentración <0.35 mg NO₃-N/L. Con respecto al pH, el agua lluvia presentó una media de 6.9, esto resulta conveniente porque el nivel de pH suele variar fácilmente con el contacto de los diferentes elementos y compuestos que pueden estar en el área de captación, como las sales, metales y compuestos orgánicos (Gómez & Silva, 2019).

Los estándares para el zinc son de <5 mg Zn/L para bebida de animales y < 2 mg Zn/L para el riego de plantas. Se encontró que todas las muestras presentaban valores que estaban por debajo de estos estándares y que la posible presencia del zinc es el resultado del hierro galvanizado, el material del tanque de almacenamiento, accesorios galvanizados (Spinks et al., 2006).

Según el análisis realizado al agua captada podría traer serias consecuencias a los bovinos que consuman esta agua contaminada, ya que el cadmio es considerado un contaminante altamente tóxico y se ha demostrado que genera un bloqueo en la maduración in vitro y problemas en desarrollo natural de las crías o en otras palabras una degeneración cromosómica (Rodríguez Tellez et al., 2005). Por otro lado, se tiene que el exceso de hierro reduce los niveles de cobre en la sangre

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

y esto genera alteraciones bioquímicas en las metaloenzimas dependiente del cobre (Pinto-Santini et al., 2007) y todo esto podría desembocar en temblores, cólicos y convulsiones a vida (Foreman, 2023). Con lo anterior se concluye que la calidad del agua no es óptima para el consumo de animales (bovinos), pero para el riego de cultivos podría servir ya que no excede los estándares para este uso y no representa un riesgo.

4.3. Identificación de opciones tecnológicas para el mejoramiento de la calidad del agua lluvia

La información recogida durante el análisis de la segunda fase permite identificar cuáles son contaminantes y agentes tóxicos que deben ser tratados, lo cual orienta esta investigación a proponer tecnologías que puedan ayudar a mejorar la calidad del agua lluvia, las cuales se basaron en las características del área de estudio y las recomendaciones de la literatura, teniendo en cuenta los contaminantes presentes en el agua y que representan un riesgo (Ver tabla 3).

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente se han propuesto alternativas tecnológicas acordes con las condiciones económica de la localidad y, por lo tanto, se descartaron diferentes tecnologías mucho más efectivas (p.ej., ósmosis inversa, filtración por carbón activado) con el fin de reducir los costos de producción (Prieto-Jiménez et al., 2024).

4.3.1 Desviador de primer flujo

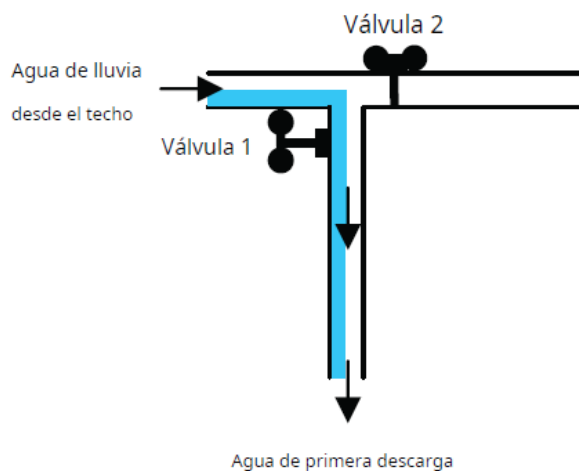
Este es un dispositivo que tiene la función de captar y desviar las primeras aguas lluvias las cuales corresponden al lavado del área de captación con el fin de evitar el almacenamiento de aguas que contengan altas cantidades de impurezas (Naranjo & Salazar, 2021). Este dispositivo normalmente se instala en el módulo de conducción de agua lluvia para que pueda captar la mayor

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

cantidad de esorrentía inicial antes de que la esorrentía más limpia ingrese al módulo de almacenamiento y esto suele hacerse alejando la tubería de bajada del tanque de almacenamiento al comienzo de la lluvia y dejar que se purgue la primera descarga (ver figura 10) (Zheng & Deng, 2024). Esta tecnología ha mostrados resultados importantes en el mejoramiento de la calidad del agua lluvia captada, en un estudio realizado en el 2019 para un caso de estudio de una vivienda unifamiliar se reportó un 60% en la reducción solidos disueltos totales y sales presentes en el agua (Gomez & Silva, 2019), lo cual puede ser importante para esta investigación porque se conseguiría una reducción importante en la turbiedad y la presencia de solidos disueltos.

Figura 10

Desviador de primer flujo



Nota. En la figura se observa un diseño de un desviador de primer flujo (Abbasi & Abbasi, 2011).

El desviador de primer flujo es un tratamiento primario por lo que sería necesario agregar un tratamiento adicional debido a que no tiene la capacidad de eliminar contaminantes disueltos,

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

pero si reduce la turbidez (Zheng & Deng, 2024). La cantidad de agua a desviar también va a depender de los días secos anteriores a la escorrentía como consecuencia de los sólidos y materia orgánica presente en el área de captación (Abbasi & Abbasi, 2011).

4.3.2. Filtración lenta de arena

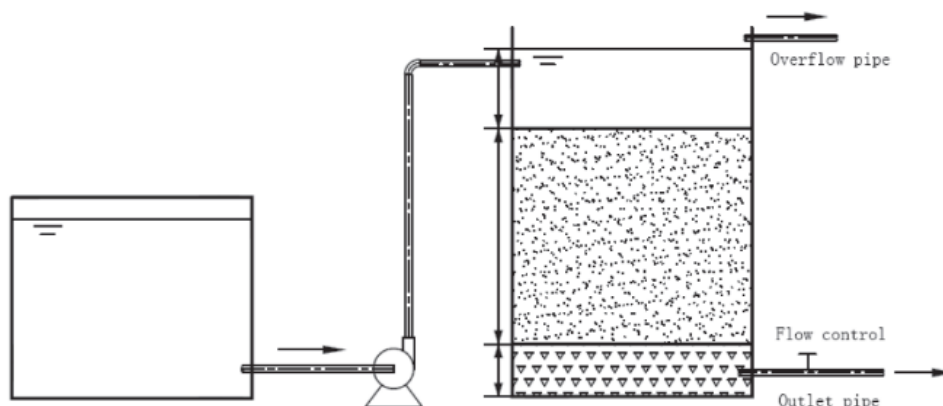
La filtración lenta de arena es una tecnología usada con el fin de generar agua biológicamente estable y la eliminación de partículas, ya que es eficiente en reducción de la turbidez, en la eliminación de bacterias, materia orgánica presente en el agua (Liu et al., 2019) además de reducir los sólidos disueltos, esta tecnología es eficiente al eliminar problemas de olor, color y metales pesados (Raimondi et al., 2023). Este es un sistema simple y fácil de construir, ya que su funcionamiento es automático impulsado por gravedad y no es necesario agregar ningún agente químico, reduciendo los subproductos debido a la desinfección.

El sistema está conformado por tres componentes: el tanque de almacenamiento, una bomba peristáltica (es opcional según sea el diseño del SALL) y el filtro de arena (Liu et al., 2019) (ver figura 11). Su funcionamiento se reduce al hacer pasar el agua lluvia a baja velocidad a través del lecho granular (arena y gravas) poroso (Zheng & Deng, 2024), en donde ocurren diferentes procesos físicos y biológicos que consisten en retener las impurezas al entrar en contacto con las partículas del manto filtrante, también se da el proceso de degradación química y biológicas de la materia retenida, destruyendo de esta forma patógenos presentes en el agua (OPS, 2010). Con el tiempo estas partículas filtradas se acumulan en el lecho filtrante, por lo tanto, se debe realizar un retro lavado para recuperar la capacidad de filtración.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Figura 11

Sistema de filtrado lento de arena



Nota. En la figura se observa un esquema de sistema de filtrado lento de arena (Liu et al., 2019)

En estudios realizados en un área rural de china se encontró que la filtración lenta de arena fue muy eficiente en la eliminación principalmente de contaminantes que coinciden con los encontrados en la vereda Pedregal, puesto que en dicho estudio se registró que la eficiencia del filtro es aproximadamente 60% para el zinc, del 95% para el cadmio y el hierro permitiendo cumplir los estándares de calidad del agua (Liu et al., 2019). Este tipo de tecnología puede ser de gran ayuda en el mejoramiento de la calidad del agua captada por los habitantes en el área de estudio y lo más importante que es una tecnología simple, de bajo costo de operación y mantenimiento (Naranjo & Salazar, 2021).

4.3.3. Desinfección

Es probable que los dos procesos anteriores (desviadores y filtración) no reduzcan en su totalidad la presencia de microorganismos que pueden resultar dañinos para el riego y el consumo de animales (Zheng & Deng, 2024). Por lo tanto, es necesario realizar un proceso de desinfección en donde se logre la inactivación de patógenos (Crittenden et al., 2012). Se conocen diferentes

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

métodos de desinfección dentro de las cuales se destaca la cloración, ozonificación y la desinfección solar o irradiación UV (Naranjo & Salazar, 2021).

La cloración es un método eficaz para el tratamiento de agua lluvia, principalmente por su fácil acceso (Raimondi et al., 2023), además de que el cloro actúa como oxidante y puede eliminar algunas sustancias químicas, como lo es el caso de los plaguicidas (Naranjo & Salazar, 2021) y también resulta eficaz contra una amplia gama de patógenos transmitidos por el agua reduciendo así el riesgo de contaminación. En el proceso de cloración es necesario la dosificación de una solución de gas de cloro o compuestos a base de cloro (Zheng & Deng, 2024) como el hipoclorito de sodio o gránulos de hipoclorito de calcio (World Health Organization, 2022), lo cual puede resultar poco factible a nivel doméstico debido a que esta dosificación se debe realizar mediante cálculos y pruebas adicionales (Raimondi et al., 2023).

Durante el estudio realizado en campo para el caso de estudio de la vereda pedregal se encontró que en una de las viviendas utilizaban este método de desinfección arrojando resultados positivos con respecto a la presencia de patógenos y microorganismos en el agua, por lo tanto, se recomienda su uso para complementar esta propuesta de SALL, aunque es un procedimiento con el que se debe tener especial cuidado con su dosificación porque crece el riesgo de generar subproductos químicos (Latif et al., 2023).

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

5. Conclusiones

Se pudo determinar que las viviendas en el área de estudio no tienen un SALL con las condiciones adecuadas para que el agua pueda tener una calidad adecuada respecto a los usos que se desarrollan en la vereda, dado que todos estaban compuestos solamente con un módulo de captación, conducción y almacenamiento, dejando de lado la implementación de alguna tecnología de tratamiento y/o desinfección para mejorar la calidad del agua y eliminar los contaminantes.

La presencia de animales domésticos y salvajes en la vivienda es uno de los factores de contaminación más representativos que se observaron, también se recomienda realizar un buen mantenimiento y limpieza de cada uno de los módulos del SALL y tapar el tanque de almacenamiento para lograr mejorar la calidad del agua lluvia y prevenir la contaminación en especial de patógenos presentes en las heces de los animales que se posan en el área de captación, además se comprobó que la presencia de hollín en el agua es muy mínima y no representa un problema importante para los usos destinados del agua captada, aunque se recomienda reducir en gran medida la quema de desechos sólidos y orgánicos ya que se encontró una concentración atípica de hierro y cadmio los cuales pueden ser subproductos de esta práctica. Es esencial realizar un estudio más detallado para identificar otras fuentes de contaminación o conocer la concentración exacta de los contaminantes presentes en el agua y de esta forma identificar si se encuentran solubles o insolubles y así desarrollar tecnologías de tratamiento adecuadas para garantizar la seguridad del agua para los usos propuestos.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Durante el análisis de la calidad del agua lluvia se encontraron dos parámetros fuera de los estándares para el consumo de bovinos y por lo tanto con la ayuda de la literatura se propusieron diferentes tecnologías que pueden ayudar a mejorar la calidad el agua, dentro de las cuales se encuentra un tratamiento primario que consiste un desviador de primer flujo, acompañado de un filtro lento de arena el cual podría fabricarse con materiales que se encuentran en la zona reduciendo así los costos de producción y convirtiéndose en una tecnología de fácil acceso para la comunidad y por último se recomendó un proceso de desinfección mediante la cloración con el fin de eliminar los patógenos y microorganismos presentes en las heces de las aves y animales domésticos que contaminan el área de captación.

6. Recomendaciones

Una vez finalizado los respectivos estudios e investigaciones de este proyecto se hacen las siguientes recomendaciones con el fin de mejorar la calidad del agua lluvia captada y reducir la carga contaminante que entra al sistema de tratamiento. Se observo que los principales factores de contaminación es la quema de basura en el área de estudio y el poco mantenimiento que reciben los módulos del SALL, es por ellos que se requiere reducir la combustión de cualquier material orgánico e inorgánico y de esta forma prever la contaminación por productos de esta actividad, además también es importante realizar una limpieza periódica del área de captación (Techo de la vivienda) en donde se retiren los escombros, residuos vegetales y cualquier materia fecal que se encuentre; por otra parte, también podría ayudar colocar una tapa al tanque de almacenamiento para reducir el ingreso de hojas, polvo y cualquier otro elemento que altere la calidad del agua.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Por último, también se insiste en realizar estudios mas detallados con el fin de identificar las concentraciones exactas de los compuestos presentes en el agua y también identificar algunos otros contaminantes que puedan estar alterando la calidad del agua, esto con el fin de implementar las tecnologías específicas para cada caso y que sean efectivas en alcanzar los estándares de calidad ideales según su uso.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Referencias Bibliográficas

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23), 2097–2167. <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.497438>
- Arboleda, N. (2016). Evaluacion de alternativa tecnologicas para el tratamiento basico del agua lluvia de uso domestico en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura. *Scientia et Technica*, 21(0122–1701), 1–9.
- Bautista Arcila, P. A., Apolinar, S., & Forero, G. (2022). Propuesta de un sistema VAC para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en la finca Nanche, en el municipio de Pandi, Cundinamarca. *INVENTUM*, 17(32), 13–31. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.17.32.2022.13-31>
- Briceño, C., & Chaparro, D. V. (2021). Análisis de la aceptación social de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en la zona rural de Los Santos, Santander. *Universidad Industrial de Santander*, 1–54.
- Cala, D. A. (2011). *Diseño de un prototipo de red de recolección y almacenamiento de agua lluvia para una escuela rural en el municipio de Barichara como alternativa de solución a la escasez de agua.*
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). MWH's Water Treatment: Principles and Design: Third Edition. *MWH's Water Treatment: Principles and Design: Third Edition.* <https://doi.org/10.1002/9781118131473>
- Decreto 1594 de 1984 (1984).

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- Estupiñan, J. L., & Zapata, H. O. (2010). *Requerimiento de Infraestructura para el Aprovechamiento del agua lluvia en el campus de la pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá.*
- Fernandez, J., & León, L. (2022). *Análisis de la calidad del agua en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. Caso de estudio: Vereda Garbanzal (Los Santos Santander).*
- Fernández Mayer, A. (2017). *CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO VACUNO.*
www.produccion-animal.com.ar
- Foreman, J. (2023, May). *Hepatotóxicos en grandes animales - Aparato digestivo - Manual de veterinaria de MSD.* <https://www.msdtvetmanual.com/es/aparato-digestivo/enfermedad-hep%C3%A1tica-en-grandes-animales/hepatot%C3%B3xicos-en-grandes-animales>
- Garcia, A., & Rivera, A. A. M. (2020). *Propuesta de tecnologías para el tratamiento del agua en el sistema de aprovechamiento de agua lluvia del edificio de la escuela de Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones en el campus central de Universidad Industrial de Santander.*
- García-Ávila, F., Guanoquiza-Suárez, M., Guzmán-Galarza, J., Cabello-Torres, R., & Valdiviezo-Gonzales, L. (2023). Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas. In *Results in Engineering* (Vol. 18). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101153>

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- Gómez, M. A., & Silva, M. C. (2019). *Propuesta de tecnología para el tratamiento de aguas lluvias, como opción para su aprovechamiento en viviendas unifamiliares, caso de estudio: Bucaramanga (Colombia)*. 1–61.
- Gomez, M., & Silva, M. (2019). *Propuesta de tecnología para el tratamiento de aguas lluvia, como opción de aprovechamiento en viviendas unifamiliares. Caso de estudio Bucaramanga*.
- Hernández Avilés, D. M., & Chaparro, T. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 97–107. <https://doi.org/10.18359/rcin.4409>
- IDEAM. (2018). *Estudio Nacional del Agua*. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua>
- IDEAM. (2023). *Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos* . ArcGIS World Geocoding Service.
- Latif, S., Alim, M. A., & Rahman, A. (2022). Disinfection methods for domestic rainwater harvesting systems: A scoping review. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 46). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102542>
- Latif, S., Alim, M. A., Rahman, A., & Haque, M. M. (2023). A Review on Chlorination of Harvested Rainwater. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/w15152816>
- Liu, L., Fu, Y., Wei, Q., Liu, Q., Wu, L., Wu, J., & Huo, W. (2019). Applying bio-slow sand filtration for water treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(4), 2243–2251. <https://doi.org/10.15244/pjoes/89544>

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- Lopez, J., Olivera, E., Rey, G., & Nava, G. (2011). *Programa de vigilancia por laboratorio de la calidad de agua para consumo humano*.
- Meskele, D. Y., Shomere, M. W., & Adi, K. A. (2023). A review on harvesting rainwater for agricultural production in the rain-fed region, Ethiopia: challenges and benefits. *Sustainable Water Resources Management*, 9(6). <https://doi.org/10.1007/s40899-023-00957-5>
- Ministerio de ambiente y Desarrollo sostenible. (2018). *Resolución 1256 de 2021*.
- Naranjo, J. D., & Salazar, I. A. (2021). *Propuesta de variables técnicas para la selección de tecnología de sistema de aprovechamiento de aguas lluvias a nivel residencial en el contexto rural de países en desarrollo*.
- NIH. (2015). *Hollín - NCI*. Hollín. <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/hollin>
- ONU. (2022, November 27). 6. *Agua limpia y saneamiento*. Objetivo 6: Garantizar La Disponibilidad de Agua y Su Gestión Sostenible y El Saneamiento Para Todos. <https://www.unicef.org/es/agua>
- OPS. (2010). Sistemas de captación y filtrado de aguas lluviaa. *Organizacion Panamericana de La Salud*, 1, 9–10.
- Owusu, S., & Asante, R. (2020). Rainwater harvesting and primary uses among rural communities in Ghana. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 10(3), 502–511. <https://doi.org/10.2166/washdev.2020.059>

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- 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. *Revista Gestión y Ambiente*, 13(0124.177X), 25–40.
- Pineda, E., Guaya, D., Rivera, G., García-Ruiz, M. J., & Osorio, F. (2022). Rainwater treatment: an approach for drinking water provision to indigenous people in Ecuadorian Amazon. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(9), 8769–8782. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03741-0>
- Pinto-Santini, L., Godoy, S., Chicco, C., & Chacón, T. (2007). Efecto de altos niveles de hierro y molibdeno sobre la nutrición del cobre en vacas mestizas. *Revista Científica*, 17(6), 588–596. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592007000600006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Prieto-Jiménez, D., Oviedo-Ocaña, E. R., Gómez-Isidro, S., & Domínguez, I. C. (2024). A multicriteria decision analysis for selecting rainwater harvesting systems in rural areas: a tool for developing countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(29), 42476–42491. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33734-8>
- Radojevic', M. (2003). Chemistry of Forest Fires and Regional Haze with Emphasis on Southeast Asia. In *Pure appl. geophys* (Vol. 160).
- Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G. R., Becciu, G., & Ostfeld, A. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w15081518>
- Reyes, M. C., & Rubio, J. J. (2014). *Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias*.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- Rodríguez Tellez, B. E., Marcano, L., & Villamediana Monreal, P. C. (2005). *Efecto de la exposición al cloruro de cadmio sobre la maduración in vitro de ovocitos bovinos: Vol. XV.*
- Ruiz, J. A. (2017). *Monografía sobre proyecto de grado: Sistema de Captación y aprovechamiento de agua lluvia impulsado por gravedad.*
- Spinks, J., Phillips, S., Robinson, P., & Van Buynder, P. (2006). Bushfires and tank rainwater quality: A cause for concern? *Journal of Water and Health*, 4(1).
<https://doi.org/10.2166/wh.2005.059>
- Tengan, B. M., & Akoto, O. (2022). Comprehensive evaluation of the possible impact of roofing materials on the quality of harvested rainwater for human consumption. *Science of the Total Environment*, 819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152966>
- UNICEF. (2022). *Agua. Agua.* <https://www.unicef.org/es/agua>
- World Health Organization, W. (2022). *Guidelines for drinking-water quality.*
- Zheng, L., & Deng, Y. (2024). Advancing rainwater treatment technologies for irrigation of urban agriculture: A pathway toward innovation. In *Science of the Total Environment* (Vol. 916). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170087>

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Apéndices

Apéndice A. Formato de encuesta

Con esta encuesta se obtuvo información demográfica de los usuarios, la disponibilidad y fuentes de aguas usada, las posibles fuentes de contaminación identificadas por la comunidad y cuáles son las alternativas utilizadas para mejorar el agua lluvia captada.

GUÍA DE ENTREVISTA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA

Elaborado por:

Beatriz Carolina Acero Álvarez

Jose Antonio Pérez Castro

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

FECHA: ____/____/____**Ubicación:** _____

Esta entrevista se realiza en el marco del trabajo de grado de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander, titulado “Propuesta de alternativas para mejorar la calidad del agua lluvia en sistemas de aprovechamiento para viviendas rurales en la vereda Pedregal sector La Independencia (Sogamoso, Boyacá)”, cuyo objetivo general es “Proponer alternativas para mejorar la calidad del agua lluvia en sistemas de aprovechamiento para viviendas rurales en la vereda Pedregal sector La Independencia (Sogamoso, Boyacá)”. La entrevista se realiza con el objetivo de caracterizar los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia utilizados por los habitantes de la vereda Pedregal sector La Independencia en Sogamoso (Boyacá).

NOTA: Cabe recalcar que la información aquí recogida se tratará de forma confidencial y todos los datos personales proporcionados no serán divulgados.

1. CARACTERÍSTICAS SOCIODEMOGRÁFICAS DEL USUARIO**Nombre:** _____**Edad [años]:** _____**Sexo:** M () F ()**¿Cuántas personas habitan en la vivienda?** _____.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

2. DISPONIBILIDAD Y FUENTE DE AGUA

2.1 ¿Cuáles fuentes de agua utiliza para diferentes usos? (puede seleccionar varias opciones para un mismo uso)

Uso del agua	Agua suministrada por el acueducto	Pozo perforado o tubular	Agua de un manantial	Agua de lluvia	Agua suministrada Camión cisterna	Agua envasada	Aguas de superficie	Otro ¿Cuál?
Consumo humano/Cocinar								
Higiene personal								
Descarga del sanitario								
Aseo de la vivienda								
Lavado de ropa								
Riego de cultivos								
Riego de jardines								
Bebida de mascotas								
Bebida del ganado								
Otro:								

2.2 ¿Considera que las fuentes de agua que utiliza actualmente le suministran una cantidad suficiente para todos los usos que le da en su hogar?

() Sí es suficiente

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- No es suficiente
- No es suficiente en algunas temporadas del año

2.3 ¿Cuál fue la razón principal por la que no es suficiente la cantidad de agua que suministran las fuentes utilizadas?

3. FORMAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA LLUVIA

3.1 ¿Cuáles son los meses de mayores precipitaciones en el sector la Independencia?

- Enero Febrero Marzo Abril Mayo Junio Julio
- Agosto Septiembre Octubre Noviembre Diciembre

3.2 ¿ Hay algunos meses en los que el agua lluvia no es suficiente para satisfacer alguno de los usos de agua habituales?

3.3 ¿Qué tan importante percibe usted los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia?

- No es Importante
- Importante

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Aseo de la vivienda								
Lavado de ropa								
Riego de cultivos								
Bebida de mascotas								
Bebida del ganado								
Otro: _____								

3.7 ¿Sabe qué es el Hollín?

() Sí

() No

3.8 ¿Cuáles son los efectos del hollín que ha observado en los seres vivos?

4. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA

4.1 ¿Sabe cómo funciona un sistema de aprovechamiento de agua lluvia? Si la respuesta a la pregunta es sí, explique brevemente el funcionamiento.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

4.2 ¿Conoce algún método de mantenimiento para el sistema de aprovechamiento de agua lluvia (SALL)?

4.3 ¿Qué elementos (Equipos y materiales) utiliza para hacer la limpieza de las partes del SALL?

Superficie de captación (Techo):

Sistema de conducción (Canaletas):

Sistemas de almacenamiento (Tanques):

Otro. ¿Cuál? _____

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

4.4 ¿Cuáles cree usted que son los requisitos para utilizar correctamente el SALL?

4.5 ¿Cómo disponen los residuos sólidos (basuras) del hogar?

- Servicio de recolección de basuras
- Quema
- Deposición bajo tierra

5. ACEPTACIÓN, MOTIVACIÓN Y OPINIONES DE USUARIOS DEL AGUA DE LLUVIA

5.1 ¿Qué le motiva a realizar la captación de agua lluvia?

- Sustentabilidad y conservación del ambiente
- Tradiciones y costumbre
- Fácil acceso
- Buena calidad
- Necesidad

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

() Otro: _____

5.2 ¿Qué tan viable considera que es el aprovechamiento de agua lluvia?

5.3 ¿Cree que la captación y reutilización de agua lluvia trae ventajas o desventajas?

¿Por qué?

Apéndice B. Formato Observacional

Por medio de este formato se recogió información sobre las condiciones en las que se encontraban los SALL de las diferentes viviendas visitadas.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

**FORMATO OBSERVACIONAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS
SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA**

1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA VIVENDA

1.1.

Área construida de la vivienda: _____

Área total de la vivienda: _____

Unidades sanitarias con las que cuenta la vivienda: _____

Materiales de pisos: _____

Material de paredes: _____

Puntos hidráulicos: _____

Características adicionales observados en la vivienda

**2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE
AGUA LLUVIA**

Material del techo de la vivienda

() Cerámica

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- () Hormigón
- () Vidrio
- () PVC
- () Metálica
- () Madera
- () Acero Galvanizado (Teja de Zinc)
- () Otro, ¿Cuál? _____

¿Se observa el uso de otra edificación diferente a la vivienda como sistema de recolección de agua lluvia diferente a la vivienda?

- () Sí
- () No

En caso que sí exista otra edificación diferente a la vivienda:

¿Qué edificación es?

- () Baño externo
- () Bodega
- () Establo
- () Otro, ¿Cuál? _____

¿Cuál es el área del sistema de recolección de agua lluvia? _____

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA**¿Cuál es el material del sistema de recolección de agua lluvia?**

- Cerámica
- Hormigón
- Vidrio
- PVC
- Metálica
- Madera
- Acero Galvanizado (Teja de Zinc)
- Otro, ¿Cuál? _____

¿Se observa presencia de animales sobre el techo?

- Sí
- No

¿Qué animal se puede observar sobre el techo?

- Gato/ Perro
- Aves
- Roedores
- Reptiles (Lagartija/serpiente/iguana)
- Otro, ¿Cuál? _____

¿La vivienda cuenta con chimenea?

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Sí

No

¿Se observa presencia de hollín y/o ceniza sobre el techo?

Sí

No

¿Qué tipo de estufa tiene en la vivienda?

Estufa eléctrica

Estufa de leña

Estufa de carbón

Estufa de gas

Otro, ¿Cuál? _____

Componentes que se observan alrededor de la vivienda que puedan influir en la contaminación del agua lluvia captada

Fumigación de cultivos cercanos

Quema para preparación del suelo antes de sembrar

Incendios forestales

Quema de basuras

Otro: _____

¿Cómo disponen los residuos sólidos orgánicos del hogar?

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- Servicio de recolección de basuras
- Quema
- Excavación
- Otro: _____

¿Cómo disponen los residuos sólidos reciclables del hogar?

- Servicio de recolección de basuras
- Quema
- Excavación
- Otro: _____

¿Cómo disponen los residuos sólidos no aprovechables del hogar?

- Servicio de recolección de basuras
- Quema
- Excavación
- Otro: _____

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA**¿Qué forma de captación implementan para aprovechar el agua lluvia?**

- Sistema simple (superficie de captación, tanque de almacenamiento)
- Sistema complejo (superficie de captación, canales, tuberías, tanque(s) y filtros)

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

- Sistema complejo (superficie de captación, canales, tuberías y tanque(s))
- Sistema complejo con bomba de agua
- Depósito natural
- Otro: _____

¿La vivienda cuenta con canaletas?

- Sí
- No

¿La vivienda cuenta con desviador de primer flujo?

- Sí
- No

¿La vivienda cuenta con depósito de almacenamiento específicamente para el agua lluvia captada?

- Sí
- No

¿Qué tipo de depósito de almacenamiento para agua lluvia se observa en la vivienda?

- Cisterna
- Tanque
- Baldes

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

() Garrafón

() Otro, ¿Cuál? _____

Dimensiones de los depósitos de almacenamiento de agua lluvia

Nº	ALTURA [CM]	DIÁMETRO [CM]	ANCHO [CM]	LARGO [CM]	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO [L]

Accesorios adicionales que se pueden observar en el sistema de captación de agua lluvia

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

1. _____

2. _____

3. _____

Estado del sistema de recolección.

ESTADO	CANALETAS	DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO	ACCESORIO ADICIONAL 1	ACCESORIO ADICIONAL 2	ACCESORIO ADICIONAL 3
Óptimo					
Aceptable					
Pésimo					
Material					
Descripción					

Apéndice C. Artículos seleccionados para el desarrollo de la Fase II.

En esta tabla se pueden encontrar los datos generales y más relevantes de los artículos seleccionados para desarrollo de la Fase II.

Referencia	Título	Pais	Revista	Área de estudio	Parámetros estudiados
------------	--------	------	---------	-----------------	-----------------------

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Spinks, Phillips, Robinson and Van Buynder, 2006	BusBushfires and tank rainwater quality: A cause for concern?	Australia	Journal of Water and Health	Contaminación por humo y cenizas a causa de incendios forestales de SALL	Color, pH, sólidos disueltos, Turbidez, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn, E. coli, HAP
T. Abbasi and S.A. Abbasi, 2011	Sources of Pollution in Rooftop Rainwater Harvesting Systems and Their Control	India	Critical Reviews in Environmental Science and Technology	Verificación del estado de agua lluvia recolectada por medio de un SALL	E. Coli, Shigella, Turbidez, Ca, Al, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Cd, cromo, Mg, Mn
Tengan and Akoto, 2022	Comprehensive evaluation of the possible impact of roofing materials on the quality of harvested rainwater for human consumption	Ghana	Science of the Total Environment	Identificar el índice de calidad y el riesgo del agua lluvia captada a través del escurrimiento en los techos de Zinc, aluminio, galvanizado y asbesto	Fe, Zinc, Pb, Cr, pH, conductividad, sólidos inorgánicos disueltos.
Montaño, 2016	Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura	Colombia	Luna Azul, Universidad de Caldas	Análisis físicoquímico y microbiológico al agua lluvia recolectada por un SALL.	Sólidos disueltos, olor, sabor, turbiedad, color, pH, conductividad, Dureza total, sulfatos, cloruros, nitritos, nitratos, Hierro total, aluminio.

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Dao, Tran, Dang, 2021	Assessment of rainwater harvesting and maintenance practice for better drinking water quality in rural areas	Vietnam	AQUA-Water Infrastructure, Ecosystems and Society	Investigación sobre el uso del agua lluvia y el impacto de actividades de operación y mantenimiento del SALL en áreas rurales	pH, Sólidos disueltos, Turbiedad, Conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y coliformes fecales
World Health Organization, 2022	Guidelines for drinking-water quality	Estados Unidos	Fourth edition incorporating the first and second addenda	Protección de la salud pública asociada a la calidad del agua potable.	pH, turbiedad, oxígeno disuelto, color, conductividad, E. coli, bacterias, virus, cloruro, dureza, hierro, potasio, sulfato, sodio.
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	Decreto 1594 de 1984	Colombia	Decreto		Amoníaco, Arsénico, Bario, Cadmio, Cobre, Cromo, Compuestos fenólicos Fenol, Mercurio, Níquel, Plata
Ministerio de ambiente y desarrollo	Resolución 1256 de 2021	Colombia	Resolucion		Conductividad, Cloruros, Sodio, Antimonio, Cloro Total Residual, Nitratos, Fluoruros, Sulfatos, Mercurio, Fenoles Totales, Hidrocarburos Totales, Cianuro Libre

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

Ministerio de la protección social	Resolución 2115 de 2007	Colombia	Resolucion	Análisis microbiológico, Turbiedad, Color aparente, Ph, Coliformes totales, E. coli, Olor y sabor, Antimonio, Arsénico
Estupiñán, Zapata, 2010	Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá	Colombia	Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá	Utilizando el agua lluvia como alternativa de suministro para diversos usos, generando un nuevo concepto de campus sostenible Fe, Pb, Cd, Hg, pH, DBO5, Sólidos Suspendidos Totales, Turbidez, Nitrógeno Amoniacal
Mwinkom Tengan, Osei Akoto, 2022	Comprehensive evaluation of the possible impact of roofing materials on the quality of harvested rainwater for human consumption	Ghana	Science of the Total Environment	Concentración de metales pesados, los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en las escorrentías de los techos y estimar el índice de calidad del agua y el riesgo para la salud que estos metales representan para los Turbidez, TDS, CE, pH, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, E. coli, Fe, Cd, Cr, Pb, Zn

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

				consumidores	
Palawat, Root, Cruz, Foley, Carella, Beck, Ramírez-Andreotta, 2023	Dissolved arsenic and lead concentrations in rooftop harvested rainwater: Community generated dataset	Estados Unidos	Data in Brief	Muestras de deposición húmeda de la Red de Tendencias Nacionales de Arizona	As, Pb
Jordan, Seaman, Riley and Yoklic, 2008	Effective removal of microbial contamination from harvested rainwater using a simple point of use filtration and UV-disinfection device	Estados Unidos	Urban Water Journal	Evaluación de la calidad del agua obtenida de cisternas de propiedad privada muestreadas en Tucson, Arizona	Temperatura, pH, Turbidez, TDS, TOC, Dureza, Dirigir, Calcio, Magnesio, Cobre, Arsénico, Hierro, Zinc, Cloruro, Nitrato, Sulfato, Coliformes Totales, E. coli, Enterococos
Clary, Pitt, Steet, 2014	Pathogens in Urban Stormwater Systems	Estados Unidos	Informe	Desarrollar e implementar planes para abordar la elevada cantidad de bacterias indicadoras fecales en los Sistemas de Alcantarilla Pluvial	Enterococos, E. coli, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Turbidez, Ph, Salinidad

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

				Municipal Separado	
García, Guanoqui za a, Guzmán, Cabello, Valdiviezo , 2023	Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas	Palestina, Nigeria, Bolivia, Australia, Italia, Nepal, Vietnam, India	Results in Engineering	Se identificaro n los principales parámetros de calidad del agua de lluvia, evaluando el cumplimien to de los parámetros con los valores estándar de la OMS.	pH, Turbidez, E. coli, Pb, Hierro Total, Nitratos, As, Zn, Cu, Cd, Cr, Cl, Al, Ni, Color, Coliformes Totales, Hg, Fluoruros
Angelova , Alitchkov and Radovano v, 2024	Technical and economic impact of water reuse as an integrated water resource management measure in rural water supply systems	Bulgaria	Water Supply	La huella de la reutilizació n en pequeños sistemas de abastecimie nto de agua en áreas rurales	Cromo, Nitratos
Prieto, Oviedo, Gómez, Domínguez, 2024	A multicriteria decision analysis for selecting rainwater harvesting systems in rural areas: a	Colombia	Environme ntal Science and Pollution Research	Herramient a multicriteri o para la selección de sistemas de abastecimie nto de agua potable y	Ph, Turbidez, Hierro Total, Conductividad Eléctrica, Nitratos, Zinc Total, Cloro Residual, Color Aparente,

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

tool for
developing
countries

saneamient
o en zonas
rurales

Coliformes
Totales, E. coli

Apéndice D. Artículos seleccionados para el desarrollo de la Fase III.

En esta tabla se pueden encontrar los datos generales y más relevantes de los artículos seleccionados para desarrollo de la Fase III.

Referencia	País	Tipo de tratamiento	Parámetros estudiados	Uso
Teixeira and Ghisi, 2019	Brasil	Filtro de arena/ Filtro de membrana	Turbiedad, amoníaco, nitrato	usos no potables (riego de jardines, lavado de pisos, bajada de inodoros)
Pineda, Guaya, Rivera, Garcia and Osorio, 2021	Ecuador	Biofiltración en tres etapas: 1. Grava triturada 2. esferas cerámicas 3. arena de sílice o zeolita natural + desinfección UV	Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , E. coli, TC, FC	Comunidades rurales sin acceso a agua potable.
Shiguang, Hongwei and Quiuli, 2021	China	microfiltración impulsada con gravedad (Membrana plana cerámica)	Turbidez, pH, TDS, amoníaco, E. coli,	Áreas urbanas
Sajeeve, Alim and Rahman, 2022	Australia	cloración, filtro cerámico, filtro de carbón activado, desinfección UV, desinfección solar	E. Coli, Fe, Al Ca, Na, Mg,	Zonas rurales, agua potable
Liu, Fu, Wei, Liu, Wu, Wu and Huo, 2018	China	Filtración violenta de arena	Bacterias, metales pesados, amoníaco,	Agua potable

ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA

			nitrógeno, material orgánico y turbidez	
Arboleda,2016	Colombia	purificador de agua (Lifestraw) y hervir el agua	Turbiedad, color, pH, Alcalinidad, Dureza, sulfato, cloruro, nitritos, Hierro, Aluminio, Cloro, Coliformes Total, E. Coli	Consumo humano
Hernández and Chaparro, 2020	Colombia	Filtro de carbón natural y desinfección solar	DB05, DQO, Color, pH, turbiedad, Solidos totales, Alcalinidad, Acidez, Dureza, cloruro, fosfato, sulfato, E. coli, conductividad	Consumo humano
Suarez, Mesa, Bravo and Prieto, 2015	Colombia	Filtro de cascarilla de arroz	pH, temperatura, turbidez, SDT, SST, DBO, DQO y nitratos	No potable
Gómez And Lara, 2019	Colombia	Filtro lento de arena, cloración e irradiación solar, filtro de carbón activado, filtración de membrana	pH, turbiedad, Fe, conductividad eléctrica, nitratos, coliformes totales, coliformes fecales	Lavado de inodoros, riego de jardín
Salazar and Naranjo, 2021	Colombia	Desviador de primer flujo, filtro lento de arena, filtración de membrana, desinfección por cloración, irradiación solar	pH, turbidez, plomo, CDO, materia orgánica, E. Coli	nivel residencial rural

Apéndice E. Resultados del análisis en laboratorio del agua lluvia captada en la vivienda preseleccionada

Es este cuadro se puede apreciar los resultados del análisis de las muestras de agua tomadas durante cinco días

Parámetro	RESULTADOS					
	Unidades	8/14/2023	8/15/2023	8/16/2023	8/17/2023	8/18/2023
Arsénico	mg As/L	<0,00250	<0,00250	<0,0025	<0,0025	<0,0025
Cadmio	mg Cd/L	<0,0100	<0,0100	<0,01	<0,01	<0,01
Color	UPC	<4,28	7.68	7.68	7.68	6.15
Conductividad eléctrica	microsiemens/cm	22.6	23.8	22.7	23.4	22.6
Cromo	mg Cr/L	<0,100	<0,100	<0,1	<0,1	<0,1
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	13.4	12.8	12.4	13.8	14.2
E. Coli	UFC/100cm ³	81	120	396	0	0
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Hierro total	mg Fe/L	1.26	0.74	<0,10	0.39	<0,10
Níquel	mg Ni/L	<0,200	<0,200	<0,2	<0,2	<0,2
Nitrato	mg NO ₃ -N/L	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35
pH	Unidades de pH	8.16	7.15	6.33	6.37	6.56
Turbidez	UNT	2.88	2.57	1.9	2.29	1.87
Zinc	mg Zn/L	1.19	1.31	1.46	1.55	1.3