

Análisis de la calidad del agua en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. Caso de estudio: vereda Garbanzal (Los Santos Santander).

José Andrés Fernández Orduz y Laura Milena León Ruiz

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil

Directora

Isabel Cristina Domínguez Rivera

PhD in Agriculture, Food and Rural Development

Codirectora

Diana Lucia Prieto Jiménez

Ingeniera Civil

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas  
Programa de Ingeniería Civil  
Bucaramanga

2022

**Dedicatoria**

*Dedico con todo mi corazón la tesis a mi madre Adela Ruiz Rivera y a mi familia Joya León, pues sin ellos no lo habría logrado, gracias por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se puede conseguir.*

*Sus bendiciones a diario me protegen a lo largo de mi vida y me llevan por el camino del bien.*

*Por eso les dedico mi trabajo en ofrenda por su paciencia y amor.*

***Laura Milena León Ruiz***

**Dedicatoria**

*Esta tesis está dedicada a:*

*A mis padres Ernesto Fernández y María Orduz quienes con su amor y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.*

*A mi hermana Ana Ximena Fernández Orduz por su cariño, paciencia y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, ¡Gracias!*

***José Andrés Fernández Orduz***

### **Agradecimientos**

Al grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental GPH por la colaboración prestada durante el proyecto. A la profesora Isabel Domínguez y a la ingeniera Diana Lucia Prieto por su buena disposición y su guía en el desarrollo del proyecto y a todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron a la realización de este proyecto.

Gracias totales...

# ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	12
1. Objetivos .....	14
1.1 Objetivo general .....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
2. Marco teórico .....	15
2.1 Componentes de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias .....	15
3. Metodología .....	17
3.1 Área de estudio.....	17
3.2 Fase I: Caracterización de los sistemas y las prácticas de aprovechamiento de aguas lluvias	19
3.2.1 Reconocimiento de la zona de estudio .....	19
3.2.2 Caracterización de aspectos relacionados con el aprovechamiento de aguas lluvias	19
3.2.3 Solicitud de consentimiento y pruebas piloto de calidad del agua.....	20
3.3 Fase II: Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos básicos de la calidad del agua lluvia .....	22
3.3.1 Muestreo y análisis de la calidad de agua .....	22
3.3.2 Análisis de resultados de calidad de agua .....	24
3.4 Fase III: Propuesta de estrategias de mejoramiento de la calidad del agua lluvia recolectada	25
4. Resultados y discusión .....	26

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

4.1	Caracterización de los sistemas y las prácticas de aprovechamiento de aguas lluvias	26
4.1.1	Tipología por agrupación de materiales .....	26
4.1.2	Prácticas de limpieza y mantenimiento en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y tratamientos para posterior consumo .....	30
4.2	Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos básicos de la calidad del agua lluvia	37
4.2.1	Parámetros fisicoquímicos .....	37
4.2.2	Parámetros microbiológicos .....	41
4.3	Propuesta de estrategias de mejoramiento de la calidad del agua lluvia recolectada	43
4.3.1	Relación entre características de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, prácticas y calidad de agua.....	43
4.3.1.1	Material de los componentes del SALL vs E. coli.....	43
4.3.1.2	Prácticas de limpieza y mantenimiento vs E. coli.....	45
4.3.2	Recomendaciones para mejorar la calidad de agua en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvias (SALL) de la vereda Garbanzal. ....	48
4.3.2.1	Componentes de los SALL .....	48
4.3.2.2	Prácticas de limpieza y mantenimiento de los SALL .....	54
5.	Conclusiones .....	55
6.	Recomendaciones.....	56
	Referencias Bibliográficas .....	57
	Apéndices .....	64

**Lista de Tablas**

	Pág.
Tabla 1 <i>Tipologías más frecuentes de SALL en las viviendas en la zona de estudio</i> .....	26
Tabla 2 <i>Presencia de otros componentes en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias de Garbanzal</i> .....	29
Tabla 3 <i>Modalidades de limpieza</i> .....	33
Tabla 4 <i>Estados del tanque</i> .....	35
Tabla 5 <i>Componentes principales de los sistemas de captación existentes</i> . ....	53

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia. ....	16
Figura 2 Localización de la vereda Garbanzal .....	18
Figura 3 Resultado de ensayo piloto de filtración por membrana.....	21
Figura 4 Viviendas muestreadas .....	23
Figura 5 Método de filtración por membrana .....	24
Figura 6 Sistema de Aprovechamiento de Aguas Lluvias perteneciente a la tipología 3 .....	28
Figura 7 Diagrama de caja de la frecuencia de mantenimiento a los componentes de captación..	30
Figura 8 Diagrama de caja de la frecuencia de mantenimiento de canaletas .....	31
Figura 9 Diagrama de caja de la frecuencia de mantenimiento a los componentes de almacenamiento.....	32
Figura 10 Frecuencia de las modalidades de limpieza en cada uno de los componentes de los SALL .....	34
Figura 11 Tratamientos empleados en los SALL.....	36
Figura 12 Comportamiento de la conductividad en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia .....	37
Figura 13 Comportamiento del pH en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.....	39
Figura 14 Comportamiento de la turbiedad en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia..	40
Figura 15 Comportamiento de E. coli en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias .....	42
Figura 16 Comportamiento de las UFC de E. coli frente a los materiales de las cubiertas .....	44

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Figura 17 Comportamiento de las UFC de E. coli frente a los materiales de los tanques .....	45
Figura 18 Comportamiento de las UFC de E. coli frente a modalidad de limpieza del tanque. ....	46
Figura 19 Comportamiento de las UFC de E. coli frente al Estado del tanque “Bueno” .....	47
Figura 20 Sistema de trampa inicial de tanque para almacenar el agua “sucia” para el riego de huertas .....	50
Figura 21 Filtro de arena .....	51
Figura 22 Sistema de prefiltrado de malla para eliminar materia vegetal, insectos y sedimentos.	52

**Lista de Apéndices**

	<b>pág.</b>
Apéndice A. Formato de encuesta.....	64
Apéndice B. Evidencia fotográfica de tipologías.....	71
Apéndice C. Aspectos físicos de los SALL y caracterización de operación y mantenimiento.....	74

## Resumen

**Título:** Análisis de la calidad del agua en sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. Caso de estudio: vereda Garbanzal (Los Santos Santander).\*

**Autor:** Laura Milena León Ruiz y José Andrés Fernández Orduz \*\*

**Palabras Clave:** Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, calidad del agua lluvia, agua para consumo humano, características fisicoquímicas, características microbiológicas.

**Descripción:** El agua es actualmente considerada el recurso natural más crítico del planeta, debido a su creciente escasez y el limitado acceso a este, especialmente con estándares adecuados de calidad. Los Santos (Santander) presenta escasez de agua potable, particularmente en la zona rural. Por lo tanto, en la vereda el Garbanzal, los habitantes han adoptado sistemas de aprovechamiento de agua lluvia (SALL). Esta investigación propone estrategias para mejorar la calidad de agua para consumo humano en la vereda Garbanzal del municipio de los Santos, a partir de la caracterización de los SALL, las prácticas de manejo y el análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas básicas del agua lluvia recolectada. Para esto, se realizaron encuestas de hogares en 29 viviendas y muestreos de calidad de agua (pH, turbidez, y Escherichia coli) en 14 viviendas. Los resultados obtenidos de la caracterización se vincularon con los resultados del análisis de calidad mediante herramientas gráficas, y estadística básica junto con revisión de literatura para generar recomendaciones para el mejoramiento de la calidad de agua en los sistemas. Se identificó que las principales deficiencias están asociadas a la poca implementación de las buenas prácticas de limpieza y mantenimiento. Así mismo, la E. coli y la turbiedad estuvieron por encima de los valores estipulados por la normatividad de agua para consumo humano en la gran mayoría de las viviendas. En cuanto a estrategias para mejorar la calidad del agua lluvia, se recomienda tener un mantenimiento adecuado y buena limpieza, tanto al tanque como a la cubierta, además de implementar componentes como bajantes, mallas en las canaletas, desviador de primeras aguas y procesos de tratamiento. Esta información es importante para que la comunidad conozca la calidad del agua que consume, estrategias que pueden mejorarla y actúe para generar cambios orientados a reducir los riesgos existentes.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería civil. Programa académico. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera. Ingeniera Sanitaria, MSc, PhD. Codirector: Diana Lucia Prieto. Ingeniera civil.

**Abstract**

**Title:** Analysis of water quality in rainwater harvesting systems. Case study: Garbanzal village (Los Santos Santander).\*

**Author(s):** Laura Milena León Ruiz y José Andrés Fernández Orduz <sup>1</sup>

**Key Words:** Rainwater harvesting systems, rainwater quality, water for human consumption, physicochemical characteristics, microbiological characteristics.

**Description:** Water is currently considered the most critical natural resource on the planet, due to its growing scarcity and limited access, especially with adequate quality standards. Los Santos (Santander) has a shortage of drinking water, particularly in rural areas. Therefore, in the village of El Garbanzal, the inhabitants have adopted rainwater harvesting systems (RWH). This research proposes strategies to improve the quality of water for human consumption in the village of Garbanzal in the municipality of Los Santos, based on the characterization of RWH, management practices and the analysis of basic physicochemical and microbiological characteristics of collected rainwater. For this, household surveys were carried out in 29 dwellings and water quality sampling (pH, turbidity, and Escherichia coli) in 14 dwellings. The results obtained from the characterization were linked to the results of the quality analysis using graphical tools, and basic statistics together with a literature review to generate recommendations for the improvement of water quality in the systems. It was identified that the main deficiencies were associated with the poor implementation of good cleaning and maintenance practices. Likewise, E. coli and turbidity were above the values stipulated by the regulations for water for human consumption in the vast majority of homes. Regarding strategies to improve the quality of rainwater, it is recommended to have adequate maintenance and good cleaning, both to the tank and to the roof, in addition to implementing components such as downspouts, mesh in the gutters, first flush diverter and treatment processes. This information is important for the community to know their water quality, strategies that can improve it and actions to generate changes aimed at reducing existent risks.

---

\* Degree Work

<sup>1</sup>Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Academic program. Director: Isabel Cristina Dominguez Rivera. Sanitary Engineer, MSc, PhD. Co-director: Diana Lucia Prieto. Civil Engineering.

## Introducción

La recolección de agua lluvia es una estrategia desarrollada milenios atrás, que consiste en captar el agua lluvia y almacenar el mayor volumen para posteriormente ser distribuida para diferentes necesidades básicas de uso potable o no potable (Campisano & Modica, 2014). Esta estrategia se concibió como resultado de necesidades, recursos disponibles, condiciones ambientales y prácticas culturales (Ballén et al., 2006). En la actualidad, se siguen presentando distintas dificultades sociales, económicas, ambientales, y una serie de conflictos que conllevan a la escasez del recurso hídrico (Estupiñán & Zapata, 2010); por ello, los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias (SALL) siguen siendo una respuesta efectiva para apaciguar dicha escasez. Estos sistemas son implementados principalmente en sectores donde los factores ambientales establecen insuficiencias de suministro, convirtiéndose en alternativas para que los individuos puedan suplir sus necesidades de agua para diferentes propósitos (Opare, 2012).

son más comunes a nivel mundial. En países como Australia (Dardati, 2021), Japón (Amin & Han, n.d.), Corea (Kellagher et al., 2007), Nigeria (Adeniyi & Olabanji, 2005), Nueva Zelanda (Mitchell et al., 2008), Brasil (Ballén et al., 2006) y China (Duan et al., 2008), se han realizado balances del promedio de agua captada en superficies, tomando en cuenta la lluvia promedio en cada zona para evaluar la factibilidad de introducir sistemas de captación para el ahorro del agua; no obstante, la mayor parte de los estudios de captación de agua lluvia se encuentran enfocados en el ahorro del agua, sin tomar en cuenta su calidad (Rojas et al., 2012), pues a menudo se considera que el agua lluvia no presenta contaminación significativa. Sin embargo, algunos investigadores (Cochran & Ray, 2009) han observado una deficiente calidad microbiológica del agua asociada a

## ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

las malas condiciones de higiene en el que se encuentran los sistemas, a las malas prácticas de recolección y a la falta de implementación de algunos mecanismos como: filtros y desarenadores, permitiendo el paso de materiales particulados. El análisis de la calidad del agua lluvia es importante porque ayuda a evitar posibles problemas de salud en las comunidades, dando mayor seguridad a los usuarios de su consumo y utilización. Además, estos análisis de calidad generan seguridad en otras modalidades de uso, pues el agua lluvia puede ser utilizada dentro de sistemas de riego de diversos productos agrícolas (FAO, 2013).

La Mesa de los Santos en Santander (Colombia) es una zona afectada por la escasez del recurso hídrico debido a causas como limitantes geográficas de las cuencas hidrográficas abastecedoras y deficiencias técnicas de infraestructura en la red de distribución centralizada que dificultan el acceso al recurso hídrico por parte de la población (Duarte Flórez, 2019). Por lo tanto, en algunas zonas como la vereda Garbanzal, hay un uso generalizado de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias diseñados, construidos y operados de manera empírica. En este contexto, el objetivo general de esta esta investigación es proponer un plan de mejoramiento de la calidad de agua lluvia que recolectan los habitantes de la zona en la vereda Garbanzal del municipio de los Santos (Santander), vinculando los distintos tipos componentes de los sistemas y las prácticas de limpieza con los resultados obtenidos de distintos ensayos de laboratorio que se hicieron en algunos hogares, para establecer una serie de alternativas y recomendaciones que les permitan obtener agua en mejores condiciones a las encontradas, y sea aprovechada de mejor manera en usos doméstico y especialmente en consumo humano. La importancia de esta investigación es generar conciencia en los habitantes de la vereda de la importancia del cuidado y limpieza de los componentes, los materiales de estos y la implementación de diferentes dispositivos que contribuyen a un mejor aprovechamiento del recurso y su consumo seguro.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Formular un plan de manejo de la calidad del agua para consumo humano en un sistema de aprovechamiento de agua lluvias para las viviendas de la vereda Garbanzal en la Mesa de los Santos (Santander).

### **1.2 Objetivos específicos**

Caracterizar los sistemas de aprovechamiento y las prácticas utilizadas logrando tipificar los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en la zona de estudio.

Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas básicas de la calidad de agua lluvia recolectada.

Proponer estrategias de mejora de la calidad del agua lluvia, considerando los diferentes componentes del sistema.

## 2. Marco teórico

En esta sección se da a conocer qué es un sistema de aprovechamiento de agua lluvias, sus componentes y aspectos relacionados con las principales características fisicoquímicas y microbiológicas que recomiendan las instituciones para hacer seguimiento a la calidad del agua lluvia.

### 2.1 Componentes de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias

Un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias (SALL) es un conjunto de componentes tecnológicos que captan, transportan y almacenan el agua proveniente de las precipitaciones para un posterior uso, conforme a la necesidad de los usuarios (Abdulla & Al-Shareef, 2009). Los componentes de un SALL de cubierta son:

**Captación:** Cubierta de la edificación, la cual debe poseer el material adecuado y la pendiente óptima para facilitar el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección (Chino, Velaverde & Espinoza, 2016).

**Recolección:** Conjunto de canales y bajantes con materiales ligeros, resistentes al agua y de fácil empalme, con desnivel que permita el transporte a flujo libre (UNATSABAR, 2004).

**Almacenamiento:** Obra destinada a almacenar el volumen del agua lluvia necesaria para el consumo. Esta obra debe tener algunas especificaciones como: i) impermeable para evitar la pérdida del agua por goteo o transpiración; ii) dotado de cubierta para impedir el ingreso del polvo, insectos y luz solar; y iii) con escotilla para permitir el ingreso de una persona y poder realizar el

## ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

mantenimiento y las reparaciones necesarias, si la magnitud del sistema lo amerita (UNATSABAR, 2004).

**Distribución:** Una red de distribución es un sistema de elementos como tuberías, bombas o válvulas que se conectan entre sí para transportar determinadas cantidades de fluido donde su principal característica es el funcionamiento del conjunto (Garzón et al., 2018). La red de distribución puede ser implementado por gravedad o por bombeo, dependiendo de las necesidades. Algunos sistemas no incluyen distribución pues esto puede acarrear mayores costos, especialmente en poblaciones de bajos ingresos.

### Figura 1

*Componentes de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia.*



*Nota.* El grafico representa los componentes principales de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias. Tomado de *Rainwater system proposal as an alternative to save drinking water* (p.28), por Palacio Castañeda, 2010.

Establecer los parámetros de calidad del agua es necesario para proveer el recurso hídrico en condiciones aptas, reconociendo el grado de importancia del uso que se le vaya asignar, es decir, si el empleo del recurso es de vital importancia, este debe poseer un alto grado de calidad del agua (Quiñones, 2016). Distintas instituciones como Organización Mundial de la Salud (OMS), Agencia

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) (USEPA, 2004), y Ministerio de Salud de Colombia 1984 (Decreto No 1594) han propuesto estándares de calidad mínima del agua lluvia recolectada para diferentes usos teniendo en cuenta parámetros microbiológicos y fisicoquímicos (Torres et al., 2011). Las características fisicoquímicas del agua lluvia que se analizan más comúnmente son la turbiedad, pH, temperatura, color, sabor, olor, cloruros, hierro total y sulfatos (Ramírez & Ospina, 2014). Sobre las características microbiológicas, (Guerrera, 2019), toma como parámetro principal la concentración del Escherichia coli, el cual es un grupo de microorganismos indicadores de contaminación de origen fecal.

### **3. Metodología**

#### **3.1 Área de estudio**

La vereda Garbanzal se encuentra ubicada en el nororiente del municipio de la Mesa de los Santos del departamento de Santander (Figura 2). Esta vereda hace parte de la zona rural del municipio, localizado a una altitud de 1460 msnm.

La temperatura anual varía de 19°C a 26°C y rara vez baja 17 °C o sube a más de 28 °C. La precipitación presenta un comportamiento bimodal con dos periodos de lluvia iniciando en marzo hasta mediados de mayo, regresando nuevamente en octubre hasta noviembre y dos periodos secos de diciembre a febrero y de junio a septiembre (Palonegro, 2018).

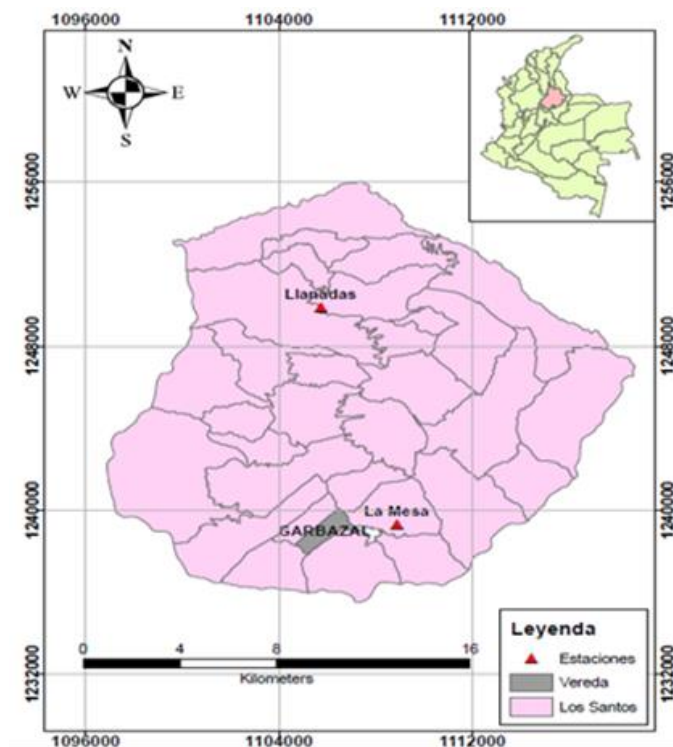
## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Investigaciones preliminares realizadas por el grupo de investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) identificaron la implementación de SALL por parte de los habitantes de la zona de estudio, debido a la escasez del recurso hídrico para sus actividades.

Vinculando los sistemas existentes, el conocimiento base por parte de los habitantes y la necesidad del recurso, el foco de nuestra investigación se orientó al análisis de calidad para consumo humano. El proyecto se desarrolló en tres fases que se describen a continuación.

### Figura 2

#### *Localización de la vereda Garbanzal*



*Nota.* El gráfico representa la ubicación de la vereda Garbanzal dentro del municipio de los santos Santander. Tomado de *Propuesta de herramienta de selección de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para asentamientos rurales andinos, considerando criterios técnicos, sociales y económicos* (p.22), por Prieto Jimenez,2021.

### **3.2 Fase I: Caracterización de los sistemas y las prácticas de aprovechamiento de aguas lluvias**

#### ***3.2.1 Reconocimiento de la zona de estudio***

Se realizó una primera visita el 29 de junio del 2021 con el equipo del proyecto: “Propuesta de herramienta de selección de sistemas de aprovechamiento de agua lluvias para asentamientos rurales Andinos, considerando criterios técnicos, sociales y económicos”, llevado a cabo por la Ingeniera Civil Diana Lucia Prieto (Proceso), el cual a su vez se realiza en el marco del proyecto de investigación financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones y Extensión de la UIS: “Estudio integral del agua de la Mesa de Los Santos”. En esta salida se contextualizó el proyecto con cada equipo de trabajo, se entró en contacto con algunos pobladores y se realizó un recorrido por la zona para conocer la vereda, la ubicación de las viviendas y los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias que poseen los habitantes y así obtener un mejor conocimiento de la zona de estudio y de los sistemas existentes, además de plasmar un recorrido para poder recoger la información necesaria para la investigación del proyecto.

#### ***3.2.2 Caracterización de aspectos relacionados con el aprovechamiento de aguas lluvias***

Se realizó una encuesta de hogares como parte del proyecto de grado de pregrado: “Análisis de la aceptación de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en la zona rural de los Santos, Santander” (Briceño & Chaparro, 2021). En este trabajo se diseñó y aplicó una encuesta para obtener información sobre las particularidades físicas de los SALL implementados en Garbanzal (ver Anexo A) como, por ejemplo, componentes básicos (cubierta, canaletas y tanque), materiales, elementos necesarios (bajantes y mallas en canaletas y bajantes) y complementarios (Impermeabilizantes en cubiertas y mallas en los tanques). De igual manera, se identificaron

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

aspectos cualitativos y cuantitativos relacionados con el tratamiento del agua lluvia y el mantenimiento que los usuarios realizan a los SALL. Se realizaron 29 encuestas en 29 hogares de los 38 reportados por el tercer censo agropecuario del DANE (DANE, 2014). No se realizó la encuesta en la totalidad de las viviendas de la vereda debido a la complejidad de encontrar a los habitantes en sus casas los días en que se realizó la encuesta.

Con los resultados de la encuesta se construyeron tipologías, considerando los distintos materiales de los componentes de recolección (cubiertas), transporte (canaletas) y almacenamiento (tanques). Se identificaron 7 tipologías en las que se agruparon los SALL existentes. Además, mediante tablas y graficas se sintetizó el número de viviendas con presencia de elementos necesarios y complementarios, las frecuencias de mantenimiento de cada uno de los componentes, las modalidades de limpieza que los usuarios ejercían a cada componente y las modalidades de tratamiento del agua recolectada.

### ***3.2.3 Solicitud de consentimiento y pruebas piloto de calidad del agua***

En una salida de campo realizada el 25 de noviembre del 2021, se llevaron a cabo las siguientes actividades: i) recorrido por la zona de estudio para presentación a la comunidad del equipo de trabajo del proyecto; ii) entrega y socialización de folletos realizados con la información obtenida de las encuestas efectuadas anteriormente; y iii) consulta realizada a los propietarios de las viviendas sobre el interés de analizar la calidad del agua recolectada por sus sistemas para obtener consentimiento para toma de muestras. De esta manera, se identificaron las viviendas que aceptaron la toma de muestras y se recogió información relacionada con la época lluviosa inmediatamente anterior. En cuatro de las viviendas que consintieron la toma de muestras, se tomaron el mismo día muestras de 0.5 L en botellas estériles para el análisis del E. coli como piloto

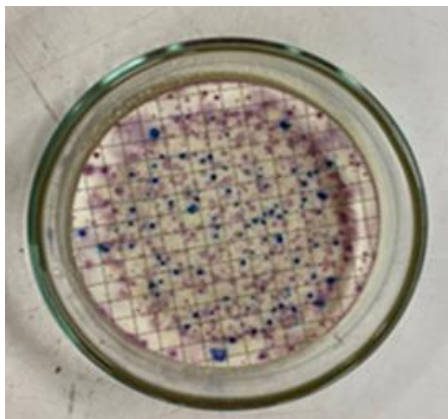
## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

de prueba para identificar si se requerían diluciones en las muestras y así planificar el muestreo definitivo.

Una vez culminada la salida de campo, el equipo se dirigió al laboratorio de investigación del grupo GPH de la UIS, donde se analizó el parámetro microbiológico E. Coli, mediante el método de filtración por membrana (WHO & Unicef, 2012). Las muestras fueron dejadas en incubadora a una temperatura de 36° C, durante 24 horas, luego de lo cual se realizó el recuento directo de E. coli a partir de las colonias cultivadas en papeles de filtro incubados en medios nutritivos. Los resultados arrojados de E. coli de las muestras contenían cantidades de colonias excesivas (Figura 3) y no se podía determinar adecuadamente el conteo del E. coli en las muestras, debido a esto se determinó la necesidad de realizar diluciones con suero fisiológico a las muestras próximas a recolectar para el análisis de la calidad del agua lluvia de los sistemas existentes en la vereda.

### **Figura 3**

*Resultado de ensayo piloto de filtración por membrana*



*Nota.* El grafico representa el resultado del ensayo de la prueba piloto de una de las muestras tomadas en campo para verificar si era necesario realizar disoluciones en las muestras.

### **3.3 Fase II: Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos básicos de la calidad del agua lluvia**

#### **3.3.1 Muestreo y análisis de la calidad de agua**

Se establecieron los puntos propicios para la toma de muestras de agua lluvia teniendo en cuenta: que efectivamente el 100% del recurso recolectado se empleara para uso doméstico, rutas para desplazamiento en la zona y consentimiento para la toma de muestras. Los parámetros seleccionados para realizar seguimiento a la calidad del agua fueron el pH, Turbiedad y E. Coli, los cuales son indicadores básicos recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la evaluación rápida de la calidad del agua potable (WHO & Unicef, 2012). También se analizó la conductividad eléctrica por la posibilidad de realizar este análisis con el mismo equipo que mide pH. El pH, conductividad eléctrica y Turbiedad se determinaron in situ. El pH y la conductividad se midieron con un medidor multiparámetro portátil de la serie Sevens Duo Pro, de la marca Mettler Toledo. La turbiedad se midió con un Turbidímetro portátil modelo 2100Q de la marca Hach. Las muestras para el análisis de E. Coli, fueron recogidas en botellas estériles que se transportaron en cavas plásticas con gel refrigerante para garantizar un entorno limpio, fresco y oscuro para protegerlas del deterioro y la contaminación. El análisis de E. Coli se ejecutó el mismo día de la recolección de la muestra, garantizando que el tiempo entre la toma de la muestra y el análisis fuera entre 6 a 18 horas aproximadamente, siguiendo las recomendaciones de la (WHO & Unicef, 2012).

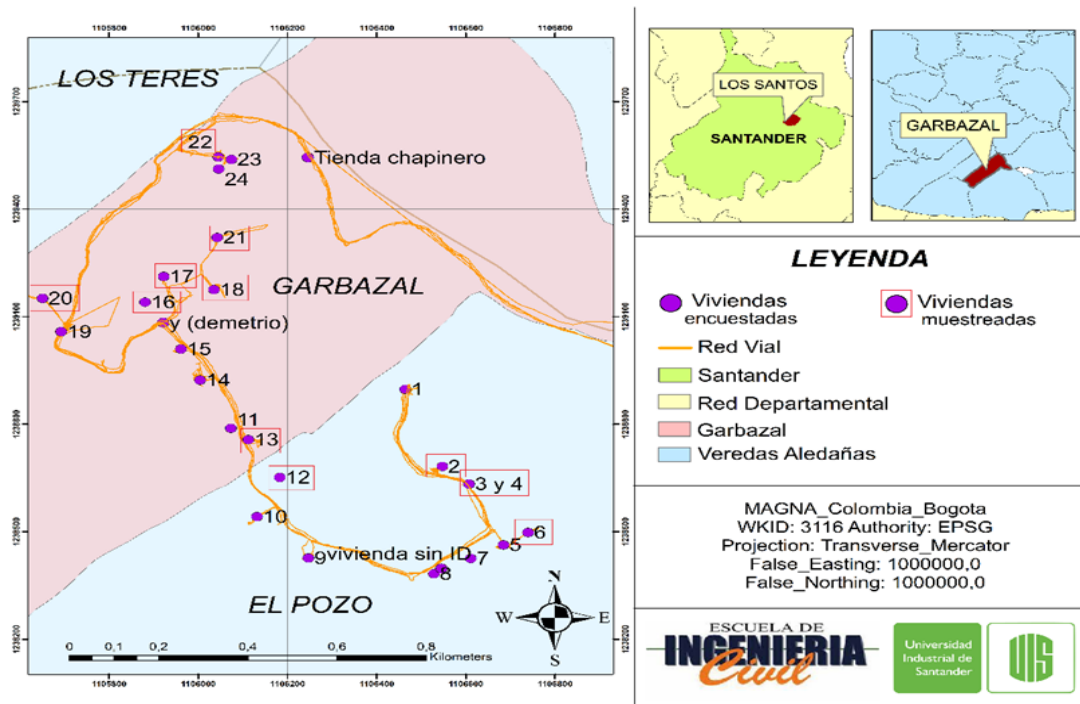
La toma de muestras fue ejecutada vivienda por vivienda, iniciando desde la parte más alta de la vereda hasta la parte más baja, como se observa en la Figura 4. El muestreo se realizó en 14 de las 29 viviendas encuestadas, de un total de 38 viviendas que habitan la zona según el

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Departamento de Administración Nacional de Estadística (2014). Esta decisión se tomó considerando la disponibilidad de tiempo con la que se contaba para el desplazamiento desde Bucaramanga hasta la vereda, la toma de parámetros in situ, muestras, transporte hacia Bucaramanga y realización de ensayos. Las mediciones in situ y las muestras se tomaron directamente de los tanques de almacenamiento de los SALL.

**Figura 4**

*Viviendas muestreadas*



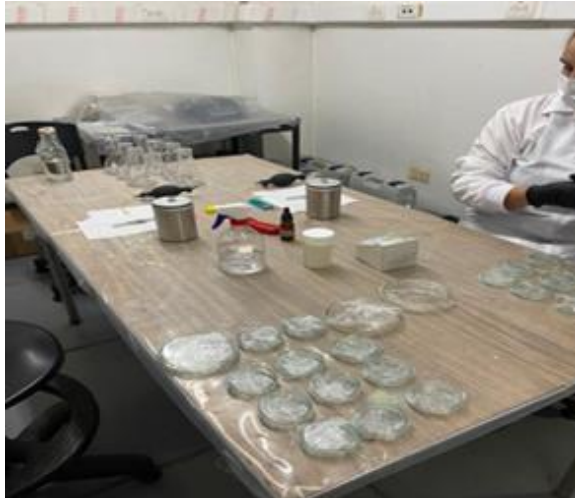
*Nota.* El grafico representa el recorrido realizado para la recolección de muestras en la vereda Garbanzal.

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de investigación del grupo GPH de la UIS, donde se analizó el parámetro microbiológico E. Coli, mediante el método de filtración por membrana (WHO & Unicef, 2012), como se observa en la Figura 5.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Figura 5

#### *Método de filtración por membrana*



*Nota.* El grafico representa el análisis del parámetro microbiológico E. coli en el laboratorio de investigación del grupo GPH por el método de filtración por membrana de las muestras recogidas en campo.

Para cada muestra de 0.5 L se realizaron tres submuestras, las cuales incluyeron submuestras diluidas y no diluidas, cada una de estas con un volumen total de 0.1 L. Se realizó como mínimo un ensayo diluido con suero fisiológico por cada muestra.

Pasadas las 24 horas se tomaron fotos de las colonias replegadas en los papeles del filtro para el conteo individual por parte de cada uno de los integrantes del equipo de trabajo. Posteriormente se ingresaron los datos obtenidos de cada integrante (3) a una hoja de cálculo, consiguiendo de cada muestra nueve mediciones, para finalmente sacar el valor promedio de cada vivienda con los valores más coherentes.

### **3.3.2 Análisis de resultados de calidad de agua**

El análisis de los resultados de cada uno de los parámetros se realizó mediante la elaboración de diagramas de caja. Adicionalmente, los resultados de los parámetros analizados

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

(turbidez, pH, conductividad y E. coli) se compararon con los estándares de calidad de agua de la Resolución 2115 del 2007, la cual tiene como objeto señalar características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (Ministerio del Medio Ambiente, 2007). Esto permitió dar respuesta a la pregunta ¿Las condiciones del recurso almacenado son aceptables para consumo humano? Para de esta manera identificar potenciales problemas de calidad de agua en los SALL.

### **3.4 Fase III: Propuesta de estrategias de mejoramiento de la calidad del agua lluvia recolectada**

Debido a la alta valoración de riesgo que se le otorga a la E. coli en la Resolución 2115 del 2007, se seleccionó este parámetro para tratar de relacionar la calidad del agua con los componentes del sistema y las prácticas de los usuarios. Con la herramienta EXCEL se esquematizó gráficamente cada una de las características de los sistemas (materiales y componentes) y las prácticas y mantenimiento de los SALL (modalidades de limpieza) vs la cantidad de microorganismos de E. coli que contenía cada sistema. Esto se hizo mediante análisis gráficos básicos, pues el número bajo de muestras no permitió desarrollar un análisis estadístico más avanzado. En la mayoría de los casos se usaron diagramas de cajas y bigotes para representar la información y cuando no fue posible, por el bajo número de datos, se usaron gráficos de barras.

Este análisis se complementó con revisión de literatura donde se buscaron artículos usando palabras como “aprovechamiento de agua lluvia”, “calidad de agua “, “prácticas de limpieza” y “recomendaciones de limpieza” donde se identificaron aspectos relacionados con los componentes que debe tener un sistema, las funciones de los componentes, aspectos de diseño de los

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

componentes, prácticas adecuadas de operación y mantenimiento como métodos de limpieza y materiales a implementar para realizar una buena limpieza a los sistemas. Todo esto con el propósito de identificar estrategias de mejoramiento de la calidad del agua lluvia recolectada para los habitantes de la zona.

### **4. Resultados y discusión**

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la investigación que se realizó a los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en la zona de estudio y el análisis que se ejecutó del agua lluvia almacenada en el área de captación de los sistemas, además de presentar los parámetros y las prácticas de mantenimiento y limpieza que influyen en la contaminación del agua lluvia que recolectan los habitantes de la vereda y las estrategias para mejorar su calidad.

#### **4.1 Caracterización de los sistemas y las prácticas de aprovechamiento de aguas lluvias**

##### ***4.1.1 Tipología por agrupación de materiales***

Se obtuvieron 7 tipologías de SALL en la zona de estudio como se muestra en la Tabla 1, donde también aparece el número de viviendas en cada una de las tipologías.

#### **Tabla 1**

*Tipologías más frecuentes de SALL en las viviendas en la zona de estudio*

## ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Tipología	Materiales			Número de viviendas
	Techo	Canaleta	Tanque	
Tipología 1	Metálico	Plástico	Arcilloso y de concreto	2
Tipología 2	Metálico	Metálico	Arcilloso y de concreto	4
Tipología 3	Metálico	Metálico	Plástico	3
Tipología 4	Arcilloso y de concreto	Metálico	Arcilloso y de concreto	10
Tipología 5	Arcilloso y de concreto	Plástico	Arcilloso y de concreto	3
Tipología 6	Arcilloso y de concreto	Metálico	Plástico	5
Tipología 7	No tiene sistema RWH completo, faltan canaletas y tanques			4

*Nota.* Esta tabla muestra las tipologías de acuerdo al material de los tres principales componentes de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvia existentes en la vereda.

En la Tabla 1 se puede apreciar que predomina el uso de tanque “arcilloso o de concreto”. Basán et al. (2018) y Chino et al. (2016) recomiendan el uso de materiales como ferrocemento, mampostería y concreto para la construcción del tanque de almacenamiento, pues estos pueden ser contruidos para abarcar grandes volúmenes. De igual forma, el uso de material plástico en el componente de almacenamiento también es común en la zona pues por su practicidad de disposición y limpieza presentan beneficios en términos de movilidad y manejo. Aunque ningún habitante usa el material metálico para su tanque, García (2012) menciona las cisternas de lámina de acero como un material con buen desempeño, pero con costos elevados. Los materiales de las cubiertas que no son recomendables según la literatura son los de paja (algo que no se encontró en la zona de estudio) y los materiales “de barro” pues presentan disgregación de partículas que terminan perjudicando la salud humana (Chino et al., 2016).

La gran mayoría de habitantes implementan canaletas con materiales metálicos, siendo las canaletas de zinc las más comunes. Según Wang et al. (2013), este material es muy susceptible a problemas de corrosión y termina siendo un material de mediana duración, por ende García (2012) menciona el empleo de materiales como el acero galvanizado o laminados; en términos de

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

durabilidad este material resalta no solo sobre las canaletas de zinc sino también sobre las de plástico como el PVC, ya que no se ve afectado por la variación de los cambios de temperaturas (Leos, 2011). Esta diferencia es mínima al compararla con el precio de los materiales, pues el acero galvanizado o laminado tiene costos muy elevados, además de ejercer una sobrecarga sobre la estructura donde se empotra (Leos, 2011). La tipología 7 (no tiene sistema completo) se presentó en casos donde la vivienda no era usada frecuentemente, y el agua para consumo humano se acarrea desde la zona urbana del municipio o se contaba con él por medio del acueducto (mínimas cantidades).

En la Figura 6 se puede observar una vivienda con un SALL perteneciente a la tipología 3, en donde el material del techo es metálico, la canaleta metálica y el tanque plástico. En el Anexo B, se pueden observar las evidencias fotográficas de cada tipología de las viviendas de la zona de estudio.

### **Figura 6**

*Sistema de Aprovechamiento de Aguas Lluvias perteneciente a la tipología 3*



*Nota.* El grafico representa un sistema de aprovechamiento de agua lluvia con las características físicas de la tipología 3 de las viviendas de la zona de estudio.

## ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Además de los componentes predominantes mostrados anteriormente, se indagó si las viviendas contaban con SALL con otros elementos que, de acuerdo con la literatura, cumplen funciones importantes tales como: i) impermeabilizantes en su cubierta, ii) bajantes, iii) mallas en las canaletas y bajantes iv) mallas en los tanques de almacenamiento (ver Tabla 2).

**Tabla 2**

*Presencia de otros componentes en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias de Garbanzal*

¿Lo emplean?	i	ii	iii	iv
Si	5	4	--	3
No	24	25	29	26

*Nota.* Esta tabla muestra la presencia de componentes complementarios que utilizan los habitantes de las viviendas.

Como se puede observar en la Tabla 2, el uso de estos componentes no es una práctica común en la zona. El empleo de bajantes direcciona el agua lluvia por el sistema evitando que haya pérdida del volumen recolectado y distintas infiltraciones de agentes externos contaminantes, por ende su implementación es importante (Basán et al., 2018). Así mismo, el uso de mallas en los componentes de transporte y almacenamiento retiene distintos materiales obstaculizadores y contaminantes, mejorando el funcionamiento y prolongando su correcta operación (UNATSABAR, 2004).

Los impermeabilizantes, según lo mencionan Dao et al. (2017), se utilizan habitualmente en los tanques para que el agua no se infiltre por la porosidad que pueden presentar los almacenamientos construidos por materiales como el concreto. En el caso de estudio, los impermeabilizantes utilizados se implementan en las cubiertas, siendo este el componente complementario más utilizado dentro de su categoría por la comunidad. Las personas consideran

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

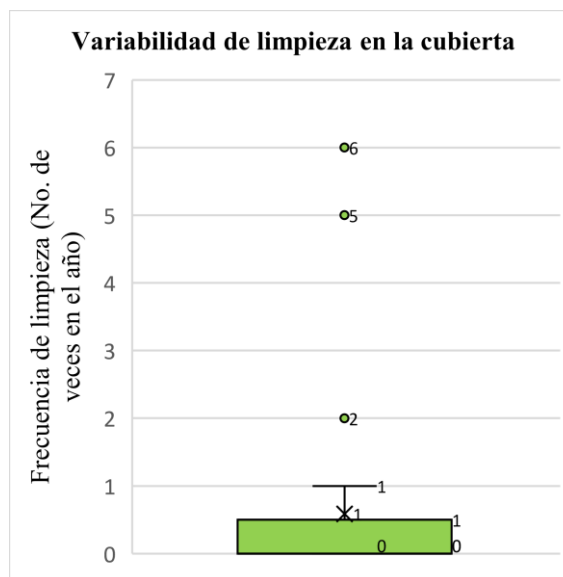
que, un flujo continuo de agua evita la propagación de microorganismos contaminantes. El material que se encontró cumpliendo la función de impermeabilizante fue el plástico, el cual también permite una limpieza sencilla a la cubierta de la vivienda simplemente con su retiro.

### 4.1.2 *Prácticas de limpieza y mantenimiento en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias y tratamientos para posterior consumo*

Las Figuras 7, 8 y 9 muestran los resultados de las frecuencias de limpieza anuales de los distintos componentes de los SALL y sus características. Datos tomados de las 29 encuestas realizadas.

#### **Figura 7**

*Diagrama de caja de la frecuencia de mantenimiento a los componentes de captación*



*Nota.* El gráfico representa la frecuencia de limpieza de la cubierta que los habitantes de la vereda Garbanzal practicaban en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

En la Figura 7 se puede apreciar que la mayor frecuencia de limpieza anual que realizan los usuarios a las cubiertas se encuentra en 0 y 0.5 veces por año, con una media anual de limpiezas de 0.5 veces y presentan valores atípicos en tres hogares (2, 5 y 6), lo que denota baja frecuencia

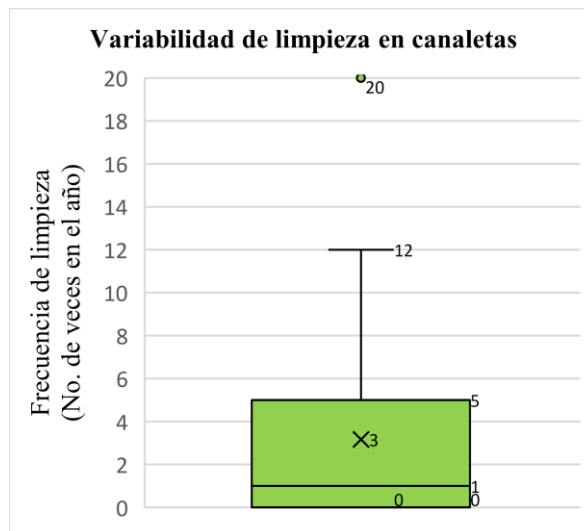
## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

de esta práctica. Basán et al. (2018) recomiendan la limpieza del área de captación antes de que inicie la época lluviosa. Respecto a los valores de frecuencia de limpieza la literatura no es explícita, y solo menciona el cuidado y mantenimiento como algo tácito que los usuarios deben tener en cuenta. La falta de frecuencia de limpieza podría ser uno de los factores más influyentes sobre una calidad del agua deficiente.

En la Figura 8 se puede apreciar que la mayor frecuencia de limpieza anual que realizan los usuarios a las canaletas se encuentra en 0 y 5 veces por año, con un promedio anual de limpiezas de 3 veces por año, siendo más frecuente en comparación con la cubierta. Las canaletas hechas de material metálico son las más duraderas y las que menor frecuencia de limpieza necesitan (Chino et al., 2016). En la zona de estudio, el 80% de canaletas de los sistemas de estudio presentan materiales metálicos. La frecuencia mínima de limpieza de canaletas según Reyes & Rubio (2014) es de 2 veces por año, una antes de la época de lluvias y una después.

### Figura 8

*Diagrama de caja de la frecuencia de mantenimiento de canaletas*



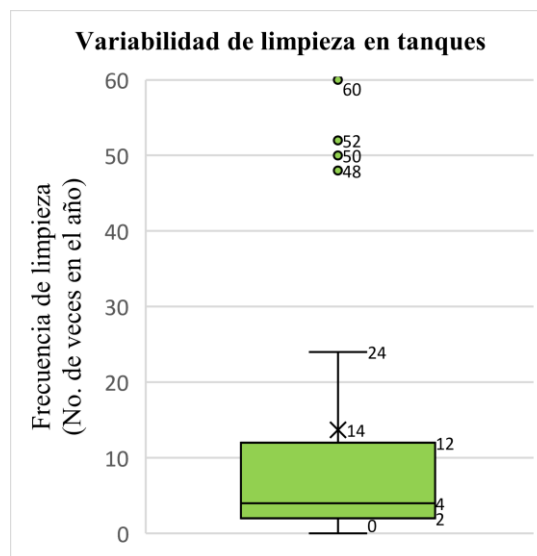
*Nota.* El gráfico representa la frecuencia de limpieza de las canaletas que los habitantes de la vereda Garbanzal practicaban en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

En la Figura 9 se puede apreciar que la mayor frecuencia de limpieza anual que realizan los usuarios a los tanques se encuentra en 2 y 12 veces por año con un promedio anual de limpieza de 14 veces por año. Esta media anual se ve altamente influenciada por los valores atípicos que se presentan en 4 viviendas (48, 50, 52 y 60). De igual manera, se puede concluir que la limpieza de los tanques presenta la mayor atención por parte de los usuarios en comparación con los otros componentes. El trabajo en campo evidenció que las viviendas con valores atípicos presentaban los SALL más completos y técnicos, esto indica que las personas de estas viviendas son conscientes de que un buen sistema va de la mano con las buenas prácticas de mantenimiento. El mantenimiento del tanque de almacenamiento se debe realizar mínimo 2 veces por año (Rojas, 2020). Según Palacio (2010), se debe realizar como mínimo una limpieza anual. Vale la pena aclarar que, las dos investigaciones presentan estas recomendaciones para sistemas cuyo fin del recurso no es para consumo potable. Ruiz et al. (2018) recomienda una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia en SALL con fines de potables.

### Figura 9

*Diagrama de caja de la frecuencia de mantenimiento a los componentes de almacenamiento*



## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

*Nota.* El grafico representa la frecuencia de limpieza de los tanques que los habitantes de la vereda Garbanzal practicaban en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

La Tabla 3 agrupa información acerca del tipo de limpieza que realizan los usuarios a los SALL. Cabe recalcar que el término “otros desinfectantes” hace referencia a cloro, vinagre y agua hirviendo.

**Tabla 3**

### *Modalidades de limpieza*

Modalidad de limpieza	Definición
No realiza	----
Limpieza baja	Barrido o recolección manual
Limpieza media	Barrido y enjuague con agua y jabón sencillo
Limpieza ardua	Barrido y enjuague con agua, jabón y otros desinfectantes

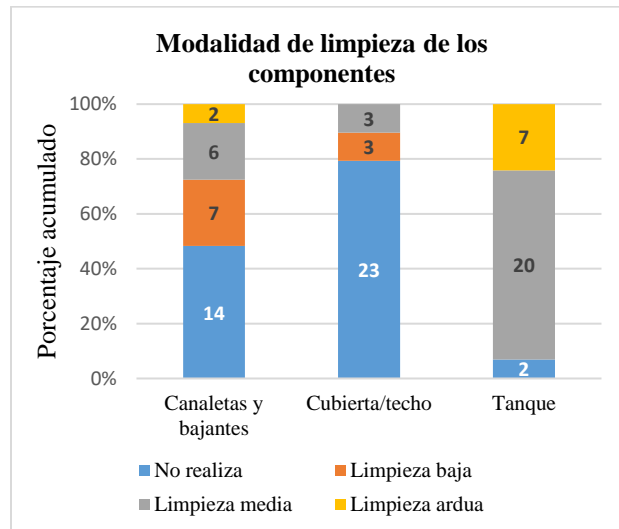
*Nota.* Esta tabla muestra las modalidades de limpieza que realizan los habitantes de la zona de estudio en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

En la Figura 10 se presentan la distribución de las modalidades de limpieza por componente del sistema.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

**Figura 10**

*Frecuencia de las modalidades de limpieza en cada uno de los componentes de los SALL*



*Nota.* El gráfico representa el porcentaje de las modalidades de limpieza de los componentes principales de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

En primera medida se observa que ninguna vivienda realiza “Limpieza ardua” en las cubiertas. Esta es un área de mejora, pues según Reyes & Rubio (2014), en SALL con fines potables se deben realizar limpiezas que permitan la remoción de sólidos o malezas en el área de captación. No obstante, Palacio (2010) indica que no es necesario limpiar tan exhaustivamente los componentes de captación y transporte, mientras se maneje un recolector de primeras aguas. La limpieza de los canales se debe hacer de manera efectiva, es decir, se debe remover sedimentos y hojas, de lo contrario las mallas retenedoras no cumplirán su función correctamente y el desperdicio de agua se acrecentará (García, 2012). Importante resaltar el nivel de limpieza que llevan a cabo los usuarios en los tanques, pues como lo señala Basán et al. (2018) y Ruiz et al. (2018) esta limpieza completa garantiza buena calidad de agua.

En base al estudio de Briceño & Chaparro (2021), el cual definía cualitativamente en 6 categorías las condiciones actuales en las que se encontraban los tanques; se agruparon dichas

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

categorías y se crearon los tres niveles de “Estados del tanque” que se muestran en la Tabla 4. Esta clasificación se chequeó mediante inspección visual, cuando se regresó a tomar las muestras de agua.

**Tabla 4**

*Estados del tanque*

<b>Estado del tanque</b>	<b>Concepto</b>
Malo	Dañado totalmente o en su mayoría
Regular	Corroído, pero funciona
Bueno	Nuevo o quizá necesite limpieza

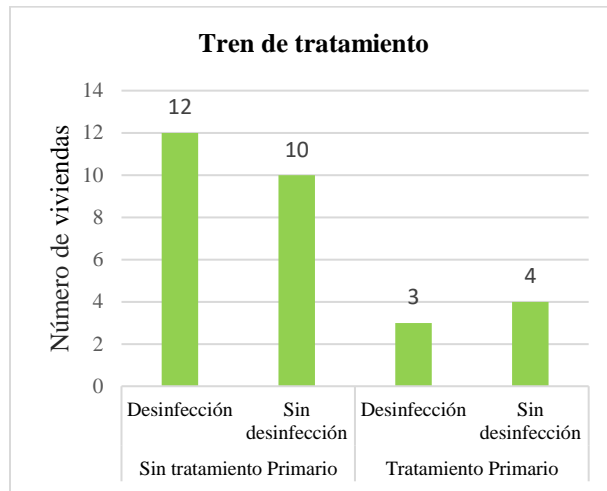
*Nota.* Esta tabla muestra los tres estados del tanque que se definieron para poder evaluar el estado de los tanques de los sistemas existentes en la zona de estudio.

La Figura 11 muestra los trenes de tratamiento que usan los habitantes de la zona, que consisten generalmente de un tratamiento primario (sedimentación y/o uso de filtros) y desinfección (hervir y uso de cloro).

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Figura 11

*Tratamientos empleados en los SALL*



*Nota.* El grafico representa los trenes de tratamiento que realizan los habitantes en sus sistemas y el número de viviendas que corresponde a cada tren tratamiento.

La mayoría de los habitantes tienen implementada la desinfección en comparación con el tratamiento primario. Los dos tipos de desinfección (el uso del cloro y hervir el agua) son los más comunes por su facilidad de aplicación (Ponce citado por (Hidalgo Reategui & Trigozo Lozano, 2020)). El tratamiento primario (sedimentación y filtro de arena) es menos habitual, probablemente por el desconocimiento de los habitantes o las condiciones económicas. También se encontró el uso de Alumbre, pero dado que solo lo usaba una vivienda no se presentó dentro de la gráfica. Algunos estudios demuestran que este es un neurotóxico en grandes proporciones, pero también se afirma que sirve como controlador del pH en el agua (Murillo & Ana, 2008).

## 4.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos básicos de la calidad del agua lluvia

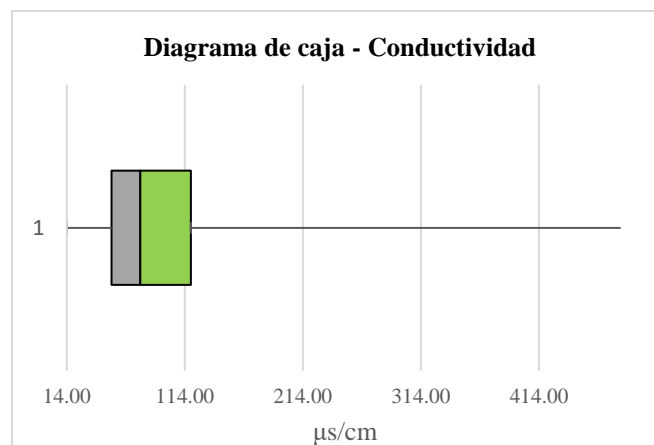
En esta sección se analizan los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos a las muestras de agua lluvia recolectadas en las viviendas de la zona de estudio. Además, se comparan estos resultados con la normatividad relevante.

### 4.2.1 Parámetros fisicoquímicos

El comportamiento de los datos de conductividad se muestra en la Figura 12, los cuales tuvieron una alta dispersión, siendo el valor mínimo 13,99  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y el máximo 483,34  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . La distribución de los datos está afectada por un diagnóstico de asimetría positiva, esto quiere decir que la mayoría de los datos de las viviendas muestradas se sitúan en los valores inferiores del gráfico, lo cual expone que la mayor parte de las muestras analizadas no presentan un valor de conductividad alto.

#### Figura 12

*Comportamiento de la conductividad en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*



## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

*Nota.* El grafico representa el comportamiento del parámetro conductividad que existe en los sistemas de las viviendas de la zona de estudio.

Un 25% de las viviendas (4) presentaron una conductividad entre 13,99  $\mu\text{s/cm}$  – 51,90  $\mu\text{s/cm}$ . Aproximadamente el 50% de las viviendas (6) presentaron una conductividad entre 51,90  $\mu\text{s/cm}$  – 119,05  $\mu\text{s/cm}$  y el 25% de las viviendas restantes (4) tuvieron una alta conductividad entre 119,05  $\mu\text{s/cm}$  – 483,33  $\mu\text{s/cm}$ .

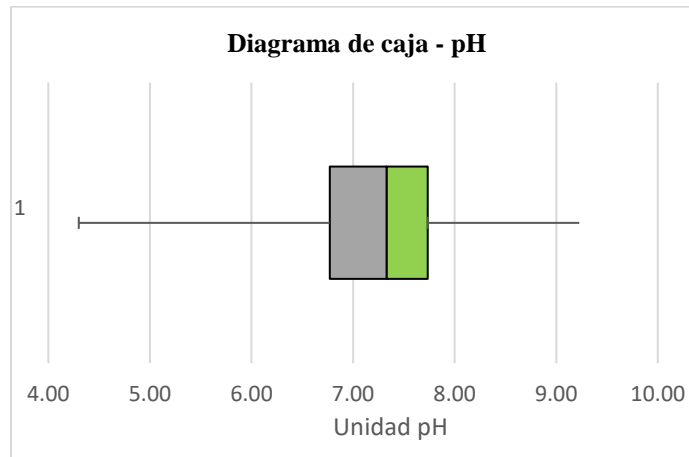
La Resolución 2115 del 2007 indica que la aceptación máxima de conductividad puede ser hasta 1000  $\mu\text{s/cm}$ . Por lo tanto, el 100% de las viviendas muestreadas (14) cumplirían lo estipulado por la resolución. Esto significa que el agua lluvia almacenada en los tanques de las viviendas de la zona tiene concentraciones iónicas bajas. Así, el agua lluvia consumida en la zona no presentaría un riesgo a la salud humana asociado a enfermedades como: hipertensión, enfermedades de la piel, diarrea, y problemas respiratorios (Samsudin, 2020).

El comportamiento de los datos del pH de las muestras se presenta en la Figura 13. El pH estuvo en un rango entre 4,30 - 9,23 unidades de pH. La distribución de los datos está afectada por un diagnóstico de asimetría negativa, esto quiere decir que la mayoría de los datos de las viviendas muestreadas se sitúan en los valores superiores del gráfico, lo que indica que los valores de pH para varias viviendas están en niveles por encima de 7 unidades.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Figura 13

*Comportamiento del pH en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*



*Nota.* El gráfico representa el comportamiento del parámetro pH que existe en los sistemas de las viviendas de la zona de estudio.

Un 25% de las viviendas (4) tuvieron un valor de pH entre 4,30 y 6,77 unidades de pH. Aproximadamente el 50% de las viviendas (6) presentaron un pH entre 6,77 y 7,74 unidades de pH y el 25% de las viviendas restantes (4) tuvieron un pH entre 7,74 y 9,23 unidades de pH.

De acuerdo con la Resolución 2115 del 2007, el valor para el pH del agua para consumo humano debe estar comprendido entre 6,5 y 9,0 unidades de pH. Por lo anterior, se puede considerar que un 75% de las muestras tomadas se encuentran en los valores permisibles para el parámetro. No obstante, existe un 25% de viviendas que no cae dentro del intervalo dado por ley, ubicándose por debajo de 6 unidades de pH, considerándose agua ácida. En estos casos, esta agua podría generar algunos efectos sobre la salud humana (afecciones a los ojos, la piel y la pérdida del pelo), así como también consumir esta agua ácida sin ningún tipo de tratamiento puede provocar que poco a poco se acumulen pequeñas cantidades de sustancias tóxicas cuya ingesta continua puede derivar a medio y largo plazo en problemas gástricos (Becker et al., 2015).

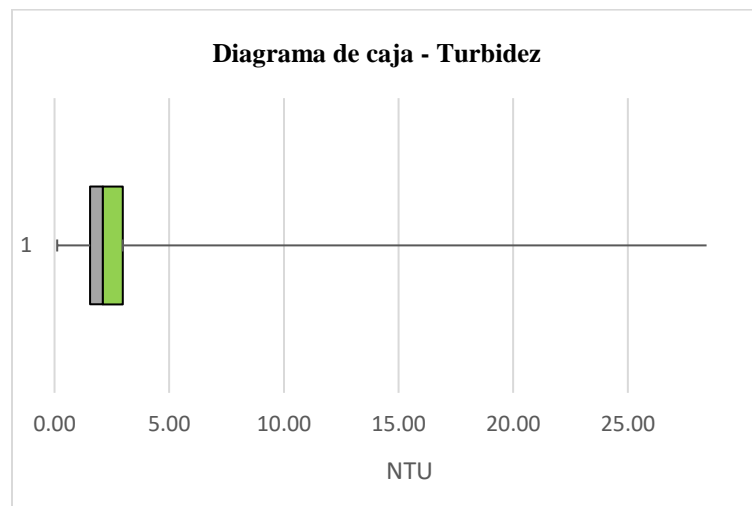
## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Dentro de los resultados de pH se encontraron dos valores atípicos (4,30 unidades de pH y 4,40 unidades de pH), por debajo de lo estipulado por la Resolución, esto podría deberse a los materiales usados en los componentes de los sistemas, pues en ambos casos las viviendas presentan un material de cubierta de fibrocemento ya desgastada y esto puede acarrear sustancias tóxicas que provoquen alterar el pH del agua lluvia.

El comportamiento de los datos de turbidez de las muestras se observa en la Figura 14, se presentó una alta dispersión, con valores que oscilan entre 0,12 NTU y 28,43 NTU. En el diagrama se puede observar que la mayoría de los datos de las viviendas muestreadas se encuentran en los valores inferiores del gráfico, lo cual denota que la mayor parte de las muestras analizadas no presentan un valor de turbidez alta de acuerdo al valor máximo obtenido.

### Figura 14

*Comportamiento de la turbiedad en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.*



*Nota.* El gráfico representa el comportamiento del parámetro pH que existe en los sistemas de las viviendas de la zona de estudio.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Un 25% de las viviendas (4) tuvieron un valor de turbidez entre 0,12 UNT y 1,55 UNT. El 50% de las viviendas (6) presentaron una turbidez entre 1,55 UNT – 2,98 UNT. El 25% restante de las viviendas (4) tuvieron una turbidez entre 2,98 UNT – 28,43 UNT.

De acuerdo con la Resolución 2115 del 2007, el valor máximo aceptable de turbiedad es 2 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad). En este caso, 75 % de las viviendas tuvieron turbiedad por encima del valor establecido por la norma. Esto significa que el agua lluvia almacenada en los tanques de la mayoría de las viviendas de la zona podría no ser agradable estéticamente y también existe la probabilidad de contaminación microbiológica y contaminación por compuestos tóxicos que se adhieren a la materia dispersa en el agua (sólidos compuestos y partículas en suspensión). Al presentar alta turbidez, el agua tiene más partículas en suspensión, lo que aumenta la posibilidad de refugio de bacterias y virus y podría haber una disminución de la eficacia de los desinfectantes (Villanueva & Avila, 2019).

Dentro de los resultados arrojados de turbidez se presentó un valor atípico (28,43 UNT), posiblemente debido a la presencia de partículas y a un filtrado inadecuado del agua almacena en el tanque. En este tanque había presencia de peces, lo que posiblemente podría estar generando esta condición de turbiedad más elevada que lo normal en los sistemas de la localidad.

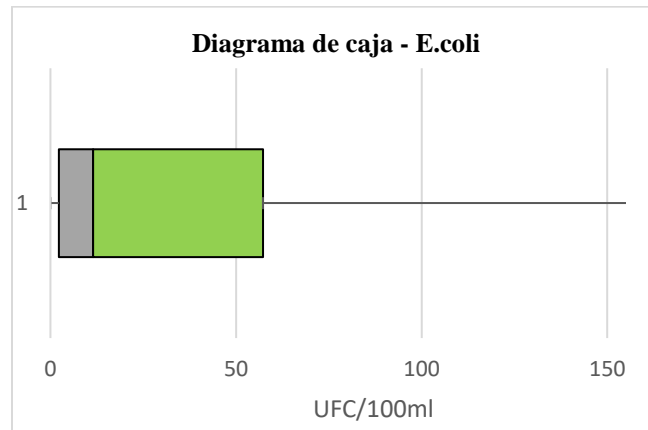
### **4.2.2 Parámetros microbiológicos**

El comportamiento de los datos de E. coli de las muestras se observa en la Figura 15, cuyo rango estuvo entre 0 UFC/100 ml y 153 UFC/100 ml. En el diagrama se puede observar que la mayoría de los datos de las viviendas muestreadas se encuentran en los valores inferiores del gráfico, lo cual indica que gran parte de las muestras analizadas tiene valores bajos de E. coli, de acuerdo al valor máximo obtenido.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Figura 15

*Comportamiento de E. coli en los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias*



*Nota.* El grafico representa el comportamiento del parámetro E. coli que existe en los sistemas de las viviendas de la zona de estudio.

El 25% de las viviendas (4) tuvieron un valor de E. coli entre 0 UFC/100 cm<sup>3</sup> – 2 UFC/100 cm<sup>3</sup>. El 50% de las viviendas (6) presentaron un valor de E. coli entre 2 UFC/100 cm<sup>3</sup> – 55 UFC/100 cm<sup>3</sup>; y el 25% de las viviendas (4) tuvieron un valor de E. coli entre 55 UFC/100 cm<sup>3</sup> – 153 UFC/100 cm<sup>3</sup>.

El artículo 11° de la Resolución 2115 del 2007 indica los valores máximos aceptables para el E. coli en agua para consumo humano, donde se establece un valor de 0 UFC/100 cm<sup>3</sup>, lo cual quiere decir que en 100 mililitros permite 0 UFC de E. coli. Con los datos obtenidos, más del 75 % de las viviendas tuvo un E. coli superior a los establecido por la norma. Esto significa que en la mayoría de las viviendas de la zona el agua lluvia almacenada en los tanques de los sistemas tiene presencia de microorganismos, a excepción de 2 viviendas que presentaron 0 UFC/100 cm<sup>3</sup> de E. coli. La presencia de esta bacteria es un indicador de contaminación del agua lluvia por heces humanas y animales, que representan un alto riesgo para quienes consuman agua con estas características, pues pueden experimentar náuseas, vómitos, cólicos abdominales, diarrea y fiebre,

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

especialmente los niños, las mujeres embarazadas, ancianos y en general personas con bajas defensas (Rivera, 2014).

### **4.3 Propuesta de estrategias de mejoramiento de la calidad del agua lluvia recolectada**

En esta sección se hace un análisis para identificar los factores más influyentes de los SALL sobre la E. coli para posteriormente proponer una serie de recomendaciones.

#### ***4.3.1 Relación entre características de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, prácticas y calidad de agua.***

Al relacionar gráficamente los datos de E. coli con los componentes del sistema y las prácticas de los usuarios, se encontró que las características que denotaron mayor importancia respecto al contenido de E. coli fueron: i) Material de la cubierta del SALL ii) Material del tanque del SALL, iii) Modalidad de limpieza del tanque y, iv) Estado del tanque, como se muestra a continuación.

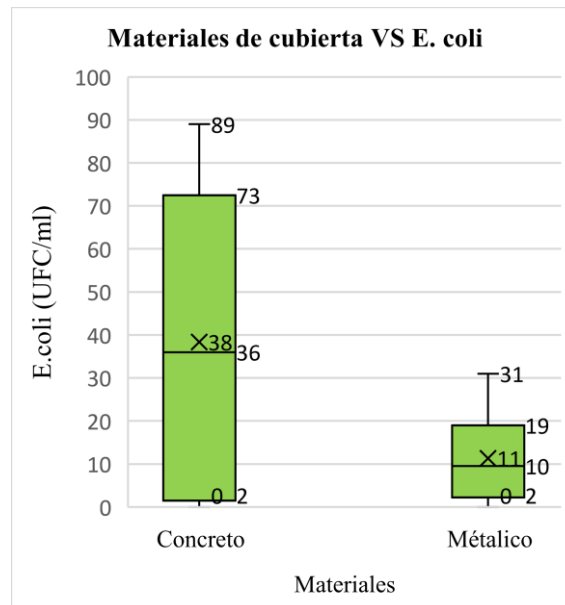
**4.3.1.1 Material de los componentes del SALL vs E. coli.** La Figura 16 muestra que la menor cantidad de UFC se dan en las cubiertas metálicas, con un rango de 2 a 19 UFC de E. coli, con un promedio de 11 UFC de E. coli. Estos resultados son consistentes con los del trabajo de (Bae et al., 2019) quienes encontraron que las cubiertas metálicas presentan menores proporciones de E. Coli en comparación con las tejas de concreto, tejas frescas y tejas asfálticas de fibra de vidrio. Por lo tanto, nuestros resultados se suman a los de trabajos que muestran que el tipo de material de techo afecta la calidad microbiana del agua lluvia recién recolectada, en relación con patógenos humanos como Legionella, E. coli y Adenovirus.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Por su parte, en la Figura 17 se puede observar un mejor comportamiento de E. Coli en los tanques de “Concreto”, los cuales presentan un rango medio de 3 a 31 UFC de E. coli, con un promedio de 23 UFC de E. coli, Vale la pena resaltar el valor atípico (89 UFC) que se encuentra en este material, el cual influye en el valor del promedio presentado. En contraste con nuestros resultados, el estudio realizado por Ñontol & Saldaña (2020) el cual recopilaba 20 investigaciones relacionadas con los materiales más comunes y óptimos de los SALL para obtener una buena calidad del agua, pudiendo determinar que los tanques de PVC ofrecen mejores condiciones microbiológicas, pues aproximadamente el 75% de los estudios recomendaban el uso de tanques de PVC y el valor restante recomendaban tanques de concreto. Esta diferencia se puede dar por el aislamiento de la variable, es decir se ignoran otros factores influyentes dentro de los resultados de E. coli, como lo pueden ser las prácticas de limpieza.

### Figura 16

*Comportamiento de las UFC de E. coli frente a los materiales de las cubiertas*

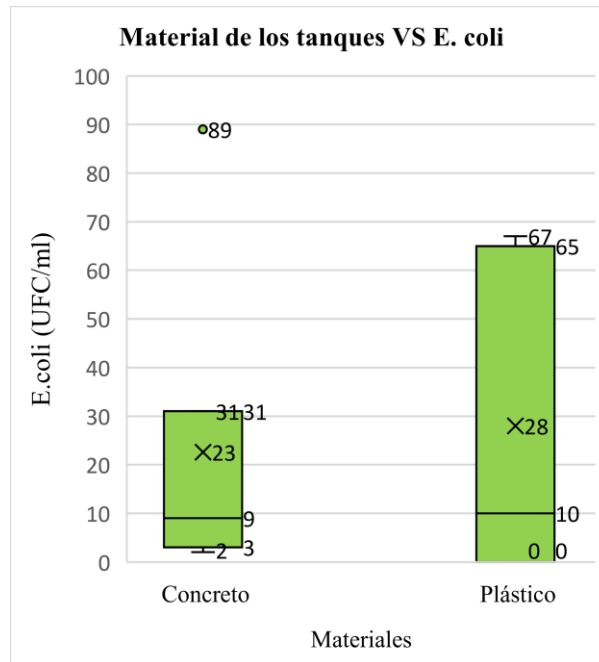


*Nota.* El gráfico representa el comportamiento que tiene el E. coli cuando entra en contacto con el material de la cubierta de concreto y metálico.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Figura 17

*Comportamiento de las UFC de E. coli frente a los materiales de los tanques*



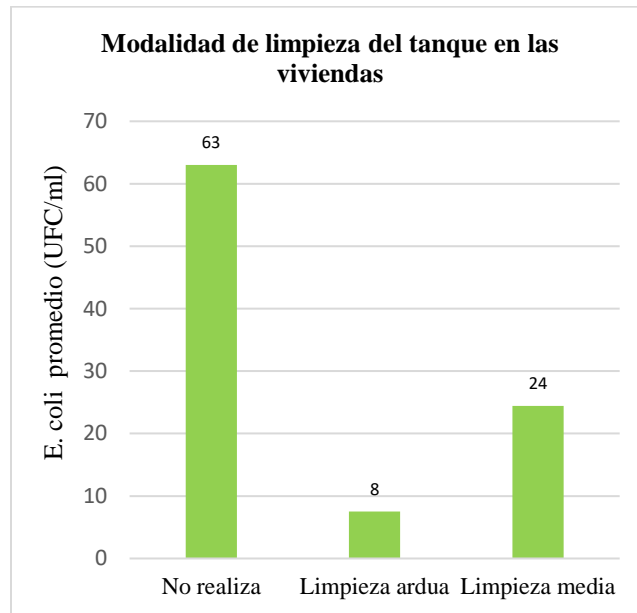
*Nota.* El gráfico representa el comportamiento que tiene el E. coli cuando entra en contacto con el material de los tanques de concreto y plástico.

**4.3.1.2 Prácticas de limpieza y mantenimiento vs E. coli.** La Figura 18 muestra el comportamiento de E. Coli vs “La modalidad de limpieza del tanque”, donde se consideraron 3 modalidades “Ardua”, “Media” y “No realiza” (Limpieza baja no la realizaba ninguna vivienda muestreada). Para estos datos, no fue posible realizar diagramas de cajas.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Figura 18

*Comportamiento de las UFC de E. coli frente a modalidad de limpieza del tanque.*



*Nota.* El grafico presenta el comportamiento del E. coli relacionado con las modalidades de limpieza que realizan los habitantes a los sistemas de captación.

Se encontró que la limpieza ardua en los tanques representa una considerable baja de UFC de E. coli en los sistemas, por ello es importante recalcar el uso de desinfectantes en la limpieza de los tanques. La limpieza media a diferencia de la ardua, utiliza en el mantenimiento únicamente jabón común, esto puede traer consigo un mayor crecimiento de E. coli. El no realizar ninguna limpieza al tanque acarrea fuertemente malas condiciones microbiológicas del agua y posiblemente no sea apta para consumo humano.

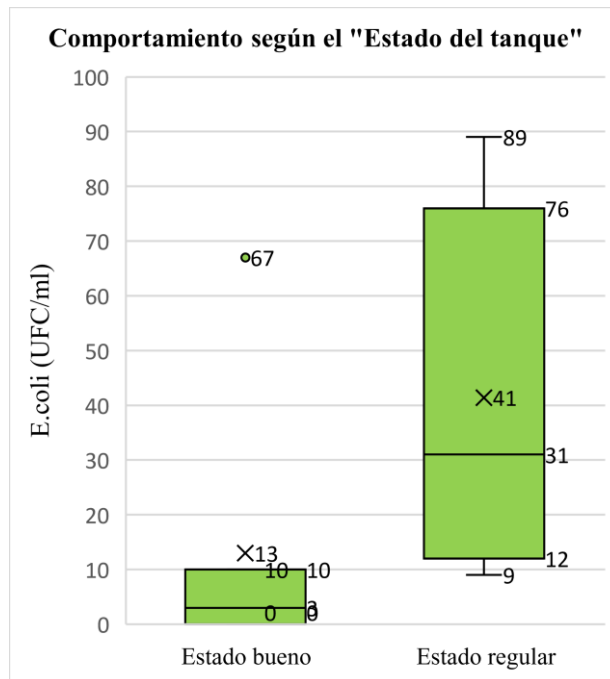
La Figura 19 muestra la influencia del “Estado del tanque”, donde se agruparon las observaciones en dos categorías: “Bueno” y “Regular”. Se observó un promedio de 13 UFC en la categoría estado bueno, que estuvo fuertemente influenciado por un valor atípico (67), mientras que en la categoría “estado regular”, el valor promedio de E. coli fue 41 UFC con un rango medio

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

entre 12 y 76 UFC. Estos resultados corroboran los expresado por Basan et. al (2018), quienes indican es necesario tener el tanque en las mejores condiciones posibles, pues un deterioro mínimo de este presenta un ambiente propicio para la reproducción de microorganismos.

### Figura 19

*Comportamiento de las UFC de E. coli frente al Estado del tanque "Bueno"*



*Nota.* El grafico representa el comportamiento del E. coli relacionado con el estado del tanque de los sistemas de captación que poseen los habitantes de la zona de estudio.

Debido al bajo número de muestras analizado (muestras de 12 viviendas); los análisis estadísticos son básicos y por ende, no fue posible realizar pruebas más avanzadas que permitieran realizar un análisis integral que involucre simultáneamente todos los factores que pueden incidir sobre la calidad del agua (materiales de los SALL, estado de los componentes, prácticas de operación y mantenimiento). No obstante, el Apéndice XX presenta una síntesis donde se presenta simultáneamente el comportamiento de estas variables en cada vivienda.

**4.3.2 Recomendaciones para mejorar la calidad de agua en los sistemas de aprovechamiento de agua lluvias (SALL) de la vereda Garbanzal.**

A continuación, se presenta una serie de recomendaciones como resultado de lo encontrado en relación con los SALL, las prácticas, los resultados de los análisis de calidad de agua y la literatura revisada.

**4.3.2.1 Componentes de los SALL.** a) Implementación de bajantes: según la caracterización de los sistemas, la mayoría de los SALL de Garbanzal carecen de bajantes. Dotar los SALL de bajantes ayuda a encauzar el flujo del agua hacia el tanque y contribuye a bloquear el ingreso de contaminantes del medio ambiente, pues evita la apertura constante del tanque (algo habitual en las viviendas). Además, permite que el agua ingrese directamente al tanque o al desviador de primeras aguas y se almacene la mayor parte, evitando pérdidas que se pueden destinar al consumo humano o al riego de huertas u otros usos no potables pero necesarios (Anaya, 2011).

Los materiales recomendados para los bajantes son PVC o chapa galvanizada (de igual forma las canaletas), además, se deben contemplar un bajante de diámetro amplio para evitar obstrucciones parciales (Basán et al., 2018). Se debe disponer al final de las canaletas o intersecciones de las mismas. Es importante que haya una pendiente suave en las canaletas para que transporten fácilmente el agua por gravedad a la bajante (Palacio Castañeda, 2010).

b) Implementación de mallas en los componentes de transporte: según la caracterización de los sistemas, el 100% de las viviendas encuestadas carecían de mallas en los componentes de transporte. Unas pocas viviendas (3 de 29) tenían mallas en el tanque de almacenamiento. Las mallas se colocan primordialmente en canaletas y bajantes, donde su función es retener los sólidos

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

más gruesos. No se recomienda ponerlas en tanques, ya que esto implica la apertura del tanque constantemente, quedando el agua recolectada expuesta al medio ambiente (Rueda-Ardilla et al., 2019).

c) Desviador de primeras aguas (prefiltrado): Los SALL estudiados carecen de desviadores de primer flujo. La importancia de este componente radica en la interceptación de gran parte de la contaminación proveniente de la cubierta durante los primeros minutos de lluvia e impidiendo que material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento. El agua desviada puede ser usada para el riego de hortalizas (Susanti et al., 2017).

El interceptor de primeras aguas consta de un tanque en el cual se almacenará un litro de agua por cada metro cuadrado de techo. El agua entra a él por medio de un bajante unido a las canaletas. Además, se debe contar con una válvula de flotador que permita su llenado; cuando éste alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento (Palacio Castañeda, 2010).

En la Figura 20 se pueden observar canaletas, bajantes, tanque de primeras aguas y tanque de almacenamiento de un SALL en la provincia de Santa Fe, Argentina. Tomado de (Basán et al., 2018).

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Figura 20

*Sistema de trampa inicial de tanque para almacenar el agua “sucia” para el riego de huertas*



*Nota.* Este grafico representa un componente a implementar para mejorar la calidad del agua recolectada en los sistemas el cual es el desviador de primeras aguas.

d) Tratamiento del agua: Se recomienda implementar un sistema propuesto por Basán et al. (2018) que contiene dos elementos; i) un sedimentador que permita que las partículas sedimentables se asienten por gravedad impidiéndoles el paso; y: ii) un filtro de arena en el cual se retengan las partículas sólidas que no decanten en el sedimentador. Ambos sistemas recomendables para aquellas viviendas donde se observaron altos niveles de turbidez. Hidalgo Reategui & Trigozo Lozano (2020) proponen la implementación de carbón en la última instancia del filtro de arena antes de llegar al tanque, el cual captura compuestos en su mayoría orgánicos, asiste a la eliminación de plaguicidas y retiene compuestos que alteran el sabor y olor del agua. Estos sistemas son opcionales para las viviendas, pero conllevarían una mejora en calidad del agua.

El filtro se puede construir de mampostería. Comienza con una loza inferior, en la cual va apoyada en la tubería perforada con orificios de 8 a 10 mm de diámetro en el sector filtrante. Esta tubería une el filtro con el depósito de agua. El número y diámetro las tuberías debe ser igual o superior al de las tuberías de llegada que provienen del área de captación. Con esto se logra que el

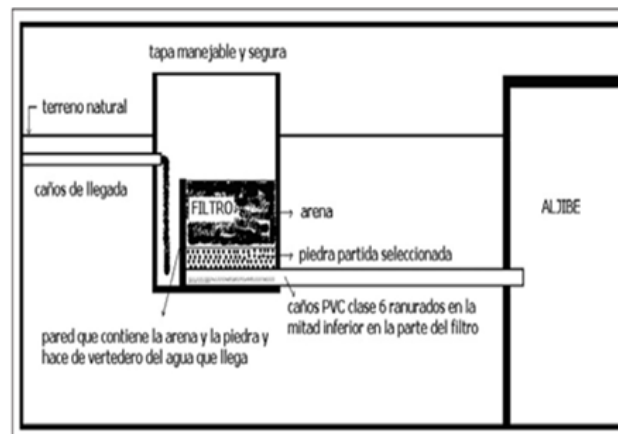
## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

filtro no vea rebasada su capacidad de funcionamiento ante lluvias de alta intensidad (Basán Nickisch et al., 2018).

En la Figura 21 descripción grafica de un filtro de arena con tanque/cisterna/aljibe separado.

### Figura 21

#### *Filtro de arena*



*Nota.* El grafico representa un filtro de arena construido en mampostería el cual ayuda a eliminar partículas no deseadas en el agua recolectada de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia.

Teniendo en cuenta las recomendaciones dadas anteriormente, es importante brindarles un conocimiento a los habitantes sobre un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias bien estructurado para que puedan darles mejoras a los sistemas en cuanto a sus componentes, materiales y tratamientos para mejorar la calidad del agua que utilizan, además de darles a conocer las estimaciones de los costos de estos componentes.

En cuanto a una buena estructura de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvias, Basan Nickisch (2010) recomienda que las áreas de captación pueden ser techos compuestos por chapas de zinc con sistemas de soporte que permitan un desnivel adecuado para el escurrimiento superficial, las canaletas deben ser lo suficientemente grandes para que puedan conducir el agua captada en los techos, cualquiera sea la intensidad de la lluvia y es conveniente que se instalen con

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

un desnivel adecuado para que el agua escurra sin dificultad, con una pendiente de 0,005 (5 cm por cada 10 m de longitud). Se deben contemplar bajantes de PVC de diámetro de 100 a 110 mm, el encaje con la canaleta debe ser óptimo y estar bien sujeta para que soporte el peso de la misma con su máxima carga de agua.

Siempre es conveniente que todas las bajantes tengan un sistema de prefiltrado, consistente en una bifurcación de tubos con una malla plástica fijada con una abrazadera y tres remaches o tornillos pasantes, que impide el paso de basura (material vegetal, insectos, etc.), es un mecanismo muy práctico en su instalación, en su funcionamiento y en su limpieza, ya que con la introducción de una mano se puede retirar los elementos retenidos (Basan Nickisch, 2010).

En la Figura 22 se puede observar el sistema de prefiltrado con malla plástica, tomado (Basan Nickisch, 2010).

### **Figura 22**

*Sistema de prefiltrado de malla para eliminar materia vegetal, insectos y sedimentos.*



*Nota.* Este grafico representa el sistema de filtro con malla plástica que los habitantes de la zona pueden implementar en las bajantes de los sistemas de captación para mejorar la calidad del agua lluvia.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

De acuerdo a lo estipulado anteriormente sobre la estructuración de los componentes recomendados para mejorar los sistemas de aprovechamiento de agua lluvias se puede dar una estimación de los costos de estos componentes para una vivienda típica de la zona. (tabla 5).

**Tabla 5**

*Componentes principales de los sistemas de captación existentes.*

Componentes de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia existentes	
Techo	90 m <sup>2</sup>
Canaletas	Ancho = 0.15 m
Tanque de almacenamiento	5000 Lt

*Nota.* Esta tabla muestra las dimensiones de los componentes de los sistemas de una vivienda tipo para establecer las dimensiones correspondientes de los componentes recomendados y sus respectivos valores.

Los precios unitarios fueron tomados de los establecidos por las empresas Easy Colombia y Homecenter, dicho presupuesto puede variar en relación con el año en que se realice y el proveedor de materiales.

En la Tabla 6 se observan los costos de los componentes recomendados para mejorar la calidad del agua lluvia en la vereda Garbanzal.

Componente	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Bajante	Tubería de PVC resistente a la corrosión del óxido y a la exposición a rayos ultra violeta, color blanco	3 metros	1	\$ 80.700	\$ 80.700
Prefiltro de malla	Tubería de PVC resistente a la corrosión del óxido, con implementación de malla	metros	1	\$ 170.000	\$ 170.000

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

Desviador de primeras aguas	Tanque de plástico con tapa, con malla superior y boquilla en la parte baja, 500 litros	Unidad	1	\$ 387.000	\$ 387.000
	Ladrillo estándar de barro 12x20x30	Unidad	38	\$ 1.200	\$ 45.600
Filtro de arena construido	Arena industrial de argos de 40 kg	Kg	1	\$ 8.100	\$ 8.100
	Cemento portland de 50 kg	Kg	1	\$ 30.500	\$ 30.500
	Piedra partida fina 40 kg	Kg	1	\$ 18.400	\$ 18.400
	Tubería agujerada de 4 pulg y 10 m de largo	metros	1	\$ 180.000	\$ 180.000
				<b>Costo total</b>	\$ 920.300

*Nota.* Esta tabla muestra los valores de cada componente recomendado anteriormente para mejorar la estructura de los sistemas y la calidad de agua lluvia recolectada y el costo total a implementar estos componentes. Adaptado de precios colombianos de las empresas Easy Colombia y Homecenter.

**4.3.2.2 Prácticas de limpieza y mantenimiento de los SALL.** Se debe enfatizar en las prácticas de limpieza por parte de los usuarios en todos los componentes del sistema primordialmente en las cubiertas, puesto que, como se observa en los resultados de las caracterizaciones de sistemas, la limpieza es prácticamente nula, añadiendo que, las limpiezas de la cubierta se pueden complementar con el uso habitual de impermeabilizantes. Además, se deben realizar limpiezas con modalidades arduas, lo que implica una mejor desinfección de los sistemas. Importante recalcar que la desinfección se realiza con elementos como cloro y agua hervida, esto disminuirá drásticamente la contaminación de microorganismos, además de ser prácticas económicas, esto se debe hacer antes de que comience el periodo de lluvias, pues allí es donde iniciará la captación más importante del recurso y es necesario que los componentes estén en óptimas condiciones de limpieza.

Estas alternativas para lograr mejorar la calidad del agua, las puede aplicar el habitante de cada vivienda de la vereda, que, mediante divulgación de cartillas por parte del grupo de

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

investigación, se les entregará información sobre los resultados de calidad del agua, componentes y prácticas en los SALL y las recomendaciones asociadas.

### **5. Conclusiones**

La utilización de los sistemas de captación de aguas lluvias trae consigo beneficios importantes en zonas rurales que carecen de un sistema de abastecimiento de agua potable, ya sea por cuestiones políticas, sociales, económicas o ambientales. Su principal desventaja es que depende de la temporada de lluvias y de la intensidad con que estas se presenten. En Garbanzal, la mayor parte de los Sistemas de Aprovechamiento de Aguas Lluvias están comprendidos por cubiertas metálicas y tanques de concreto. Sin embargo, también se encontró en menor proporción cubiertas de materiales arcillosos o de concreto, y tanques de plástico. El uso de componentes como el recolector de primeras aguas, mallas en los bajantes y sistemas de filtración es prácticamente inexistente. Las prácticas de limpieza, control y mantenimiento de los sistemas son en muchos casos deficientes.

De acuerdo a los resultados del análisis fisicoquímico de la calidad de agua, se observó que, en la mayoría de las viviendas el pH se encuentra en un valor adecuado para consumo que no causaría efectos negativos en los habitantes. Es necesario revisar el caso de una vivienda donde los niveles de pH estuvieron por debajo de 5, para buscar alternativas para corregir esta situación. En cuanto a la turbidez, la mayor parte del agua de las viviendas (75%) supera el nivel propuesto por la Resolución 2115 de 2007 de 2 NTU. En la conductividad, las muestras de agua estudiadas en su

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

totalidad (14 viviendas) cumplieron con los requisitos estipulados por la Resolución 2115 de 2007 de no superar una conductividad de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el agua captada. En cuanto a los resultados del análisis del parámetro microbiológico se obtuvo que las muestras de agua de 12 de las 14 viviendas estudiadas no cumplieron con los estándares de 0 UFC/100 mL, establecidos por la Resolución 2115 de 2007.

Debido a la falta de muestras para analizar, pues solo se pudieron estudiar 12 viviendas, los análisis estadísticos se vieron reducidos y por ende, las conclusiones sobre la relación entre características de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, prácticas y calidad de agua carecen de un análisis integral que involucre los materiales de los SALL y sus prácticas de operación y mantenimiento conjuntamente y se comparen con respecto a la cantidad de microorganismos de E. coli.

### **6. Recomendaciones**

Con el fin de mejorar el desempeño y la calidad del agua recolectada de los sistemas de recolección de aguas lluvias en la vereda Garbanzal, se recomienda para reducir los riesgos a la salud asociados al consumo de agua lluvia implementar componentes como bajantes, mallas en las canaletas, desviador de primeras aguas y procesos de tratamiento de agua. Esto contribuiría a mejorar las características fisicoquímicas perjudiciales y los microorganismos. Además, es importante mejorarlas prácticas de limpieza y mantenimiento, recordando que “Un buen sistema (haciendo referencia a lo técnico) va de la mano con buenas prácticas”.

**Referencias Bibliográficas**

- Abdulla, F. A., & Al-Shareef, A. W. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243(1–3), 195–207. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.013>
- Adeniyi, I. F., & Olabanji, I. O. (2005). The physico-chemical and bacteriological quality of rainwater collected over different roofing materials in Ile-Ife, southwestern Nigeria. *Chemistry and Ecology*, 21(3), 149–166. <https://doi.org/10.1080/02757540500117318>
- Amin, M. T., & Han, M. (n.d.). Probable sources of microbial contamination of stored rainwater and its remediation.
- Anaya, M. (2011). Captación del agua de lluvia. Solución caída del cielo. 132.
- Bae, S., Maestre, J., Kinney, K., & Kirisits, M. (2019). An examination of the microbial community and occurrence of potential human pathogens in rainwater harvested from different roofing materials. *Water Research*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.029>
- Ballén, J. A. S., García, M. Á. G., & Mosquera, R. O. O. (2006). HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, BRASIL. Director.
- Basan Nickisch, M. (2010). Abastecimiento con agua de lluvia para consumo humano en ambientes rurales. III Congreso Internacional Sobre Gestión y Tratamiento Integral Del Agua, 1–12. [abastecimiento\\_con\\_agua\\_de\\_lluvia\\_para\\_consumo\\_h.pdf](#)
- Basán Nickisch, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Tejerina Díaz, F., & Jordan, P. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. *Aqua-LAC*, 10, 1–26.

## ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

- Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, Wkh, R. Q., ... ح, فاطمی (2015). Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia. In Syria Studies (Vol. 7, Issue 1).
- Briceño, C. B., & 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.
- Campisano, A., & Modica, C. (2014). Selecting time scale resolution to evaluate water saving and retention potential of rainwater harvesting tanks. *Procedia Engineering*, 70(August), 218–227.
- Chino, M., Velarde, E., & Espinoza, J. (2016). Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la Comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 18(3), 365–373.
- Cochran, J., & Ray, I. (2009). Equity Reexamined: A Study of Community-Based Rainwater Harvesting in Rajasthan, India. *World Development*, 37(2), 435–444. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2008.03.002>
- DANE, D. A. N. de E. (2014). Colombia Tercer Censo Nacional Agropecuario-2014.
- Dao, A. D., Nguyen, D. C., & Han, M. Y. (2017). Design and operation of a rainwater for drinking (RFD) project in a rural area: Case study at cukhe elementary school, Vietnam. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 7(4), 651–658.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

- Dardati, E. (2021). La gestión hídrica en Australia e Israel: dos modelos, un solo fin. Puntos de Referencia. Economía y Políticas Públicas (CEP), 587, 1–22.
- Duan, C., Attwater, R., & Min, L. U. O. (2008). Introduction to rainwater management in Australia and suggestions for China' s water problems \*. Journal of Chongqing University (English Edition), 7(1), 1–8.
- Duarte Flórez, L. J. (2019). Optimización De La Cobertura Y Abastecimiento Del Servicio Público De Agua.
- Estupiñán, J., & Zapata, O. (2010). Maestría en Ingeniería Civil Trabajo de Grado Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá Presentado por: Jorge Luis Estupiñán Perdomo Héctor Ovidi. In Pontificia Universidad Javeriana.
- FAO. (2013). Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia. In Santiago de Chile.
- García, J. (2012). Ecobarrio De La Cd. De México. Cdmx, 115.
- Garzon, Z. M. R., Vega, D. A. P., & Polonia, M. A. C. (2018). DISEÑO DE SISTEMA PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA Y AHORRO DE AGUA POTABLE EN EL COLEGIO LA NUEVA ESPERANZA DEL MUNICIPIO DE LA CALERA – CUNDINAMARCA. 1–26.
- Guerrera, L. P. R. (2019). METODOLOGÍA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS LLUVIAS Y GRISES EN EDIFICACIONES. 2, 1– 13.
- Hidalgo Reategui, M. D., & Trigozo Lozano, L. Á. (2020). Diseño de un sistema colector con filtro de carbón activado para la potabilización del agua de lluvia en viviendas, Tarapoto 2020. Universidad César Vallejo.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

- Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., Shaffer, P., Wallingford, H. R., & Wallingford, H. R. (2007). The SuDS manual - 1o EDITION.
- Leos, L. (2011). Estudio del efecto de la modificación superficial de cargas nanométricas sobre las propiedades físico-mecánicas y estabilidad térmica de nanocompuestos de PVC entrecruzados [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones en Química Aplicada].
- Ministerio del Medio Ambiente, V. y D. T. (2007). MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL RESOLUCIÓN NÚMERO 2115.
- Mitchell, V. G., McCarthy, D. T., Deletic, A., & Fletcher, T. D. (2008). Urban stormwater harvesting - sensitivity of a storage behaviour model. *Environmental Modelling and Software*, 23(6), 782–793. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.09.006>
- Murillo, G., & Ana, L. (2008). Caracterización físico-química y bacteriológica del agua de consumo de las comunidades de Jicarito y San Antonio de Caracterización físico-química y bacteriológica del agua de consumo de las comunidades de Jicarito y San Antonio de Oriente, Honduras.
- Ñontol, L., & Saldaña, K. (2020). Facultad de Ingeniería Facultad de Ingeniería. In Universidad Privada del Norte.
- Opare, S. (2012). Rainwater harvesting: An option for sustainable rural water supply in Ghana. *GeoJournal*, 77(5), 695–705.
- Palacio Castañeda, 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.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

- Palacio, N. (2010). Rainwater system proposal as an alternative to save drinking water in the educational institution María Auxiliadora from Caldas, Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 2, 25–40.
- Palonegro, A. (2018). Palonegro SKBG - BUCARAMANGA. Aerocivil.
- Prieto Jiménez, D. L. (2021). Propuesta de herramienta de selección de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para asentamientos rurales andinos, considerando criterios técnicos, sociales y económicos. 3(March), 6.
- Quiñones, L. (2016). Características Fisicoquímicas y Microbiológicas del Agua Superficial del Bosque de Chinchiquilla, Nueva Libertad, Chirinos, Cajamarca. *Revista Científica Pakamuros*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v4i1.39>
- Ramírez, H., & Ospina, O. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 125–137. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.812>
- Reyes, M., & Rubio, J. (2014). Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. Universidad Católica de Colombia.
- Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. The University of Arizona - College of Agriculture and Life Sciences - Cooperative Extension, March, 1–5. <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Rojas, L. (2020). Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua Lluvias en Actividades Industriales. 2507(February), 1–9.
- Rueda-Ardilla, J. A., Arbeláez-Molina, A. D., & Bernal-Suárez, D. P. (2019). Sistema de aprovechamiento de agua lluvia para una vivienda con características sostenibles en la ciudad de Buenaventura. 1–15.

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

[https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/5711/SISTEMA DE APROVECHAMIENTO sequence=1&isAllowed=y](https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/5711/SISTEMA_DE_APROVECHAMIENTO_sequence=1&isAllowed=y)

Ruiz, Z., Pena, D., & Cardoso, M. (2018). DISEÑO DE SISTEMA PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA Y AHORRO DE AGUA POTABLE EN EL COLEGIO LA NUEVA ESPERANZA DEL MUNICIPIO DE LA CALERA – CUNDINAMARCA. Universidad La Gran Colombia.

Samsudin, C. M. (2020). SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO EN UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA RURAL DE GIRARDOT CUNDINAMARCA. *Konstruksi Pemberitaan Stigma Anti-China Pada Kasus Covid-19* Di *Kompas.Com*, 68(1), 1–12.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.07.001><https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.12.003><http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.024>

Susanti, H. D., Arfamaini, R., Sylvia, M., Vianne, A., D, Y. H., D, H. L., Muslimah, M. muslimah, Saletti-cuesta, L., Abraham, C., Sheeran, P., Adiyoso, W., Wilopo, W., Brossard, D., Wood, W., Cialdini, R., Groves, R. M., Chan, D. K. C., Zhang, C. Q., Josefsson, K. W., ... Aryanta, I. R. (2017). SISTEMA ALTERNATIVO DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, PARA UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN EL BARRIO LA VICTORIA DE LA LOCALIDAD DE SAN CRISTOBAL. *Jurnal Keperawatan. Universitas Muhammadiyah Malang*, 4(1), 724–732.  
<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl20203177951><http://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0887-9><http://dx.doi.org/10.1080/13669877.2020.1758193><http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article>

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

- Torres, A., Méndez Fajardo, S., López Kleine, L., Marín, V., González, J. A., Suárez, J. C., Pinzón, J. D., & Ruiz, A. (2011). Evaluación preliminar de la calidad de la esorrentía pluvial sobre tejados para su posible aprovechamiento en zonas periurbanas de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14(1), 127–135.  
<https://doi.org/10.31910/rudca.v14.n1.2011.765>
- UNATSABAR. (2004). *Guía De Diseño Para Captación Del Agua De Lluvia*.
- USEPA. (2004). *National Recommended Water Quality Criteria. Applications of Environmental Chemistry*. <https://doi.org/10.1201/9781420032963.axb>
- Villanueva, M. M. Á., & Avila, R. J. D. (2019). Análisis de calidad del agua (Turbiedad y Color) de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de agua lluvia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Wang, P., Zhang, D., Qiu, R., Wu, J., & Wan, Y. (2013). Super-hydrophobic film prepared on zinc and its effect on corrosion in simulated marine atmosphere. *Corrosion Science*, 69, 23–30.  
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.10.025>
- WHO, & Unicef. (2012). *Rapid assessment of drinking-water quality: a handbook for implementation*. *Foro Mundial Del Agua: Acciones Locales Para Un ...*, 148.  
<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/e/foro4/19marzo/Way/Rapid.pdf%5Cnhttps://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/12381>

# ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

## Apéndices

### Apéndice A. Formato de encuesta




Presentación del encuestador

Buenos días/tardes, somos estudiantes de la Universidad Industrial de Santander, estamos realizando una encuesta sobre sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en la vereda Garbanzal del municipio Los Santos. El objetivo de esta encuesta es conocer la demanda de agua y los usos que se le da al agua en esta vereda y obtener información sobre los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias que tiene la gente en esta zona y si hay posibilidades de proponer mejoras a estos sistemas.

Esta encuesta hace parte del proyecto de investigación titulado "Propuesta de herramienta de selección de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para asentamientos rurales andinos, considerando criterios técnicos, sociales y económicos", que hace parte del proyecto titulado "Estudio integral del agua en la Mesa de Los Santos" que se encuentra en desarrollo por parte de la Universidad Industrial de Santander. Su colaboración permitirá mejorar el conocimiento acerca de la recolección de agua lluvia, además, los resultados de la investigación serán divulgados a la comunidad a través de reuniones y material como folletos o cartillas explicativos. Si tiene alguna duda sobre el proyecto puede hacer preguntas en cualquier momento durante su participación.

La participación en la encuesta es voluntaria, si alguna de las preguntas durante la entrevista le parece incómoda, puede hacérselo saber al investigador y no responderla. La información suministrada por usted a los encargados de este estudio será utilizada únicamente para alcanzar los objetivos de la investigación y será exclusivamente consultada por profesores y estudiantes asociados al proyecto. Los resultados podrán ser publicados en revistas de carácter académico o ser presentados en reuniones, ponencias, congresos y demás escenarios de divulgación de conocimiento, estos resultados no serán presentados de con la información individual que responda cada persona, sino en conjunto con información de toda la vereda. En todos estos resultados, su identidad estará protegida de acuerdo con lo que usted exprese en el consentimiento informado. La encuesta tomará un tiempo estimado de 30 minutos. Desde ya le agradecemos su participación.

**1. Perfil del encuestado**

**INFORMACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA (jefe del hogar)**

1.1. Nombre: \_\_\_\_\_

1.2. Sexo:  F  M

1.3. Edad: \_\_\_\_\_

1.4. Estado civil:  a. Soltero  b. Casado  c. Unión libre  d. Separado  e. Divorciado  f. Viudo

1.5. ¿Cuánto tiempo seguido lleva viviendo en esta casa?

a. Desde que nació

b. Un año o menos, enuncie número de meses: \_\_\_\_\_

c. Más de un año, enuncie número de años: \_\_\_\_\_

1.6. Ocupación actual

a. Agricultor  b. Jornalero  c. Comerciante  d. Empleado público  e. Jubilado  f. Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

1.7. Nivel de educación:

a. Primaria incompleta, ¿cuántos años? \_\_\_\_\_

b. Básica primaria

c. Secundaria incompleta, ¿cuántos años? \_\_\_\_\_

d. Básica secundaria (de 6° a 9°)

e. Educación media (10° y 11°)

f. Técnico

g. Tecnólogo

h. Profesional

i. Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

1.8. ¿Usted hace parte de la junta de acción comunal?  No  Si

1.9. ¿Asiste a reuniones comunitarias?  No  Si

1.10. ¿Algún miembro de su familia hace parte de la junta de acción comunal?  No  Si, ¿Quién? \_\_\_\_\_

1.11. ¿Algún miembro de su familia asiste a reuniones comunitarias?  No  Si, ¿Quién? \_\_\_\_\_

1.12. ¿Pertenece a algún tipo de organización comunal?

No  Si, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

1.13. ¿Algún miembro de su familia pertenece a algún tipo de organización comunal?

No  Si, ¿Quién? \_\_\_\_\_

1.14. ¿A qué organización pertenece su familiar? \_\_\_\_\_

1.15. **INFORMACIÓN SOCIO – ECONÓMICA (personas que habitan en la vivienda)**

No.	Nombre y apellido (opcional)	Parentesco con el Jefe de Hogar	Edad	Estado civil	Ocupación	Nivel educativo
1						
2						
3						
4						

# ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL



5						
6						
7						
8						

## 2. Información de vivienda

2.1. La finca que usted habita es:

a. Propia  b. Arrendada  c. Aparcería  d. Prestada  e. Familiar  f. Otro, ¿cuál? \_\_\_\_\_

2.2. ¿Cuál es el área total de este de la finca? \_\_\_\_\_  No sabe, no responde

2.3. Tipo de vivienda (Observación)

a. Casa  b. Habitación en casa  c. Mediagua, mejora, rancho o choza  d. Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

2.4. ¿Cuántos pisos o niveles tiene la vivienda? \_\_\_\_\_

2.5. ¿La vivienda actualmente cuenta con canaletas y bajantes (para el agua que escurre del techo)?  Sí  No

(si la respuesta es No continúe con la pregunta 2.11, de lo contrario continúe con la 2.6)

2.6. Llene la siguiente tabla sobre las canaletas y bajantes.

Poner diámetro donde aplique, si no aplica o es un canal abierto llenar las casillas de alto y ancho

	Diámetro	Alto	Ancho	Longitud	¿De qué material es el accesorio?	¿En qué estado considera que se encuentra?
Canaletas					<input type="checkbox"/> a. Acero galvanizado <input type="checkbox"/> b. Acero inoxidable <input type="checkbox"/> c. Aluminio <input type="checkbox"/> d. Plástico <input type="checkbox"/> e. Otro, ¿Cuál? _____ <input type="checkbox"/> f. No sabe, no responde	<input type="checkbox"/> 1. Pésimo <input type="checkbox"/> 2. Malo <input type="checkbox"/> 3. Regular <input type="checkbox"/> 4. Bueno <input type="checkbox"/> 5. Nuevo <input type="checkbox"/> 0. No sabe, no responde
Bajantes					<input type="checkbox"/> a. Acero galvanizado <input type="checkbox"/> b. Acero inoxidable <input type="checkbox"/> c. Aluminio <input type="checkbox"/> d. Plástico	<input type="checkbox"/> 1. Pésimo <input type="checkbox"/> 2. Malo <input type="checkbox"/> 3. Regular <input type="checkbox"/> 4. Bueno



					<input type="checkbox"/> e. Otro, ¿Cuál? _____ <input type="checkbox"/> f. No sabe, no responde	<input type="checkbox"/> 5. Nuevo <input type="checkbox"/> 0. No sabe, no responde
--	--	--	--	--	---	---

<sup>1</sup> 1. Pésimo, es necesario cambiarlo; 2. Malo, roto en algunas partes; 3. Regular, algo corroído; 4. Bueno, quizá necesite limpieza; 5. Nuevo

2.7. ¿Hay alguna malla para evitar que entren sólidos en el sistema?  Sí  No

2.8. Si la respuesta fue sí, ¿en qué componentes tiene la malla? (Puede marcar varias opciones)

- Canaletas
- Bajantes
- Tanques
- Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

2.9. ¿Cuántas veces al año realiza labores de mantenimiento a las canaletas y bajantes? \_\_\_\_\_

2.10. ¿En qué consisten las labores de mantenimiento que realiza a las canaletas? Describa brevemente

2.11. ¿En qué consisten las labores de mantenimiento que realiza a los bajantes? Describa brevemente

2.12. ¿Cuál es el material del techo de su vivienda?

a. Teja de barro  b. Paja  c. Lámina de zinc  d. Teja de cemento  e. Otro: \_\_\_\_\_  
 No sabe, no responde

2.13. ¿Cuál es el área del techo de la vivienda? \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  No sabe, no responde

2.14. (Observación) ¿Cuántas aguas (pendientes) tiene el techo? \_\_\_\_\_

2.15. ¿Cuántas veces al año realiza labores de mantenimiento/limpieza en el techo? \_\_\_\_\_

(si la respuesta es que no realiza mantenimiento seguir a la pregunta 2.16, de lo contrario continuar a la 2.15)

2.16. ¿En qué consiste las labores de mantenimiento que realiza? Describa brevemente

2.17. ¿Utiliza algún tipo de impermeabilizante en el techo de la vivienda?  Sí  No

2.18. ¿Con qué servicios de los siguientes cuenta su vivienda?

# ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL



- a. Energía eléctrica  b. Acueducto  c. Alcantarillado  d. Gas  e. Teléfono  f. Internet  g. Ninguno

2.19. Si cuenta con energía eléctrica, ¿el suministro es constante durante todo el año?  Sí  No

2.20. Si la respuesta es no, ¿cuántos días y horas a la semana tiene este servicio? \_\_\_\_\_ días y \_\_\_\_\_ horas

### 3. Información sobre usos y demanda de agua

3.1. Le haré unas preguntas sobre las fuentes de abastecimiento que tiene disponibles

Fuente	¿Cuáles fuentes utiliza en su vivienda? Marque con X	¿Cómo tiene acceso a estas fuentes? <sup>1</sup>	En las fuentes con conexión domiciliaria ¿Tiene medidor? Sí o No	En las fuentes con acarreo, ¿Cuánto tiempo para traer el agua? minutos	En las fuentes con acarreo, ¿A qué distancia de la vivienda está la fuente? Metros	En las fuentes con acarreo, ¿Quién es el encargado de traer el agua?	¿La fuente está disponible todo el año? Sí o NO	¿Durante qué meses del año no está disponible esta fuente de agua? <sup>2</sup>	Si acarrea agua ¿Cuántos litros de agua acarrea en cada viaje?	¿Realiza algún tratamiento al agua antes de utilizarla?
Jagüey										
Recolección de aguas lluvias										
Agua subterránea (pozos o aljibes)										
Acueducto comunitario (el superficial antiguo)										
Carro tanque										
Otro, ¿cuál?										

<sup>1</sup> a) conexión de agua dentro de la casa; b) acarreo; c) otro y ¿cuál?; <sup>2</sup> Poner los meses en formato de número; <sup>3</sup> a) Sedimentación, b) Filtración, c) Uso de cloro, d) Hervir, e) Otro ¿Cuál?, f) No sabe, g) Ninguno

3.2. ¿Compra agua en botella/bolsa?  Sí  No

(Si la respuesta es Sí continúe con la pregunta 3.3, si la respuesta es No pase a la pregunta 3.7)



3.3. Si la respuesta anterior fue sí, ¿Con qué frecuencia compran agua en botella/bolsa para su hogar? (Llenar solo una de las opciones dependiendo la frecuencia)

\_\_\_\_\_ veces al día o \_\_\_\_\_ veces a la semana o \_\_\_\_\_ veces al mes o \_\_\_\_\_ veces al año

3.4. ¿Cuántos litros de agua compra cada vez que necesita? \_\_\_\_\_

3.5. ¿Cuánto cuesta el agua que compra? \_\_\_\_\_

3.6. ¿Qué uso le da al agua en botella/bolsa que compra?  Beber  Cocinar  Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

3.7. Si cuenta con acueducto comunitario (pregunta 3.1) ¿Cuánto paga anualmente por este servicio? \_\_\_\_\_

3.8. Si cuenta con agua del pozo (pregunta 3.1) ¿Cuánto paga anualmente por este servicio? \_\_\_\_\_

3.9. ¿Ha habido algún momento en el último mes en el que en su hogar no hayan contado con agua suficiente cuando la necesitaban?

Sí  No

(Si la respuesta es No pase a la pregunta 3.12, si la respuesta es Sí continúe con la 3.10)

3.10. ¿Cuántos días estuvo sin suministro de agua? \_\_\_\_\_

3.11. ¿Para qué actividades le ha faltado el suministro de agua en esos días?

3.12. ¿En su vivienda tiene jardín?  No  Sí

3.13. Si tiene jardín, ¿con qué frecuencia lo riega en épocas de sequía? \_\_\_\_\_ al día o \_\_\_\_\_ a la semana

3.14. ¿Tiene cultivos alrededor de su vivienda o en la finca en donde vive?  No  Sí

(Si la respuesta es sí llene la tabla de la pregunta 3.16, si la respuesta es no pase a la pregunta 3.17)

3.15. Responda las siguientes preguntas acerca de los cultivos que tiene.

¿Qué cultivos tiene?	¿Qué área dispone para cada cultivo? (m <sup>2</sup> )	¿con qué fines tiene este cultivo? <sup>1</sup>	¿Qué fuente de agua utiliza para cada cultivo?	¿En qué meses riega cada cultivo? <sup>2</sup>	¿Con qué frecuencia riega los cultivos en los meses en que riega?	¿Cuánto tiempo dura regando los cultivos?	¿Qué tipo de riego utiliza? <sup>3</sup>
					_____ veces al día	_____ mins	
					_____ veces a la semana	_____ horas	
					_____ veces al día	_____ mins	
					_____ veces a la semana	_____ horas	
					_____ veces al día	_____ mins	
					_____ veces a la semana	_____ horas	
					_____ veces al día	_____ mins	
					_____ veces a la semana	_____ horas	

# ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL



					_____ veces al día	_____ mins
					_____ veces a la semana	_____ horas
					_____ veces al día	_____ mins
					_____ veces a la semana	_____ horas

<sup>1</sup> Consumo propio o 2 venta; <sup>2</sup> Escriba los meses en formato de numero; <sup>3</sup> 1 Superficie, 2 aspersión, 3 goteo, 4 subterráneo u 5 otro, anote cual

3.16. ¿Tiene animales de crianza en su vivienda?  No  Sí

(Si la respuesta es sí llene la tabla de la pregunta 3.18, si la respuesta es no pase a la pregunta 3.19)

3.17. Llene la siguiente tabla sobre los animales de crianza que tiene

Tipo	¿Cuáles animales tiene en su vivienda? Marque con X	Cantidad	¿Qué área dispone para cada grupo de animales? <sup>a</sup> (m <sup>2</sup> )	¿Con qué fines tiene estos animales? <sup>b</sup>	¿Qué fuente de agua utiliza darle de beber los animales?	¿Cuántas veces les da de beber al día?	¿Qué cantidad de agua estima que utiliza cada vez que les da de beber? (litros)
Aves (gallinas, patos, etc.)	X						
Bovinos (vacas)							
Equinos (caballos)							
Porcinos (cerdos)							
Ovinos (ovejas)							
Caprinos (cabras)							
Camélidos (Alpacas)							
Otro:							

<sup>a</sup> Solo si los tiene en un área cercada; <sup>b</sup> 1 Consumo propio o 2 venta;

3.18. ¿En qué meses considera usted que es la temporada de sequía del año? \_\_\_\_\_

3.19. ¿En qué meses considera usted que es la temporada de invierno del año? \_\_\_\_\_

3.20. ¿Con qué frecuencia cree usted que llueve en la vereda en temporada de invierno?

a. Todos los días de la semana  b. 2 o 3 veces a la semana  c. Una vez a la semana

d. Cada 15 días  e. Más de 15 días  f. Otra, especifique: \_\_\_\_\_

3.21. ¿Cuenta su hogar con un tanque donde almacene agua que no sea proveniente de la lluvia?  Sí  No

(si la respuesta es sí, continúe con la pregunta 3.23, de lo contrario pase a la sección 4)



3.22. Liste de cada depósito que tiene (Si alguno de los depósitos es llenado con agua lluvia no preguntar más, hay una sección específica para depósitos de agua lluvia)

No	¿Qué fuente de agua utiliza para llenar este depósito?	¿Qué uso le da a esta agua?	¿Cuántos litros puede almacenar este depósito? <sup>1</sup>	¿De qué material es este depósito?	¿Cuántas veces al año realiza mantenimiento/limpieza a este depósito? <sup>2</sup>
1					
2					
3					
4					
5					

<sup>1</sup> En litros; <sup>2</sup> 0: no realiza limpieza

3.23. ¿En qué consiste las labores de mantenimiento que realiza? Describa brevemente

## 4. Información sobre la percepción relacionada a aguas lluvias

4.1. ¿Considera que en la vereda los habitantes sufren de escasez de agua?  Sí  No

(si la respuesta es sí, continúe con la pregunta 4.2, si la respuesta es No, pase a la pregunta 4.7)

4.2. ¿Cómo le afecta esta problemática de escasez? \_\_\_\_\_

4.3. ¿La escasez de agua le impide realizar alguna actividad?  Sí  No

4.4. ¿Qué actividad no puede realizar? \_\_\_\_\_

4.5. ¿Cree que la recolección de agua lluvia es una buena alternativa de solución para el problema de escasez de agua?  Sí  No

4.6. ¿Por qué?

4.7. En una escala del 1 al 5, qué tan limpia considera que es el agua lluvia, donde 1 es un agua muy sucia y 5 es un agua muy limpia

1(Muy sucia)  2(Sucia)  3(Medianamente limpia)  4(Limpia)  5(Muy limpia)

4.8. ¿Qué posibles riesgos cree que conlleva la utilización de aguas lluvias?

- a. Enfermedades estomacales (asociadas a beberla)
- b. Enfermedades de la piel (irritación por contacto directo con la piel)

# ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL



- c. Enfermedades de la piel (irritación por contacto con ropa lavada con agua lluvia)
- d. Daño de prendas de ropa por lavado usando agua lluvia
- e. Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

4.9. En una escala del 1 al 5 ¿Qué tan útil percibe el uso de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias?

- 1(Inútil)    2(Poco útil)    3(Moderadamente útil)    4(Útil)    5(Muy útil)

4.10. ¿En una escala del 1 al 5, qué tan fácil considera que es utilizar un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias?

- 1(Muy difícil)    2(Difícil)    3(Normal)    4(Fácil)    5(Muy fácil)

4.11. ¿Sabe qué componentes tiene un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias?  No    Sí, explique:

---



---

4.12. ¿Sabe cómo funciona un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias?  No    Sí, explique:

---



---

4.13. ¿Sabe cómo se instala un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias?  No    Sí, explique:

---



---

4.14. ¿Sabe qué actividades de mantenimiento se debe realizar a los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias?  No    Sí, explique:

---



---

## 5. Información sobre sistemas de aguas lluvias existentes *(preguntar solo si recolectan agua lluvia)*

5.1. ¿En su vivienda recolecta agua lluvia en un reservorio o lago artificial o jagüey?  Sí    No

*(Si la respuesta es No, pase a la pregunta 5.6 de lo contrario continúe con la pregunta 5.2)*

5.2. ¿Cuántos jagüeyes tiene en su predio? \_\_\_\_\_



5.3. ¿Cuáles son las dimensiones que estima que tiene el jagüey?

Diámetro: \_\_\_\_\_ m

Profundidad: \_\_\_\_\_ m

5.4. ¿el jagüey cuenta con algún componente adicional?  No    Sí,

5.5. ¿Cuáles componentes adicionales tiene el jagüey?

- a. Bomba
- b. Polisombra negra encima
- c. Manguera o tubería
- d. Otro, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

5.6. ¿Cuánto considera que le costó construir estos jagüeyes? \_\_\_\_\_

*(Incluidos en el costo los días de trabajo, bomba, manguera que lleva el agua, polisombra superior)*

5.7. Respecto a la cantidad de agua lluvia que recoge en los jagüeyes, usted considera que:

- a. Está satisfecho con la cantidad
- b. Está satisfecho con la cantidad, pero no estaría mal si recogiera más
- c. No está satisfecho con la cantidad, realmente necesita recolectar más agua

5.8. ¿Qué uso le da al agua lluvia recolectada en el jagüey de almacenamiento? *(Marque con una X para qué usos utiliza agua del tanque y para qué usos usa agua del jagüey)*

Jagüey	Uso	Jagüey	Uso
	Beber		Hidratación de animales
	Cocinar		Limpieza del hogar
	Lavaplatos		Lavado de vehículo
	Ducha		Descarga de inodoros
	Lavamanos		Riego de cultivos
	Lavado de ropa		Limpieza sitios de estancia de animales
	Lavadero		Otro, ¿Cuál?:

5.9. ¿En su vivienda cuenta con tanques para la recolección de aguas lluvias?  Sí    No

# ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL



¿Cuántos tanques para recoger aguas lluvias tiene?

5.10. Llene la siguiente tabla sobre el o los tanques para recolección de agua lluvia que tiene

No.	¿Cuántos litros almacena este tanque?	¿De qué material es este tanque?	¿Cuántas veces realiza limpieza / mantenimiento al año?	¿En qué estado considera que está el tanque? <sup>1</sup>	A parte del tanque, ¿cuenta con algún otro componente o accesorio? <sup>2</sup>	¿Cuánto estima que le costó este sistema? <sup>3</sup>	¿qué área tiene el techo donde recolecta agua para este tanque?	¿De qué material es el techo donde recolecta agua para este tanque? <sup>4</sup>	¿Hace cuánto tiene este sistema?
1									____ Años o ____ Meses
2									____ Años o ____ Meses
3									____ Años o ____ Meses
4									____ Años o ____ Meses
5									____ Años o ____ Meses
6									____ Años o ____ Meses
7									____ Años o ____ Meses
8									____ Años o ____ Meses

<sup>1</sup> 1. Pésimo, es necesario cambiarlo; 2. Malo, roto en algunas partes; 3. Regular, algo corroído; 4. Bueno, quizá necesite limpieza; 5. Nuevo;

<sup>2</sup> tubería que transporte el agua dentro de la vivienda, llave para extraer agua, malla en la canaleta, una bomba, filtro, etc.; <sup>3</sup> Incluyendo costo de días de trabajo, mangueras, bomba, canaletas, bajantes, malla, etc. <sup>4</sup> Por ejemplo, teja de barro, paja, lámina de zinc, teja de cemento

5.11. ¿En qué consisten las labores de limpieza/mantenimiento que realiza? Describa brevemente

5.12. Respecto a la cantidad de agua lluvia que recoge en su sistema, usted considera que:

- a. Está satisfecho con la cantidad
- b. Está satisfecho con la cantidad, pero no estaría mal si recogiera más

- c. No está satisfecho con la cantidad, realmente necesita recolectar más agua

5.13. ¿Qué uso le da al agua lluvia recolectada en el tanque de almacenamiento? (Marque con una X para qué usos utiliza agua del tanque y para qué usos usa agua del jagüey)

Tanque	Uso	Tanque	Uso
	Beber		Hidratación de animales
	Cocinar		Limpieza del hogar
	Lavaplatos		Lavado de vehículo
	Ducha		Descarga de inodoros
	Lavamanos		Riego de cultivos
	Lavado de ropa		Limpieza sitios de estancia de animales
	Lavadero		Otro, ¿Cuál?:

5.14. ¿Tiene facilidad para comprar hipoclorito de sodio (Cloro) en su entorno?  Sí  No

5.15. ¿Qué beneficios le trajo a usted y a su familia la instalación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias?

---



---

# ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL



## 6. Información sobre sistemas de agua lluvia *(preguntar solo si NO recolectan agua lluvia)*

- 6.1. ¿Dispone de área suficiente en donde reside para poner un tanque y/o un sistema de tratamiento para agua lluvia?  Sí  No
- 6.2. ¿Tiene facilidad para comprar hipoclorito de sodio (Cloro) en su entorno?  Sí  No
- 6.3. ¿Estaría dispuesto a utilizar agua lluvia en su hogar?  Sí  No
- 6.4. ¿Estaría interesado en implementar un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en su vivienda?  Sí  No

(Si la respuesta es Sí siga con la pregunta 6.5, Si la respuesta es No, pase a la pregunta 6.8)

### 6.5. Si la respuesta es sí, ¿Por qué?

- a. Ahorro de dinero en compra de agua
- b. Es bueno para el medio ambiente
- c. Tengo mayor independencia
- d. Aumenta la cantidad de agua disponible
- e. No debo caminar para conseguirla
- Otros: \_\_\_\_\_

### 6.6. Si la respuesta es sí, ¿Qué uso le daría al agua lluvia recolectada? *(Marque con una X las opciones que apliquen)*

Marque x	USO	Marque x	USO
<input type="checkbox"/>	Beber	<input type="checkbox"/>	Hidratación de animales
<input type="checkbox"/>	Cocinar	<input type="checkbox"/>	Limpieza del hogar
<input type="checkbox"/>	Lavaplatos	<input type="checkbox"/>	Lavado de vehículo
<input type="checkbox"/>	Ducha	<input type="checkbox"/>	Descarga de inodoros
<input type="checkbox"/>	Lavamanos	<input type="checkbox"/>	Riego de cultivos
<input type="checkbox"/>	Lavado de ropa	<input type="checkbox"/>	Limpieza sitios de estancia de animales
<input type="checkbox"/>	Lavadero	<input type="checkbox"/>	Otro, ¿Cuál?: _____

### 6.7. ¿Cuánto dinero invertiría en la construcción de un sistema de recolección de aguas lluvias?

- a. Entre 500.000 y 1.000.000

- b. Entre 1.000.000 y 2.000.000
- c. Entre 2.000.000 y 3.000.000
- d. Entre 3.000.000 y 5.000.000
- e. Más de 5.000.000

### 6.8. Si NO está dispuesto a invertir en la construcción de un sistema de recolección, ¿Por qué?

- a. Costo de inversión alto
- b. No está dispuesto a hacer actividades de mantenimiento y operación
- c. Falta de conocimiento acerca de la instalación, el funcionamiento o el mantenimiento del sistema
- d. Otros: \_\_\_\_\_

### 6.9. Si NO está dispuesto a invertir en la construcción de un sistema de recolección, ¿Qué lo motivaría a instalar un sistema de recolección de agua lluvia?

- a. Préstamos a bajo interés para la instalación
- b. Subsidios económicos del gobierno (valor total de la inversión)
- c. Subsidios económicos del gobierno (valor parcial de la inversión)
- d. Entrega de materiales necesarios para la construcción del sistema
- e. Capacitación acerca de la instalación, funcionamiento y operación del sistema
- f. Políticas o leyes que vuelva obligatoria la instalación de estos sistemas
- g. Otro, ¿Cuál?: \_\_\_\_\_

### 6.10. ¿Qué beneficios cree que podría traerle a usted y a su familia la instalación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias?

La información suministrada por usted es muy importante para nosotros, muchas gracias por su tiempo y disposición de responder esta encuesta!

## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Apéndice B. Evidencia fotográfica de tipologías

#### Tipología 1

Techo = metálico, canaleta = plástico, tanque = arcilloso o de concreto



#### Tipología 2

Techo = metálico, canaleta= metálico, tanque = arcilloso o de concreto



## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Tipología 3

Techo = metálico, canaleta = metálico, tanque = plástico



### Tipología 4

Techo = arcilloso o de concreto, canaleta = metálico, tanque = arcilloso o de concreto



### Tipología 5

Techo = arcilloso o de concreto, canaleta = plástico, tanque = arcilloso o de concreto



## ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

### Tipología 6

Techo = arcilloso o de concreto, canaleta = metálico, tanque = plástico



### Tipología 7

No tienen sistema RWH completo, no tiene ni canaletas, ni bajantes.



ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA VEREDA GARBANZAL

**Apéndice C.** Aspectos físicos de los SALL y caracterización de operación y mantenimiento

**Tabla C1.**  
Aspectos físicos de los SALL y caracterización de operación y mantenimiento

Vivienda	Material de cubierta	Material del tanque	Modalidad de limpieza	Estado del tanque	E. coli
1	Arcillo o Concreto	Concreto	Limpieza media	Estado bueno	3
2	Metálico	Concreto	Limpieza media	Estado regular	89
3	Arcillo o Concreto	Plástico	Limpieza media	Estado bueno	10
4	Metálico	Plástico	Limpieza media	Estado bueno	0
5	Arcillo o Concreto	Concreto	Limpieza ardua	Estado bueno	0
6	Metálico	Concreto	Limpieza ardua	Estado regular	15
7	Metálico	Plástico	Limpieza media	Estado bueno	67
8	Arcillo o Concreto	Concreto	Limpieza media	Estado regular	31
9	Metálico	Concreto	Limpieza media	Estado bueno	9
10	Metálico	Plástico	No realiza	Estado regular	63
11	Metálico	Concreto	Limpieza media	Estado bueno	2
12	Arcillo o Concreto	Concreto	Limpieza media	Estado regular	9