

Análisis del Sistema de Auto – Abastecimiento de Agua Rural de la Vereda Río Sucio Alto en
el Municipio Lebrija, Santander

María Alejandra Aguilar Ballesteros, Lina María Quiñones Argote

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniera Civil

Director

Daniela Cristina Rey Romero

MSc en Desarrollo de Recursos, Aguas y Tierras

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico – mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

Dedico este proyecto de grado a mi abuelo Manuel, que ya no se encuentra al lado mío, pero siempre soñó con estar presente en el momento de mi graduación.

María Alejandra Aguilar Ballesteros

Dedicado a la persona más fuerte que conozco: mi madre.

Lina María Quiñones Argote

Agradecimientos

Gracias a Dios por darme unos padres tan maravillosos que estuvieron presentes incondicionalmente en el transcurso de mi carrera. Gracias a la profesora Daniela, por creer desde un inicio en la propuesta de trabajo y gracias a toda mi familia, que me brindó su apoyo en todo momento.

María Alejandra Aguilar Ballesteros

Agradezco a Dios por darme sabiduría, guiarme y permitir la culminación de mi carrera. Gracias a la mujer más importante en mi vida, mi mamá, porque siempre me ha brindado su apoyo incondicional, por su esfuerzo constante, por ser mi escudo protector en cada momento y por nunca dejar de creer en mí. Gracias a mi pequeña compañera por estar siempre en los buenos y malos momentos, sin esperar algo a cambio. Gracias a la profesora Daniela por su guía durante todo el proceso de este proyecto. Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que influyeron en forma positiva durante todo mi proceso universitario.

Lina María Quiñones Argote

Tabla de Contenido

Introducción	13
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General	16
1.2 Objetivos Específicos	16
2. Marco referencial	17
2.1. Sistemas de autoabastecimiento de agua.....	17
2.2. Métodos de tratamiento del agua	19
2.3. Evaluación de la funcionalidad y sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua	21
2.4. <i>E. coli</i> como indicador de calidad microbiológica del agua	22
3. Zona de estudio	24
4. Metodología	25
4.1. Visitas de campo de reconocimiento.....	25
4.2. Diseño y aplicación de la encuesta multicriterio.....	28
4.3. Análisis de la calidad microbiológica del agua.....	30
4.4. Formulación de la propuesta de mejora	32
5. Análisis de resultados.....	33
5.1. Generalidades del sistema de autoabastecimiento de agua de la vereda Río Sucio Alto	33
5.1.1. Dimensión técnica.....	33
5.1.1.1. Acceso al agua y componentes del sistema de autoabastecimiento.....	33
5.1.1.2. Operación y mantenimiento del sistema.	35
5.1.1.3. Percepción de la comunidad sobre la calidad del agua.	36
5.1.1.4. Almacenamiento y tratamiento del agua en los hogares.	36
5.1.2. Dimensión social	38
5.1.2.1. Capacidad, sitios de captación, disponibilidad y presión del agua.	38
5.1.2.2. Problemas de salud y enfermedades presentadas en la vereda.	39
5.1.3. Dimensión económica.....	40
5.1.3.1. Inversión para construcción, operación y mantenimiento del sistema.....	40

5.1.3.2. Actividades económicas realizadas por los usuarios.....	41
5.1.4. Dimensión ambiental	41
5.1.4.1. Usos múltiples del agua en los hogares.....	41
5.1.4.2. Problemas ambientales y cambios en la calidad del agua, vegetación y fauna desde la implementación del sistema de autoabastecimiento.	42
5.1.4.3. Residuos sólidos y aguas residuales: manejo y destino, y disposición de las heces humanas.	43
5.2. Calidad microbiológica del agua.....	44
5.3. Formulación de la propuesta de mejora	49
6. Conclusiones	53
7. Recomendaciones.....	55
Referencias bibliográficas	57

Lista de Tablas

Tabla 1. Categoría de riesgos para la salud (Valores más probables UFC / 100 ml)..... 23

Tabla 2. Resultados obtenidos (UFC/100 ml)..... 45

Tabla 3. Rango de resultados obtenidos..... 46

Lista de Figuras

Figura 1. Viviendas vereda Río Sucio Alto 24

Figura 2. Zona de estudio Vereda Río Sucio Alto, Lebrija, Santander. Vista satelital..... 26

Figura 3. Recorrido Bucaramanga - Vereda Río Sucio Alto, Lebrija, Santander. Vista satelital
..... 26

Figura 4. Visitas de reconocimiento, vereda Río Sucio Alto..... 27

Figura 5. Aplicación de encuestas, vereda Río Sucio Alto..... 30

Figura 6. Toma de muestras, vereda Río Sucio Alto. 31

Figura 7. Análisis de laboratorio Grupo GPH..... 32

Figura 8. Socialización de resultados con la comunidad. 33

Figura 9. Mapa de resultados del análisis microbiológico por vivienda..... 47

Figura 10. Propuesta de mejora del sistema de autoabastecimiento.. 51

Lista de Apéndices

(Los apéndices están adjuntos en el CD y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS)

Apéndice A. Coordenadas y distancias a la fuente de abastecimiento

Apéndice B. Subdivisión de la zona de estudio (visitas de reconocimiento)

Apéndice C. Diseño de encuesta y cuestionario de preguntas

Apéndice D. Inspección sanitaria del sistema de auto – abastecimiento de agua rural

Apéndice E. Folleto (caso ejemplo D18)

Apéndice F. Representación gráfica de los resultados de la encuesta y el formato de inspección

Apéndice G. Resultados de las siembra

Resumen

Título: Análisis del sistema de auto – abastecimiento de agua rural de la vereda Río Sucio Alto en el municipio Lebrija, Santander*

Autores:

María Alejandra Aguilar Ballesteros**

Lina María Quiñones Argote**

Palabras clave: Sistemas de autoabastecimiento, zonas rurales, derecho al agua, calidad del agua, *Escherichia Coli*.

Descripción:

En Colombia, algunas de las comunidades que viven en áreas rurales remotas, han optado por la implementación de sistemas de autoabastecimiento debido a la dificultad de conectarse a una red de acueducto. En el presente trabajo de investigación se analizó el sistema de autoabastecimiento de agua existente en Río Sucio Alto, una vereda del municipio de Lebrija, Santander. Para ello se aplicó una encuesta que permitió analizar los aspectos técnico, social, económico y ambiental de cada sistema individual. Además, se analizó la calidad microbiológica del agua de cada vivienda de la comunidad determinando la presencia de la bacteria *Escherichia coli*. Finalmente se formuló una propuesta de mejora al sistema, que tiene como principal propósito garantizar el acceso de agua potable para todos los habitantes de la vereda en cuestión. Los resultados indican que el 96% de los hogares poseen sistemas individuales, compuestos por una obra para recoger el agua (50%), una manguera de conducción (93%) y depósitos de almacenamiento (86%), todos con distintas fuentes de captación, que en el 79% de los casos representan un riesgo muy alto para la salud de los consumidores, al no cumplir con los criterios de calidad para agua de consumo de la Organización Mundial de la Salud. El valor promedio obtenido en el análisis de las muestras de agua fue de aproximadamente 650 UFC/100 ml, superando por mucho el valor ideal (0 UFC/100 ml). La propuesta de mejora que se formuló, consiste en realizar una inversión de carácter financiero en la infraestructura del sistema actual y a nivel local, en instruir a la comunidad sobre la importancia de mantener prácticas de higiene adecuadas que conserven la calidad del recurso hídrico. Por último, se propone llevar a cabo los estudios necesarios para determinar la factibilidad del sistema colectivo planteado en ciertas zonas de la vereda.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Daniela Cristina Rey Romero, MSc en Desarrollo de Recursos Aguas y Tierras.

Abstract

Title: Analysis of the rural water self – supply system of the vereda Rio Sucio Alto in the municipality Lebrija, Santander*

Authors:

María Alejandra Aguilar Ballesteros**

Lina María Quiñones Argote**

Keywords: Self – supply systems, rural zones, right to water, water quality, Escherichia Coli.

Description:

In Colombia, some communities living in remote rural areas have opted for the implementation of self-supply systems due to the difficulty to connect to a collective water network. In this research work, the water selfsupply system existent in Río Sucio Alto, a village in the municipality of Lebrija, Santander, was analyzed. For this, a survey was applied that allowed analyzing the technical, social, economic and environmental aspects of each individual system. In addition, the microbiological water quality of each community dwelling was analyzed, determining the presence of Escherichia coli bacteria. Finally, a proposal to improve the system was formulated, whose main purpose is to ensure access to drinking water for all the inhabitants of the village. The results indicate that 96% of households have individual systems, consisting of a work to collect water (50% of the cases analyzed), a conduction hose (93%) and storage tanks (86%), all with different sources of water, which in 79% of the cases represent a very high risk to the health of consumers, as they don't meet the drinking water quality standard of the World Health Organization. The average value obtained in the analysis of the water samples was approximately 650 CFU / 100 ml, far exceeding the ideal value (0 CFU / 100 ml). The improvement proposal that was formulated consists in making a financial investment in the infrastructure of the current system and at the local level, in instructing the community about the importance of maintaining adequate hygiene practices that conserve the quality of the water resource. Finally, it is proposed to carry out the necessary studies to determine the feasibility of the collective system proposed in certain areas of the village.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Daniela Cristina Rey Romero, MSc in Development of Water and Land Resources.

Introducción

El agua es un recurso necesario para la vida y un elemento indispensable para avanzar hacia un desarrollo sostenible; conforma aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra y el acceso al agua potable se reconoce como un derecho fundamental para los seres humanos (Organización de las Naciones Unidas, 2010). Sin embargo, a nivel mundial, 2.1 billones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable y se estima que 4 de cada 10 personas sufren de escasez de este recurso (Organización Mundial de la Salud, 2019). Por otra parte, el consumo de agua contaminada puede transmitir graves enfermedades como diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis (OMS, 2019). Se calcula que, globalmente, la contaminación del agua provoca más de 502000 muertes por diarrea al año y de aquí a 2025 la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua (OMS, 2019).

Ante esta y otras situaciones relacionadas con la contaminación ambiental, que amenazan la calidad de vida de los seres humanos, la Organización de las Naciones Unidas, en el año 2015 aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, planteando 17 objetivos que se proponen cumplir con 169 metas en los próximos 15 años. En lo referente al recurso hídrico se plantea el objetivo 6: “*Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*” (ONU, 2015), dentro del cual se busca que para el año 2030 el acceso al agua potable sea de carácter universal.

Si bien Colombia se ha comprometido con esta agenda, es un hecho que actualmente el derecho humano al agua y al saneamiento no se cumple en innumerables sectores. En el estudio Nacional del Agua (ENA), presentado por el Ministerio de Ambiente y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el año 2018, se indica que 391 municipios en 24 departamentos (entre los cuales se encuentra Santander), son susceptibles a desabastecimiento

en el territorio nacional (IDEAM, 2018). A nivel nacional, se estima que anualmente, el agua de los ríos recibe cerca de 919000 toneladas de materia orgánica no biodegradable, los humedales se ven afectados a causa de la expansión agrícola y ganadera, en la minería se utilizan excesivas cantidades de agua y el cambio climático está agotando este recurso hídrico, haciendo desaparecer numerosas fuentes de agua (World Wildlife Fund Colombia, 2019).

Por otro lado, el derecho al agua potable se ve vulnerado en la mayoría de zonas rurales del país, en donde la provisión de servicios de abastecimiento de agua presenta un notable desequilibrio en lo que concierne a la cobertura rural. De acuerdo con la Gran Encuesta Integrada de Hogares 2017, la cobertura rural está 24.6 puntos porcentuales por debajo de la cobertura urbana, con un 73.2% frente a un 97.8% respectivamente (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2018). Debido a esta situación, las comunidades toman bajo su responsabilidad la prestación de servicios de agua y saneamiento, a través de figuras organizativas como las Juntas de Acción Comunal, que les permiten tomar decisiones autónomamente y gozar de reconocimiento jurídico. Este concepto se conoce como gestión comunitaria de los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento e implica que las mismas comunidades asuman la administración, operación y mantenimiento de los sistemas. No obstante, sin la intervención de los organismos competentes, el nivel de cumplimiento con los requerimientos y exigencia legales es demasiado bajo. Según muchos líderes comunitarios, la normatividad desborda la capacidad de cumplimiento que pueden tener los prestadores comunitarios (Smits *et al.*, 2012).

La Alcaldía Municipal como representante del Estado, es el organismo encargado de velar porque los acueductos veredales cumplan con la normativa vigente y si es necesario, conseguir recursos para su mejoramiento. Desafortunadamente, la intervención de las Alcaldías Municipales en lo concerniente a este aspecto, es nula en la mayoría de zonas rurales de

Colombia. Tal es el nivel de abandono en que se encuentran las zonas rurales por parte de los entes gubernamentales, quienes han actuado con indiferencia y han hecho caso omiso a las necesidades de las comunidades, que, en algunas veredas, como sucede en Río Sucio Alto, ubicada en el municipio de Lebrija-Santander, el derecho al acceso de agua potable se ve vulnerado por la inexistencia de un sistema de abastecimiento de agua adecuado que les garantice una calidad de vida digna.

Según conversaciones sostenidas con miembros de la Acción Comunal de esta vereda, el agua se capta directamente de diversas fuentes, se distribuye a través de mangueras que cada una de las familias conecta a sus viviendas, y la mayoría la consume sin ningún tipo de tratamiento, lo que ha originado enfermedades gastrointestinales (manifestándose en constantes casos de amebiasis). Por otro lado, en épocas de estiaje, el caudal del río disminuye considerablemente, lo que genera escasez de agua comprometiendo el bienestar de la comunidad.

De esta evidente problemática, surge la iniciativa de llevar a cabo el presente trabajo de investigación, cuyos objetivos comprenden el análisis desde el aspecto técnico, social, económico y ambiental del sistema de autoabastecimiento con el que cuenta actualmente la vereda Río Sucio Alto, y el estudio de la calidad microbiológica del agua que consumen en cada hogar, para finalmente proponer mejoras al mismo. Los resultados obtenidos en esta investigación sirven como insumo para posteriormente evaluar la factibilidad de implementar un sistema colectivo de abastecimiento de agua rural que supla la necesidad de la vereda en cuestión.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Analizar el sistema de auto – abastecimiento de agua rural de la vereda Río Sucio Alto en el municipio Lebrija, Santander.

1.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar el sistema de abastecimiento de agua actual desde los aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos.

Analizar la calidad microbiológica del agua de consumo en cada una de las viviendas.

Formular una propuesta de mejoras para el acueducto rural de la vereda.

2. Marco referencial

2.1. Sistemas de autoabastecimiento de agua

El autoabastecimiento se define como el desarrollo o la mejora de los suministros de agua de los hogares, asumiendo el costo en gran parte o totalmente. Este enfoque puede ayudar a complementar los servicios de agua existentes poco confiables o inadecuados para ciertos usos, además de incrementar los niveles de servicio en términos de calidad del agua, cantidad y acceso. Estas mejoras también pueden disminuir la demanda de servicios comunitarios (Smits y Sutton, 2015). Los sistemas de autoabastecimiento de agua se consideran cada vez más como un modelo de prestación de servicios complementario a nivel comunitario, dado su potencial para suplir los vacíos que dejan otras formas de provisión de agua particularmente en áreas donde el agua es distante, poco confiable y costosa (Domínguez, Torres, Restrepo, Paterson y Gowing, 2016).

Este modelo implica que los hogares tomen la iniciativa invirtiendo en la construcción, mejora y mantenimiento de sus propias fuentes de agua, dispositivos de elevación e instalaciones de almacenamiento. Una característica clave del autoabastecimiento es la escala de mejoras que se incrementan en pasos fácilmente replicables para los usuarios, dicha escala aumenta en complejidad y costo, pero también en la facilidad de acceso al agua y en la reducción de los niveles de contaminación (Ministry of Water and Energy, 2012). En general se percibe que los sistemas de autoabastecimiento desempeñan un papel importante en la prestación de servicios de agua a la población rural (Oluwasanya, Smith, y Carter, 2011).

Sistemas de autoabastecimiento como pozos poco profundos y recolección de aguas lluvias son frecuentes en áreas rurales donde la cobertura de suministro de agua comunitaria es baja. En general, los suministros son de baja calidad y las tecnologías son básicas, por lo que es necesario

realizar tratamientos de desinfección posteriores. Cuando los suministros públicos son inadecuados, intermitentes, distantes, o de mala calidad, muchas familias aumentan el servicio con almacenamiento de agua de lluvia o pozos de patio trasero. Si se requiere sustituir el servicio por ser deficiente, esta solución puede evolucionar hacia un modelo de servicio híbrido, entre autoabastecimiento y financiamiento externo (Smits y Sutton, 2012).

Básicamente en las zonas rurales prevalecen tres oportunidades para proporcionar agua potable: La recolección de agua lluvia, el uso pozos perforados con un tratamiento adicional y la conexión a un sistema de agua corriente. El agua lluvia es una fuente común durante temporada lluviosa. Los usuarios suelen recogerla de los tejados y almacenarla en tanques de plástico, de ladrillo o concreto. Los pozos excavados sirven como una importante fuente de agua, el agua es retirada de un pozo de aproximadamente 1 a 5 metros de profundidad, en el que el agua subterránea se está acumulando, pero como a menudo están desprotegidos, el agua podría estar contaminada (Wegner, 2015).

En estos contextos, es frecuente la adopción de sistemas de autoabastecimiento de agua, encontrándose varios casos de aplicación en el continente africano, donde se concentra la mitad de la población mundial sin acceso a servicios de agua potable (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2019). Por ejemplo, en Etiopía se utilizó este modelo de sistema para complementar la prestación del servicio de agua existente. La iniciativa dependió de cada hogar y de la capacidad que tenían para financiar sus propias inversiones en el desarrollo del sistema que era típicamente un pozo excavado a mano (Butterworth, Sutton y Mekonta, 2013). Otros casos se han desarrollado en Abeokuta, Nigeria (Oluwasanya, Smith, y Carter, 2011) y en Malí (Maiga, Maiga y Sutton, 2006), en los cuales el mantenimiento era responsabilidad de la(s) personas(s) que desarrollaron el sistema de provisión de agua. Los

sistemas incluían pozos de sondeos, pozos excavados a mano y recolección de aguas lluvia. Por su parte, en Colombia se realizó un estudio del sistema de autoabastecimiento como una alternativa para el acceso a regiones rurales dispersas. Los hogares que implementaban este tipo de sistema dependían de una fuente única para suplir todas sus necesidades de agua. Los hogares tomaban agua de manantiales desprotegidos y la conducían a través de mangueras (Domínguez *et al.*, 2016).

A pesar de su potencial, el autoabastecimiento a menudo no es formalmente adoptado como modelo para la prestación de servicios en el sector político. Si llega a ser reconocido y se crean políticas de apoyo, regulaciones y mecanismos de financiamiento, este enfoque puede proporcionar seguridad, sostenibilidad y servicios compatibles con sistemas basados en la comunidad. Por ejemplo, la recolección de agua lluvia, construcción y mejoramiento de los pozos poco profundos y el tratamiento de agua doméstico (Smits y Sutton, 2015).

2.2. Métodos de tratamiento del agua

Como se mencionó anteriormente, en algunas ocasiones es necesario realizar un tratamiento de desinfección del agua para mejorar su calidad. Los sistemas de tratamiento de agua en el sitio son técnicas utilizadas para tratar volúmenes relativamente pequeños de agua, diseñadas para ser usadas en el hogar o en aplicaciones a pequeña escala (Santos, Pagsuyoin y Latayan, 2016).

Entre los métodos más sencillos se encuentra la desinfección solar, la cual implica exponer el agua contaminada a la radiación ultravioleta para inactivar patógenos. En aplicaciones de campo, esta alternativa consiste en llenar botellas de plástico con agua no tratada y exponerlas a la luz solar durante varias horas. Este método es factible desde el punto de vista ambiental; sin embargo, puede requerir un tratamiento previo adicional si la turbidez del agua es superior a los valores recomendados. Otro método ampliamente utilizado consiste en hervir el agua, lo cual

permite destruir microorganismos patógenos como bacterias y protozoos, y precipitar productos químicos inorgánicos (Santos *et al.*, 2016).

Adicionalmente, se puede aplicar cloración, un tratamiento químico que involucra adición de cloro, en forma líquida o en tabletas, al agua contaminada. Una limitación de esta alternativa es que el cloro residual debe reducirse a un nivel de postratamiento seguro antes de que se pueda consumir agua, por lo cual los usuarios deberán ser educados sobre los peligros de manejo del cloro (Santos *et al.*, 2016).

Una vez que el agua ha sido clarificada, se puede pasar a la adsorción sobre carbón activo en forma granular, que permite la disminución de la materia orgánica, color, olor y sabor presente. Una de las principales razones de la aplicación del carbón activo es la eliminación de cloro libre del agua. También se puede utilizar para controlar el crecimiento biológico o eliminar amoníaco (Romero, 2008).

La filtración del agua para beber en los hogares, a través de filtros de arena, es un método generalmente conocido en la mayoría de los países latinoamericanos. Este tipo de filtración no elimina normalmente las bacterias o los virus, pero puede eliminar la turbiedad, los quistes y protozoarios. Cuando se utilizan debidamente, los filtros de arena domésticos pueden funcionar eficazmente aún con agua ligeramente turbia como tratamiento preliminar antes de hervirla o desinfectarla (Witt y Reiff, 1993).

En países en desarrollo durante muchos siglos se han utilizado polielectrolitos naturales de origen vegetal para aclarar aguas turbias. Para realizar el tratamiento en el hogar, los materiales tienen que ser utilizados en polvo o pasta. Las semillas de *S. Potatorum* y *M. Oleifera* contienen materiales que son eficaces como coagulantes, y la filtración directa de agua con estas semillas trae una mejora sustancial en su estética y calidad microbiológica (Babu y Chaudhuri, 2005).

2.3. Evaluación de la funcionalidad y sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua

El agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural, un bien social y bien económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización, el suministro de agua potable y el saneamiento ambiental son vitales para la protección del medio ambiente, el mejoramiento de la salud y la mitigación de la pobreza (ONU, 1992).

Se han identificado indicadores clave para explicar la funcionalidad y sostenibilidad de los sistemas de agua que se pueden agrupar en 6 dimensiones: Ambiental, institucional, administrativa y gerencial, económica, técnica y social (Puerta, 2016).

La sostenibilidad ambiental analiza la capacidad de la fuente de agua de seguir proveyendo la misma cantidad y calidad del recurso en el tiempo (Puerta, 2016). Los servicios de agua potable alteran el curso natural del ciclo del agua, de ahí que los problemas más frecuentes sean la extracción excesiva, lo que lleva al agotamiento de los recursos hídricos, la descarga de residuos en los flujos, que conducen a una disminución de la calidad y la adaptabilidad de las intervenciones a las consecuencias del cambio climático (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, 2015).

La sostenibilidad institucional establece que las instituciones, las políticas y los procedimientos en el ámbito local funcionan y satisfacen la demanda de los usuarios de los servicios de abastecimiento de agua potable (AECID, 2015).

La sostenibilidad administrativa y gerencial tiene que ver con la capacidad del operador de planificar y operar regularmente el sistema (Puerta, 2016).

La dimensión económica tiene que ver con buscar estrategias de gestión que permita reducir los costos por administración, recaudar fondos para el mantenimiento de la infraestructura y asegurar la calidad del servicio, la continuidad y uso adecuado del agua (Soto, 2014).

La sostenibilidad técnica de los proyectos de agua está basada principalmente en el mantenimiento físico, funcional y operativo de la infraestructura construida. Se parte de que el recurso hídrico está disponible en condiciones de calidad, cantidad y continuidad aceptables para la población beneficiaria; incluso en las situaciones más desfavorables, debe ser capaz de suministrar la cantidad de agua necesaria (AECID, 2015). Tiene como objeto implementar infraestructura y tecnología adecuada, accesible al usuario en su manejo, aplicación y utilidad (Soto, 2014).

Finalmente, la dimensión social incorpora aspectos que reflejen los beneficios de los seres humanos que se involucran al mismo, con el propósito de incrementar la calidad de vida de las familias que tienen acceso al servicio de agua (Benavides, 2010).

2.4. *E. coli* como indicador de calidad microbiológica del agua

Escherichia coli (*E. coli*) es una bacteria que se encuentra presente en el intestino de los seres humanos y de animales donde, por lo general, es inocua (OMS, 2018). Sin embargo, en otras partes del cuerpo, puede causar enfermedades graves. Se han determinado varios tipos de *E. coli* enteropatógenas, de acuerdo con diferentes factores de virulencia. Los serotipos de ECEH, como *E. coli* O157:H7 y *E. coli* O111, producen diarrea desde leve y no hemorrágica hasta altamente hemorrágica. Se estima que entre el 2% y el 7% de los enfermos pueden desarrollar el síndrome hemolítico urémico (SHU), que puede ser mortal y se caracteriza por insuficiencia renal aguda y anemia hemolítica. Los menores de 5 años tienen más riesgo de desarrollar el SHU (OMS, 2018).

Su presencia en muestras ambientales, alimentos o agua suele indicar una reciente contaminación fecal, malas prácticas de higiene y condiciones de almacenamiento inadecuadas (Odonkor y Ampofo, 2013).

La protección de la salud pública requiere un indicador de contaminación fecal. Una fortaleza particular de usar *E. coli* como indicador biológico, es la disponibilidad de métodos sensibles, específicos, económicos y fáciles de usar para su detección directamente de muestras de agua (Edberg, Rice, Karlin y Allen, 2000). *E. coli* es uno de los parámetros recomendados para el monitoreo mínimo de los sistemas de abastecimiento comunitarios, los cuales permiten evaluar mejor la calidad higiénica del agua y, por lo tanto, su riesgo de transmisión de enfermedades (OMS, 2018).

Según el Decreto 1594 de 1984 (1984) y la Resolución 2115 de 2007 (2007) de Colombia y las Guías para la Calidad del Agua de Consumo de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), el agua destinada al consumo humano no debe contener organismos indicadores fecales. En la Tabla 1, se presentan los niveles de riesgo para la salud humana, en los que se puede ubicar una fuente de agua según las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) que contenga una muestra de 100 ml.

Tabla 1.

Categoría de riesgos para la salud (Valores más probables UFC / 100 ml).

Categoría de riesgo para la salud	E. coli UFC / 100 ml
Segura	< 1
Riesgo intermedio / Probablemente segura	1 – 10
Riesgo alto / Probablemente insegura	> 10 – 100
Riesgo muy alto / Insegura	> 100

Nota: Adaptado de “Introduction to drinking water quality. A Layperson’s Guide to Water Quality, Waterborne Diseases and Water Quality Monitoring”. A Publication by Aquagenx. (2016).

3. Zona de estudio

La vereda Río Sucio Alto pertenece al municipio de Lebrija, Santander y está ubicada a 29,4 km del casco urbano (Google Maps, 2020). La vía de acceso para ingresar a ésta, se encuentra en la carretera Bucaramanga – Barrancabermeja, después de la entrada al municipio de San Vicente de Chucurí, más exactamente en el Parador La Azufrada 66, La Palma, ésta consiste en su mayor parte en un camino de trocha por el cual transitan vehículos como motocicletas y camionetas.

Río Sucio Alto colinda por el sur con las veredas Río Sucio Bajo, Cerro La Aurora y Filo de los Amores. La vereda posee una población de aproximadamente 105 personas, en gran parte campesinos, distribuidas en 35 viviendas, la mayoría muy rústicas, construidas en distintos materiales como tabla de madera, barro, ladrillo, cemento y zinc, dispersas en un área montañosa con vegetación abundante. En la Figura 1 se pueden observar cuatro tipos de viviendas.



Figura 1. Viviendas vereda Río Sucio Alto

La vereda cuenta con un colegio de básica primaria y carece de un centro de atención médica. La agricultura y la cría de animales se destacan como las actividades económicas más comunes del sector; prevalecen los cultivos de cítricos, cacao, yuca, maíz y plátano y animales como ganado y gallinas.

Río Sucio Alto fue seleccionada como zona de estudio para este proyecto, ya que actualmente cuenta con un sistema de autoabastecimiento de agua completamente artesanal, que no ha sido intervenido por entes externos, por lo cual se evidenció la necesidad de comprobar la correcta aplicación y funcionamiento del modelo de sistema y posteriormente, se propusieron estrategias para corregir las posibles fallas. Además, se contaba con el apoyo de la comunidad desde un principio, gracias a la previa conexión con un habitante de la vereda.

4. Metodología

4.1. Visitas de campo de reconocimiento

Las visitas en esta primera fase, tuvieron como propósito reconocer la zona de estudio, entrar en contacto con sus habitantes y observar desde un punto de vista general el estado del sistema, así como también identificar las coordenadas de las viviendas y la distancia a sus respectivos puntos de captación del agua (ver Apéndice A), datos que se utilizaron para posteriormente generar un esquema en Google Earth, en donde se plasmó su respectiva posición dentro de la zona de estudio (ver Figura 2). Para obtener dicha información, se empleó la herramienta móvil para georreferenciación Avenza Maps® 3.7.3. En la Figura 3, se muestra el recorrido realizado desde la sede principal de la Universidad Industrial de Santander hasta la primera vivienda de la vereda.

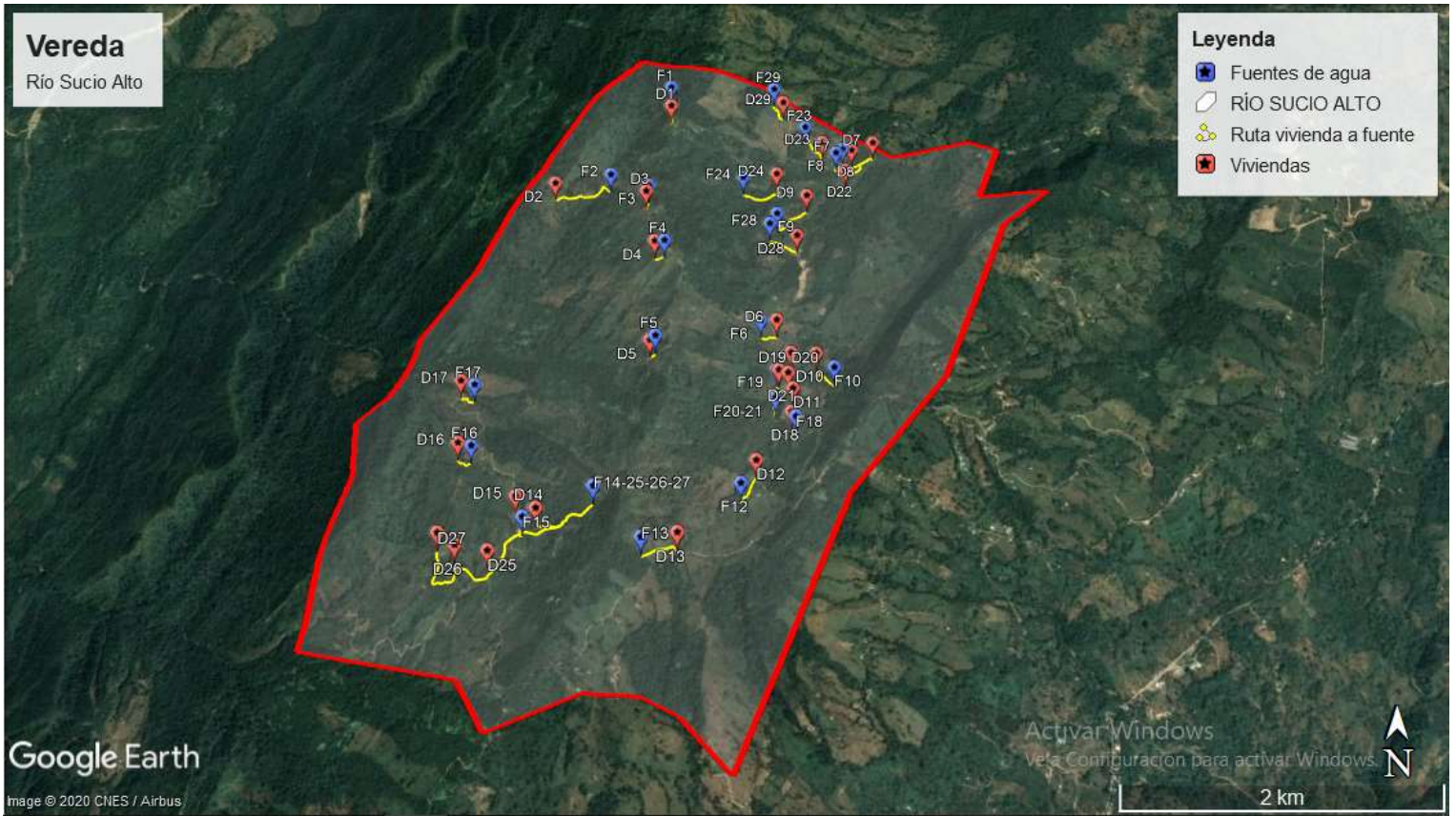


Figura 2. Zona de estudio Vereda Río Sucio Alto, Lebrija, Santander. Vista satelital. Adaptado de Google Earth, 2019

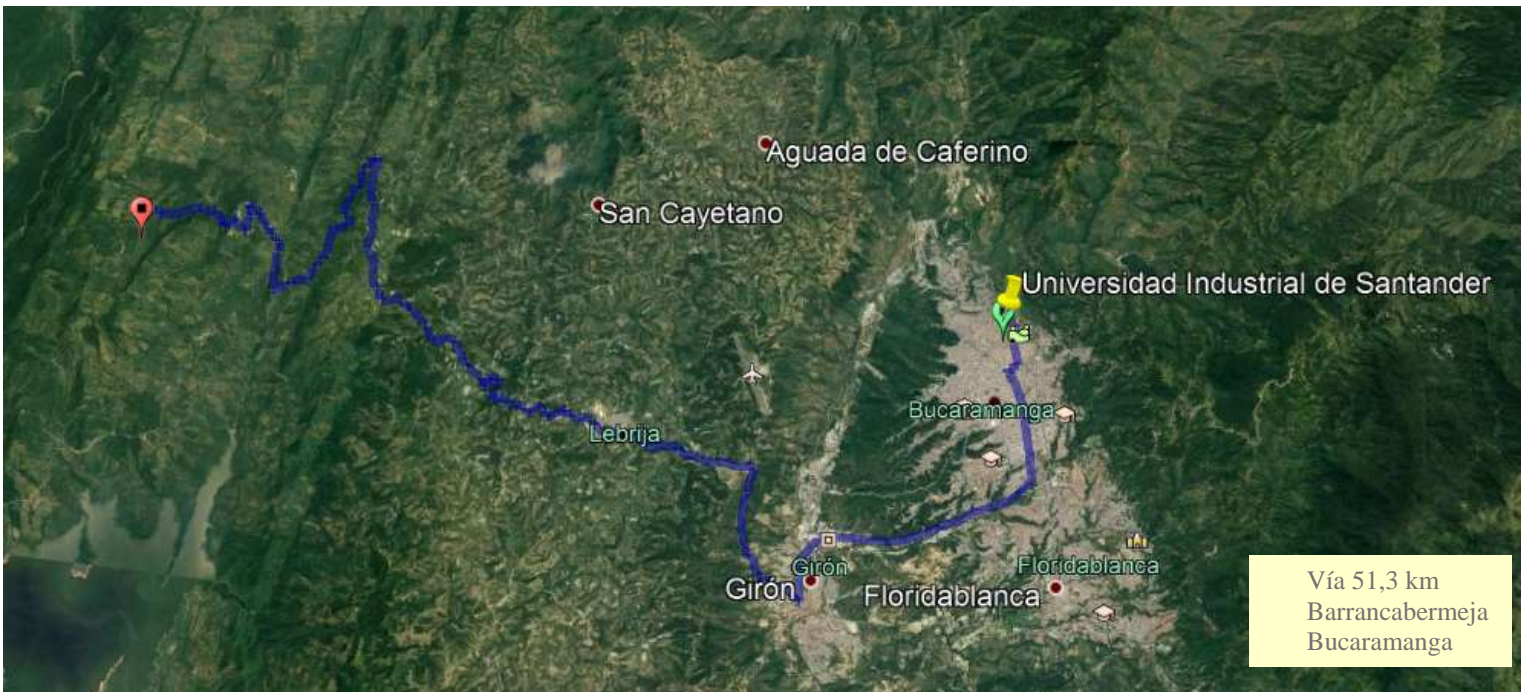


Figura 3. Recorrido Bucaramanga - Vereda Río Sucio Alto, Lebrija, Santander. Vista satelital. Adaptado de Google Earth, 2019

Se contó con el apoyo de dos habitantes de la vereda, que hicieron el papel de guías en las visitas de reconocimiento. Haciendo uso de su experiencia se subdividió la zona de estudio en tres partes, cada una de las cuales agrupaba a un conjunto de viviendas que estaban ubicadas en la misma dirección, esto con el fin de optimizar tiempo y energía (Ver Apéndice B). Para completar el objetivo de estas visitas, fueron necesarios tres días, trabajando en jornadas de 8 a 10 horas. La Figura 4 ilustra el tipo de zona, recorrido y algunos sitios de captación del agua.



Figura 4. Visitas de reconocimiento, vereda Río Sucio Alto.

4.2. Diseño y aplicación de la encuesta multicriterio

La encuesta se diseñó con base al modelo desarrollado por Garfi y Ferrer (Garfi y Ferrer, 2011) sobre los criterios generales para proyectos de agua y saneamiento básico en países en desarrollo. Se aplicó con el objetivo de conocer el sistema de autoabastecimiento de agua con el que cuenta cada vivienda desde las dimensiones técnica, social, económica y ambiental. El diseño de la encuesta y la versión final del cuestionario se presentan en el Apéndice C.

Dentro de la dimensión técnica se incluyeron elementos sobre el funcionamiento actual del sistema en términos de tecnología y mantenimiento, evaluando aspectos de sus componentes y la capacidad que tiene la comunidad para la operación y funcionamiento del mismo. También se analizó una parte concerniente a percepciones de la comunidad sobre la calidad del agua, indagando sobre aspectos como propiedades organolépticas y estándares de consumo de las personas.

En la dimensión social se buscó conocer si el suministro de agua actual cubre las necesidades básicas de la totalidad de usuarios del sistema; para ello se evaluaron aspectos como la disponibilidad del recurso en las temporadas seca y lluviosa y la incidencia de enfermedades que pudieran tener origen hídrico.

Para la dimensión económica se incluyó una serie de preguntas relacionadas con la inversión inicial que hicieron las personas para implementar su propio sistema y los costos que le genera el funcionamiento y mantenimiento del mismo. Además, se indagó sobre sus actividades económicas y el número de personas empleadas en cada hogar actualmente, esto con el fin de analizar la rentabilidad del sistema.

Por último, dentro de la dimensión ambiental se evaluaron las condiciones del entorno después de la creación del sistema, analizando aspectos como los impactos ambientales

generados por el mismo y la conciencia ambiental de las personas, en términos del uso que le dan al agua, la producción, manejo y disposición final de residuos sólidos.

Con el fin de complementar la información obtenida con la encuesta, se diseñó un formato de inspección para evaluar las condiciones sanitarias de los componentes del sistema de abastecimiento de cada vivienda, con base a un estudio realizado en Perú, sobre la calidad del agua en sistemas de abastecimiento rural (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo *et al.*, 1999). El formato que se presenta en el Apéndice D, se compone de una serie de características que cada elemento del sistema debe cumplir como mínimo para determinar que está siendo utilizado adecuadamente, de tal forma que no altere la calidad del agua, por ejemplo: presencia de elementos de protección, estado de mantenimiento, ausencia de elementos extraños o contaminantes alrededor, entre otros. Así como también de las observaciones que las investigadoras responsables de su aplicación consideraron pertinentes.

La encuesta y el formato de inspección, se aplicaron a 28 hogares, una muestra que representa el 80% de la población. El 20% restante no se pudo completar debido a las difíciles condiciones de acceso, ya que en el camino que conduce a las viviendas restantes se unen tres quebradas, que en el momento se encontraban crecidas por la temporada de lluvia, lo cual imposibilitó el paso. Esta actividad se desarrolló durante cuatro días, trabajando en jornadas de 8 horas para completar las encuestas llevadas a cabo al interior de cada uno de los hogares y con la colaboración de su respectivo jefe de familia, como se observa en la Figura 5. La información recopilada se tabuló y se procesó utilizando la herramienta Excel 2013.



Figura 5. Aplicación de encuestas, vereda Río Sucio Alto.

4.3. Análisis de la calidad microbiológica del agua

En esta segunda fase se analizó la calidad microbiológica del agua de consumo en cada una de las 28 viviendas. Para su desarrollo se tomó una muestra de agua directamente del grifo (o recipiente de acarreo en dos casos), por cada vivienda de la vereda en el transcurso de una semana en época lluviosa, utilizando recipientes estériles para recolectar aproximadamente 60 ml de muestra. Para realizar el muestreo, se dejó abierto el grifo por un minuto, pasado este tiempo se purgó el frasco tres veces y finalmente se procedió a tomar la muestra (ver Figura 6). Cada una de las muestras recogidas fueron refrigeradas en una nevera portátil y transportadas inmediatamente al laboratorio del Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) de la Universidad Industrial de Santander, para realizar el análisis correspondiente a la detección de la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*).

Estos análisis se realizaron por el método de filtración por membrana, utilizando un equipo de filtración al vacío de la empresa Delagua. El análisis se ejecutó por duplicado para cada vivienda, filtrando un volumen de 20 ml por ensayo. Para asegurar el crecimiento de esta bacteria específica, se utilizó el medio de cultivo Chromocult® de Merck y las placas sembradas se incubaron por 24 horas a 36°C. Después de ese tiempo, se contó el número de unidades formadoras de colonia y realizando la conversión para obtener la equivalencia de una muestra de 100 ml, los resultados se contrastaron con las referencias de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018).



Figura 6. Toma de muestras, vereda Río Sucio Alto.

Para cumplir con el objetivo de esta fase, se requirieron seis días, tres de los cuales se emplearon en toma de muestras y en análisis de laboratorio, trabajando una jornada de 8 horas en total. En la Figura 7 se observan algunos detalles de las pruebas llevadas a cabo. En los otros tres días se leyeron resultados y se esterilizaron los materiales utilizados en el laboratorio.



Figura 7. Análisis de laboratorio Grupo GPH.

4.4. Formulación de la propuesta de mejora

En la tercera fase, se formuló una propuesta de mejora para el acueducto rural de la vereda Río Sucio Alto, utilizando los resultados obtenidos anteriormente y comparándolos con casos de auto – abastecimiento sostenible en Etiopía (Sutton, 2004), Zambia (Munkonge y Harvey, 2009), Colombia (Franco y Agamez, 2016) – (Domínguez, Torres, Restrepo, Oviedo y Smout, 2014) – (Domínguez *et al.*, 2016) y Nicaragua (Alberts y Zee, 2003). Se redactó formalmente el documento que contiene la descripción completa de la mejora que se va a implementar en el sistema de abastecimiento de la vereda y, se diseñó un folleto para cada vivienda (ver Apéndice E) con sus respectivos resultados y las recomendaciones del presente trabajo de investigación. Por último, se realizó la socialización con la comunidad de la vereda Río Sucio Alto por medio de visitas a cada hogar, como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Socialización de resultados con la comunidad.

La mayoría de personas expresaron interés al recibir los resultados, solamente en dos casos las personas se mostraron indiferentes. Los propietarios de las viviendas que se encuentran en riesgo muy alto manifestaron su preocupación y afirmaron que conocían la fuente de la contaminación, pero no podían hacer nada al respecto.

5. Análisis de resultados

5.1. Generalidades del sistema de autoabastecimiento de agua de la vereda Río Sucio Alto

En el Apéndice F, a través de gráficos, se presentan los resultados de cada pregunta de la encuesta y formato de inspección.

5.1.1. Dimensión técnica

5.1.1.1. Acceso al agua y componentes del sistema de autoabastecimiento. Sobre el estudio que se realizó a la vereda Río Sucio Alto se encontró que el 96% de las viviendas poseen sistemas individuales de autoabastecimiento, lo cual significa que la mayoría de personas en la comunidad solucionan sus propios problemas de suministro de agua utilizando diferentes fuentes como las subterráneas (nacientes) y superficiales (ríos y quebradas) para abastecerse, así como

también la recolección de las aguas lluvias y en casos extremos, donde el agua no alcanza a llegar, optan por acarrearla en pimpinas hasta sus hogares. Estos sistemas que se abastecen de distintas fuentes, son similares a los presentados en ciertas partes de África, en donde las personas de zonas rurales, por ejemplo, de Etiopía, dependen en gran medida de manantiales y aguas superficiales (Sutton, 2004). Por su parte, contrario al caso presentado en Río Sucio Alto, en los distritos de Chiengi, Nchelenge, Milenge y Mansa en la provincia de Luapula (Zambia), la mayoría de las fuentes de agua (sistemas de autoabastecimiento) son propiedad de hogares individuales y casi todas se comparten con los hogares vecinos independientemente si aportaron económicamente o no para construir el sistema (Munkonge y Harvey, 2009).

Por otro lado, los sistemas de autoabastecimiento de la vereda analizada se basaban generalmente en la captación del agua directamente de la fuente y se encontró que el 50% de los casos construyeron obras como piletas, muros y represas por lo regular de ladrillo, arena y cemento para retener el agua, la cual luego se transportaba a través de mangueras comúnmente de polietileno hasta llegar al tanque de almacenamiento (86% de los encuestados poseen uno, en su mayoría de 500, 1000 y 5000 litros y en una vivienda en particular disponían de un tanque de 65000 litros), para finalmente abastecer a las viviendas las cuales regularmente, contaban con una red de distribución con mangueras de ½” (73% reportó que utiliza mangueras de éste diámetro).

Adicionalmente, se hizo posible el cálculo de las distancias entre la vivienda y su respectiva fuente de abastecimiento, obteniéndose en promedio que las viviendas se encuentran a una distancia de 297 metros de la fuente de agua, con una desviación estándar de 336 metros y un coeficiente de variación de 113%, es decir, los datos tienen una gran dispersión y finalmente, la distancia máxima observada fue de 1483 metros y la mínima de 19.7 metros.

5.1.1.2. Operación y mantenimiento del sistema. Se encontró que el 93% de los hogares realiza mantenimiento al sistema de autoabastecimiento, efectuándolo ellos mismos. El 43% de los encuestados informó que lo lleva a cabo cuando es necesario, 14% realiza el mantenimiento mensualmente, el 7% lo hace con una frecuencia trimestral y el 29% lo realiza semanalmente, cada 15 días o bien, de forma bimestral. Con respecto a las actividades que se llevan a cabo para mantener en buen estado el sistema, de la totalidad de los hogares encuestados, se encontró que el 89% efectúa la limpieza general, el 82% realiza recorridos a lo largo de las tuberías para verificar su estado y detectar riesgos, el otro 82% repara los componentes que se encuentran en mal estado, el 61% informó que desinfecta con cloro, en su mayoría el tanque de almacenamiento y el 46% restante realiza la inspección sanitaria.

Mencionaron también, que para realizar estas labores de mantenimiento utilizan escobas, cepillos, jabón y parches y la mayoría disponen de estas herramientas. Estos porcentajes positivos respecto al mantenimiento del sistema demuestran que los habitantes se preocupan por mantenerlo en buenas condiciones. Además, el óptimo funcionamiento de éste depende en gran medida del cuidado y limpieza con el que se conserve, es por esto que se requiere sensibilizar a la comunidad en cuanto a la importancia de realizar mantenimiento continuo al sistema, esperando minimizar el 7% de los hogares que no consideran necesario realizarlo.

Esta situación es semejante al caso presentado en el Páramo de Berlín (Santander), puesto que al igual que en Río Sucio Alto la mayor parte de los propietarios no realizan con frecuencia mantenimiento al sistema de autoabastecimiento, sólo lo hacen cuando se daña algún componente y para el caso del tanque de almacenamiento, cada vez que consideran que se encuentra sucio (Franco y Agamez, 2016).

5.1.1.3. Percepción de la comunidad sobre la calidad del agua. La calidad del agua en época lluviosa es buena según la percepción del 50% de las personas encuestadas, sin embargo, este mismo porcentaje (50%) consideró el agua turbia, 43% mencionó que, en algunas ocasiones, recibe el agua con color entre amarillo, marrón, azul y blanco, el 14% expresó que el agua llega sucia, 11% percibió un mal sabor en ella y sólo el 4% consideró que la calidad del agua en esta época es regular. Por otra parte, estos porcentajes cambian un tanto en la época seca, dado que el 57% de los encuestados consideró que el agua recibida en sus hogares es buena; sin embargo, 42% notó el agua turbia, con mal olor y mal sabor, 18% percibió el agua con color entre rojizo, marrón y negro, 11% expresó que la calidad del agua es mala, 7% la consideró sucia y el 7% restante mencionó que su calidad es regular. Otra propiedad evaluada fue la temperatura que tiene el agua en el momento de captarla, siendo considerada por el 71% como fría, 14% la percibió muy fría, 11% expresó que llega al clima, mientras que el 4% informó que el agua es tibia.

Esta calificación es relativa, ya que los encuestados no utilizan criterios técnicos, ni instrumentos especializados para distinguir dichas características en el agua que reciben en sus viviendas; sin embargo, estos datos son unos de los más relevantes para estimar la calidad del servicio, ya que según la OMS “[...] los consumidores evalúan la calidad del agua de consumo basándose, principalmente, en sus sentidos, los consumidores pueden considerar que el agua es muy turbia, con mucho color, con sabor u olor desagradable, lo que la vuelve insalubre” (Márquez y Ortega, 2017).

5.1.1.4. Almacenamiento y tratamiento del agua en los hogares. El 82% de los hogares expresó que almacena el agua en tanques, baldes, botellas y pimplinas; es posible que esto se deba a la baja confiabilidad de las fuentes o la tendencia a variaciones estacionales (Domínguez et al., 2016).

Se observó también, que el 75% de los usuarios realiza algún tipo de tratamiento al agua para así, posteriormente hacer uso de ella. Sin embargo, el 25% de los encuestados no lo hacen, lo cual justificaron por diversas razones, como por ejemplo, la costumbre o el hecho de no verlo necesario, argumentando que el agua es más beneficiosa si se consume sin tratarla, debido a que ésta naturalmente contiene minerales; otros por su parte afirmaron que optan por tomar bebidas que impliquen hervir el agua (como café y agua de panela) o agua con limón, pero nunca consumen agua pura, es posible que esto se deba a la baja confiabilidad que los habitantes tienen con respecto a la calidad del agua para consumo. Por otra parte, se determinó que los habitantes adoptan medidas de tratamiento que requieren poco dinero o esfuerzo, dado que el 67% prefiere hervir el agua, 21% aplica el método de cloración, mientras que el 12% restante realiza diferentes tipos de tratamientos como lo son: agregar alumbre al agua, la disposición de un filtro purificador de agua y la creación de un método artesanal de filtración para evitar el ingreso de sólidos utilizando una botella con agujeros. En general, Río Sucio Alto no está muy lejos de los métodos típicos para tratar el agua en zonas rurales, pues, en el caso de América Latina y el Caribe, el método más corriente de la desinfección de los suministros de agua a nivel domiciliario es hervir el agua, tratándose de un método muy eficaz contra los organismos patógenos transmitidos por el agua en comparación con el cloro, que es ineficaz contra los virus y los quistes de protozoos (Witt y Reiff, 1993).

Aunque los valores son positivos para la aplicación de tratamientos al agua, durante las visitas a las viviendas se observó que las fuentes de abastecimiento no se encuentran protegidas y es posible el acceso de animales. Además, alrededor de las mangueras que conducen el agua y el tanque de almacenamiento se identificó la presencia de heces de animales, lo cual puede intensificar el riesgo de contaminación. Es por esto que se hace fundamental concientizar a la

comunidad respecto a la importancia de proteger y mantener el sistema y sus alrededores en buenas condiciones sanitarias. Esto puede sustentarse con un estudio que se realizó en Zambia, en donde se encontró que las heces de animales dentro de los 10 m de las instalaciones de suministro de agua conducen a tasas más altas de agua contaminada microbiológicamente (Munkonge y Harvey, 2009).

5.1.2. Dimensión social

5.1.2.1. Capacidad, sitios de captación, disponibilidad y presión del agua. En relación a la capacidad del sistema para suplir las necesidades de la población, el 64% de los usuarios aseguró que el agua captada es suficiente para ello, además, el 57% informó que dispone de diferentes sitios de captación, sin embargo, el 43% solo posee uno. Del porcentaje que cuenta con varios sitios de captación de agua el 87% posee 2 y el 13% restante dispone de 3 usados para distintos fines: por una parte para gastos domésticos y por la otra para ganadería y agricultura. En general, estas valoraciones permiten deducir que los habitantes tienen la necesidad de conservar varias fuentes de agua para que así este recurso no sea escaso en los hogares. Ahora bien, en época lluviosa el 96% de los usuarios informó que la disponibilidad de agua en las viviendas es permanente; mientras que el 4% restante solo la posee a veces, expresando este último que la lluvia genera un aumento en el caudal, así como también se intensifica la cantidad de sedimentos en la fuente, lo cual genera afectaciones a la manguera que conduce el agua hasta la vivienda. Por el contrario, en época seca, el 46% de los hogares siempre disponen de agua y el 4% casi siempre, el 25% regularmente cuenta con este recurso, 18% y 7% restantes nunca y casi nunca disponen de agua en sus viviendas respectivamente.

Por otro lado, en época lluviosa, el 92% de los encuestados consideró que el nivel de presión del agua que llega a sus hogares se caracteriza por ir de muy buena a buena, mientras que el 8%

la catalogó como regular; en época seca estos porcentajes cambiaron considerablemente, debido a que solo el 31% de los encuestados percibió la presión del agua de muy buena a buena, 31% consideró que la presión se caracteriza por ir de mala a muy mala, el 27% expresó que es regular, mientras que el 11% aseguró que el agua no llega a su conexión domiciliaria. La evaluación de la presión del agua es importante, ya que con esta puede valorarse la calidad del servicio, así como también puede dar alertas de posibles fugas en la tubería.

5.1.2.2. Problemas de salud y enfermedades presentadas en la vereda. En general, los usuarios (68%) reportaron que las enfermedades más comunes en la zona eran la gripa causada por las variaciones climáticas y bajas defensas del organismo, el virus del dengue el cual es transmitido a través de los mosquitos que proliferan dentro de las viviendas o alrededores y la hipertensión arterial originada por antecedentes familiares. Sin embargo, un porcentaje menor (32%) aseguró que se han presentado enfermedades como diarrea, dolores estomacales, amebiasis, alergias y fiebre tifoidea, todas estas, según los usuarios, relacionadas estrechamente con el consumo y calidad del agua. A pesar de que la mayoría informó que no se han presentado casos de enfermedades de origen hídrico, es importante tener en cuenta a quienes aseguran que sí, dado que los riesgos sobre la salud que se presentan por causa de este recurso pueden ser graves, además, los más vulnerables ante esta situación son los niños, mujeres embarazadas y las personas de la tercera edad. Algunos estudios han demostrado que las condiciones higiénicas y sanitarias tanto de las fuentes de agua como de los componentes del sistema y sus alrededores tienen más influencia en la salud que la calidad del agua (Sutton, 2004), es por esto que se hace primordial exponer el tema de la educación sanitaria.

5.1.3. Dimensión económica

5.1.3.1. Inversión para construcción, operación y mantenimiento del sistema. Se reportó que el 68% no contó con ningún apoyo financiero por parte de la Alcaldía municipal de Lebrija para construir el sistema de autoabastecimiento de agua; de este porcentaje, el 50% invirtió entre \$50000 y \$600000 pesos y un caso en particular aseguró que su inversión fue de aproximadamente \$12'000000 de pesos (la más alta encontrada durante la aplicación de todas las encuestas) para llevar a cabo la construcción de su sistema de agua actual. Por otro lado, el 21% aseguró que no hizo ninguna inversión, en su mayoría porque los componentes como mangueras y tanques de almacenamiento fueron obsequiados por otros familiares y el 11% restante no respondió, porque eran únicamente los administradores de las viviendas/fincas y cuando llegaron a desempeñar su labor el sistema ya estaba construido. En relación a la operación y el mantenimiento del sistema, el 78% informó que no le cuesta dinero realizar las anteriores actividades, el 22% restante invierte (según su frecuencia de mantenimiento ya sea semanal, quincenal, mensual, bimestral o trimestral) entre \$5000 y \$200000 pesos, financiamiento que es acogido por los mismos habitantes. En el caso de la costa del Pacífico de Nicaragua, la inversión inicial en el sistema de autoabastecimiento es de aproximadamente US\$ 837 (\$2'835000 pesos colombianos) y los costos de mantenimiento oscilan entre US \$ 5 a 10 (\$17000 a \$34000 pesos colombianos) anuales (Alberts y Zee, 2003). Puede concluirse entonces, que en Nicaragua la inversión inicial en el sistema de autoabastecimiento es mayor en comparación con los costos de financiación que aportan la mayoría de habitantes en Río Sucio Alto para la construcción de dicho sistema; con respecto a la operación y mantenimiento las inversiones que realizan en cada zona se relacionan un poco más, dado que los costos se encuentran dentro del mismo rango.

5.1.3.2. Actividades económicas realizadas por los usuarios. Dentro de las actividades económicas realizadas por los usuarios, se encontró que el 79% ejerce la agricultura, el 54% cría animales, el 43% trabaja en la ganadería (cría de vacas) y 36% ejerce actividades como lombricultura, oficios varios y otros se dedican a administrar fincas del sector. Es evidente que los habitantes tienen la necesidad de ejercer más de una actividad económica para poder subsistir y de acuerdo a esto se puede deducir entonces, que los sistemas de autoabastecimientos son rentables en este sector rural, ya que conllevan bajos costos de financiamiento para su operación y mantenimiento.

5.1.4. Dimensión ambiental

5.1.4.1. Usos múltiples del agua en los hogares. En la zona de estudio se evidenció que el agua es captada generalmente de nacientes, quebradas y aguas lluvia, destinada para diversas actividades, tales como: consumo (un caso en particular invierte en botellas de agua en época seca), higiene y lavandería (100%), descarga de inodoros (89%), agricultura (54%) usada en cultivos de cítricos (mandarina y limón), plátano, cacao, yuca, maíz y café, 32% mencionó que utiliza el agua para la ganadería (cría de vacas), además el 32% también informó que emplea el agua en la cría de animales como pollos, pescados (mojarras), patos, gallinas, camuros y pavos reales y riego del jardín. A partir de las actividades ya mencionadas, los habitantes informaron que emplean más cantidad de agua en las necesidades domésticas y en un orden descendente (mayor a menor cantidad) se encontró: lavandería, consumo, descarga de inodoros e higiene; también se reportó que para actividades como la ganadería, cría de animales, riego del jardín y agricultura, se destina la menor cantidad del recurso. En el caso de La Palma Tres Puertas (Valle del Cauca, Colombia), alrededor del 80% de la población utiliza el agua para al menos una actividad productiva, la ganadería, la agricultura o ambas, también es utilizada por casi todos los

hogares para todos los usos domésticos (98%) y para la cría de animales (96%) (Domínguez *et al.*, 2014). En ambos casos el agua se utiliza en menor medida para los cultivos, ya que la mayoría no necesita de riego constante y se mantienen únicamente con el agua proveniente de la lluvia, así como también es evidente el enfoque de usos múltiples del agua.

Como se mencionó anteriormente, en Río Sucio Alto los sistemas de autoabastecimiento se utilizan comúnmente para actividades domésticas y productivas, sin embargo, se presentó un porcentaje de habitantes que informó que el agua no es suficiente para suplir sus necesidades. Por tanto, debido a que la agricultura y cría de animales pequeños (pollos, patos, gallinas y camuros) es esencial para las personas con bajos recursos, es recomendable que se dispongan distintos sitios de captación para proporcionar agua para las necesidades domésticas y actividades económicas, por separado, y así, disfrutar de los usos múltiples del agua sin sufrir la ausencia o limitación del recurso.

5.1.4.2. Problemas ambientales y cambios en la calidad del agua, vegetación y fauna desde la implementación del sistema de autoabastecimiento. Según los habitantes, los principales problemas ambientales que se han presentado en la vereda son los derrumbes (57%) y las fuertes precipitaciones (39%) ocasionando grandes daños en la zona como inundaciones, fallos en el suministro eléctrico y caídas de árboles. Por otro lado, el 14% respondió que no se presenta ningún problema ambiental, mientras que el 8% restante expresó que es la deforestación y la contaminación de los nacimientos de agua.

Por otra parte, el 96% de los usuarios expresó que las actividades que realiza no generan cambios en la calidad del agua, mientras que el 4% respondió que sus labores si la afectan, tales cambios se presentan en el color y sabor del agua. En relación con la vegetación, el 86% aseguró que no ha cambiado desde la implementación del sistema de autoabastecimiento de agua; el 14%

restante manifestó que sí, tales cambios se han presentado en la disminución de la capa vegetal y de la abundancia de las distintas especies. En cuanto a las especies animales, el 96% de los encuestados informó que no se han presentado cambios desde la construcción del sistema, sin embargo, el 4% afirmó lo contrario, dado que por causa de la implementación del sistema de abastecimiento de agua algunas especies de animales como armadillos y conejos perdieron su hábitat y migraron.

De acuerdo con la percepción de sus habitantes, Río Sucio Alto parece ser una zona con alta resiliencia a los distintos usos de la tierra y demás actividades productivas; ya que consideran que éstas no afectan sustancialmente la calidad ambiental y mucho menos tienen influencia en la calidad del agua. Sin embargo, se requiere alertar a la comunidad del impacto ambiental que pueden ocasionar las actividades que realizan, puesto que la contaminación de las cuencas rurales proviene, generalmente, de las actividades agrícolas y ganaderas, mientras que la reducción de los flujos hídricos se debe a la deforestación, extracción incontrolada de agua y el cambio climático y esto podría ser un factor limitante para el autoabastecimiento en otras zonas (Domínguez *et al.*, 2016).

5.1.4.3. Residuos sólidos y aguas residuales: manejo y destino, y disposición de las heces humanas. El 43% de los hogares produce residuos agrícolas peligrosos, específicamente envases de agroquímicos, el 89% produce residuos agrícolas no peligrosos (restos de cultivos). El 96% de los domicilios produce residuos domésticos no peligrosos como papel y cartón, 61% produce residuos domésticos peligrosos como medicamentos, bombillas, baterías y aparatos electrónicos, 50% de los hogares produce llantas, botellas y muebles. En el 61% de las viviendas se han presentado animales domésticos muertos y el 89% de los hogares produce residuos orgánicos

como restos de alimentos, servilletas usadas y excremento de animales domésticos; en relación con las aguas residuales el 100% de los hogares las produce.

Por otra parte, el 100% de los encuestados afirmó que realiza algún tipo de manejo a una porción de los residuos sólidos, entre estos se encontró con 41% la quema, 38% la opción “otros” dentro de la cual los usuarios aseguraron que optan por enterrar a los animales muertos y el 21% restante informó que recicla algunos residuos. Sin embargo, los residuos a los que no se les realiza manejo tienen como destino final los sitios aledaños el cual representa el 75%, seguido del 50% los cuales aseguraron que poseen un pozo excavado y tapado para destinar los desechos restantes, el 21% afirmó que las cenizas que quedan de la quema las disponen alrededor de los árboles, y en relación a las aguas residuales el 4% reportó que su destino son las fuentes de agua. Con respecto a la disposición de las heces humanas se obtuvo que el 53% de los encuestados posee tanque séptico, el 36% las dispone a campo abierto y el 11% las deposita en pozos excavados en tierra.

A partir de estos valores, puede concluirse que es fundamental instruir a los habitantes con respecto al manejo adecuado que se debe brindar a los residuos sólidos, ya que algunos métodos que consideran aptos para el tratamiento de los desechos no son los más apropiados, como es el caso de la quema, que puede generar otros problemas ambientales. Adicionalmente, este tema se hace aún más importante pues el buen manejo de los residuos reduce los efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente.

5.2. Calidad microbiológica del agua

Los resultados en términos de la bacteria *E. coli* son realmente alarmantes. El máximo valor obtenido fue de 3803 UFC / 100 ml y el mínimo 5 UFC / 100 ml, lo que indica que ninguna muestra cumple con el valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud de 0 UFC /

100 ml (OMS, 2018). El promedio de las muestras analizadas fue de 650 UFC / 100 ml, valor que no es característico de todo el grupo, debido a la gran dispersión que presentan los datos (desviación estándar = 939 UFC / 100 ml y coeficiente de variación = 145%). Los resultados de cada una de las muestras por vivienda se pueden observar en la Tabla 2 y las fotos de sus respectivas placas en el Apéndice G.

Tabla 2.

Resultados obtenidos (UFC/100 ml).

Código vivienda	UFC / 100 ml			Código vivienda	UFC / 100 ml		
	Réplica A	Réplica B	Promedio		Réplica A	Réplica B	Promedio
D1	10	5	8	D15	400	455	428
D2		MNPC *		D16	405	550	478
D3	25	280	153	D17	415	160	288
D4	-	3215	3215	D18	5	5	5
D5	220	155	188	D19	480	525	503
D6	145	105	125	D20	430	435	433
D7	3345	4260	3803	D21	1170	1180	1175
D8		MNPC *		D23	230	425	328
D9	430	575	503	D24	925	940	933
D10	700	825	763	D25	130	120	125
D11	430	435	433	D26	45	50	48
D12	65	5	35	D27	35	15	25
D13	925	700	813	D28	300	260	280
D14	80	10	45	D29	1805	1700	1753

Nota: * Muy numeroso para contar

El objetivo de realizar la prueba por duplicado fue reforzar el valor del primer resultado, para comprobar que la prueba arrojó valores confiables. Como se puede observar en la tabla 2, los valores obtenidos en algunos casos son muy distantes o difíciles de contar, por lo que se puede concluir que el agua está realmente contaminada.

En un caso de estudio similar que se realizó en una vivienda rural del Páramo de Berlín, los recuentos de *E. Coli* en el sistema de autoabastecimiento en promedio fueron más altos en época

de lluvia (7 UFC / 100 ml) que en época seca (0 UFC / 100 ml) (Franco y Agamez, 2016), una diferencia muy marcada con los resultados obtenidos para las viviendas de Río Sucio Alto.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 3, los habitantes de la vereda no captan sus aguas de fuentes de abastecimiento seguras, aproximadamente el 79% de los hogares consumen agua de fuentes con riesgo muy alto para salud, el 14% de las familias se encuentra en riesgo alto y el 7% en riesgo intermedio. Adicionalmente, se presentan los resultados se presentan dentro de la zona de estudio (ver Figura 9).

Tabla 3.

Rango de resultados obtenidos.

Categoría de riesgo para la salud	<i>E. coli</i> UFC / 100 ml	Número de viviendas
Segura	< 1	0
Riesgo intermedio / Probablemente segura	1 – 10	2
Riesgo alto / Probablemente insegura	> 10 – 100	4
Riesgo muy alto / Insegura	> 100	22

Nota: Comparación de los resultados obtenidos con los valores de referencia. Adaptado de “Introduction to drinking water quality. A Layperson’s Guide to Water Quality, Waterborne Diseases and Water Quality Monitoring”. A Publication by Aquagenx. (2016).

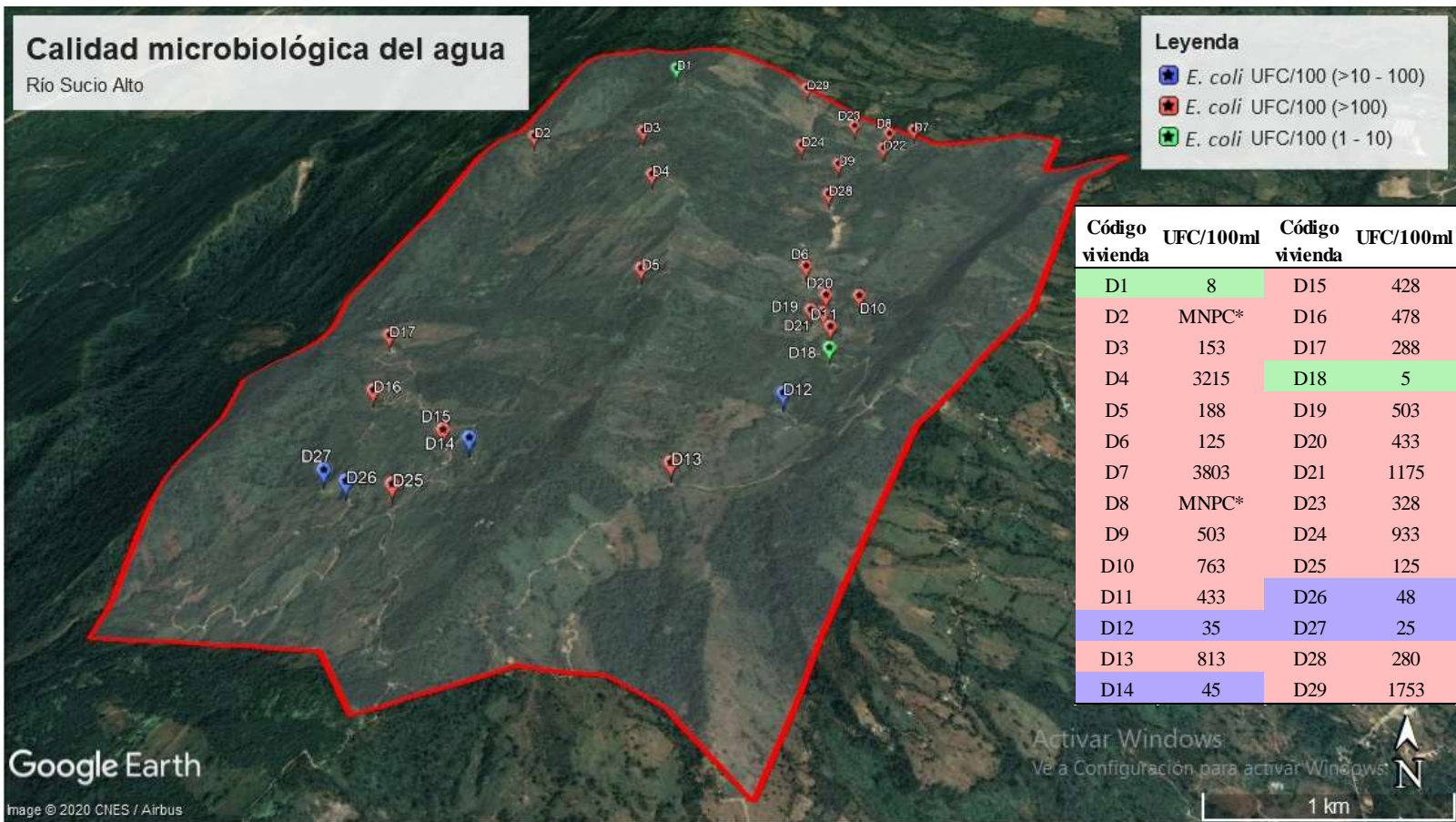


Figura 9. Mapa de resultados del análisis microbiológico por vivienda. Adaptado de Google Earth 2019 y Excel 2013.

Los hogares que obtuvieron la mejor calidad microbiológica del agua, corresponden a las viviendas D1 y D18. La fuente de abastecimiento de agua de la vivienda D1 es una naciente y la transportan hasta el hogar por medio de pimpinas. Las personas que habitan en este domicilio son conscientes de que los buenos hábitos de higiene influyen en la calidad del agua que utilizan, ya que realizan continuo mantenimiento a los recipientes de acarreo y además, hierven el agua como tratamiento previo al consumo. La vivienda D18 capta el agua de una naciente a través de un sistema por gravedad y la almacena en un pozo revestido de concreto y protegido con polisombra negra, sin embargo, en la visita realizada se observó falta de higiene en el aspecto

general del hogar. Cabe decir que, ambos domicilios mencionados se encuentran ubicados en partes altas de la vereda, en donde es menos probable que el flujo de agua sea transportado con residuos o material fecal.

Las muestras de agua de las viviendas D14, D26 y D27 obtuvieron un total de UFC/100 ml similares (45, 48 y 25 respectivamente), ya que captan el agua de una fuente de abastecimiento común. Además, se encuentran ubicadas en la misma zona de la vereda y comparten un tanque de almacenamiento de agua. En una zona aledaña, se ubica la vivienda D15, cuya propietaria cuenta con un filtro de agua, ya que manifestó que considera que la calidad del agua que llega a su vivienda no es apta para consumo.

Del porcentaje de viviendas que se encuentra en un nivel de riesgo mayor, probablemente puede deducirse que es en gran medida por la falta de educación sanitaria que tienen los usuarios, como es el caso de las dos viviendas en las que no fue posible realizar el conteo debido a la gran cantidad de UFC que contenían. En el caso de la vivienda D2, se observaron condiciones de higiene precarias en los tanques de almacenamiento de agua y en los alrededores. Además de esto, el propietario de la vivienda D8 comentó con normalidad que las aguas residuales producidas en su hogar eran arrojadas directamente a un caño de agua, lo que posiblemente puede influir en la calidad de agua que reciben usuarios ubicados aguas abajo, por ejemplo la vivienda D7, cuyo resultado fue el más crítico (3803 UFC/100 ml). Cabe señalar que ambos domicilios se encuentran en la cota más inferior de la vereda, lo que aumenta la posibilidad de que el flujo de agua sea transportado con residuos o material fecal, se sugiere que por el mismo motivo, la fuente de abastecimiento de las viviendas D23 Y D24 no cumple con los valores recomendados.

La situación que predomina en la totalidad de los hogares es que el punto de captación del agua se encuentra desprovisto de elementos que delimiten el área para impedir el acceso de animales, vehículos, humanos y otras fuentes de contaminación.

5.3. Formulación de la propuesta de mejora

Debido al actual deterioro de los elementos del sistema, en especial de las mangueras de conducción y a la falta de tanques de almacenamiento, se propone que la Alcaldía Municipal de Lebrija realice una inversión con el fin de reemplazarlas y en el caso que aplique, de aumentar la capacidad de recolección de agua por familia. Además, se debe mejorar el tendido de las mangueras, evaluando la conveniencia de hacerlo elevado o subterráneo, porque no se encuentran protegidas contra el paso de personas y/o animales. En términos generales, a cada familia se le debe proporcionar financiamiento para invertir en la infraestructura de su sistema de abastecimiento de agua. Adicionalmente, se considera la necesidad de invertir recursos para la creación de un camino adecuado que facilite el desplazamiento de las personas hacia sus puntos de captación.

Para impulsar este tipo de sistemas, la Alcaldía municipal debe identificar en primera medida, los lugares en donde es una opción apropiada para suministrar a la comunidad acceso al agua potable. Además de instruir a la comunidad sobre el potencial de estos sistemas y cuando sea necesario proporcionar apoyo, ya sea de carácter técnico o financiero. Con el apoyo adecuado del gobierno, el autoabastecimiento puede ayudar a cubrir parte del déficit de financiación para el suministro de agua en las zonas rurales, mediante la inversión en los hogares (Smits y Sutton, 2015).

Además del apoyo económico para sustituir los sistemas defectuosos, la Alcaldía municipal de Lebrija debe ofrecer mayor atención a la situación de abandono en la que viven los habitantes

de la vereda Río Sucio Alto mediante la inclusión de la comunidad a los planes de Desarrollo Sostenible. El apoyo del Gobierno es fundamental para brindar la asistencia que necesita la comunidad para suplir sus necesidades en términos de acceso a servicios de agua potable y saneamiento, sistemas adecuados de tratamiento y recolección de residuos sólidos, atención médica y educativa, creación de caminos y vías apropiadas, entre muchas otras.

Con el fin de analizar la conveniencia de la implementación de sistemas colectivos, se tuvieron en cuenta los resultados de la encuesta aplicada. Se propone realizar los estudios necesarios para determinar la factibilidad de instaurar un tanque de almacenamiento, al cual se conecten los domicilios D1, D2, D3, D4 y D5, ya que en esta zona de la vereda hay una fuente de abastecimiento que posiblemente tenga la capacidad de suplir suficiente cantidad de agua para las cinco viviendas. En los domicilios D6, D11, D13, D14, D16, D17, D19, D20, D24, D25, D26, D27, D28 y D29 las personas encuestadas afirmaron que poseían agua constante en sus hogares, incluso en época seca, motivo por el cual se propone que se mejoren las condiciones técnicas de sus sistemas con la correspondiente inversión por parte de la Alcaldía y se sigan las recomendaciones a nivel local que se exponen más adelante, para que mantengan su sistema de forma individual. En los domicilios restantes (D7, D8, D9, D10, D12, D15, D18, D21, D22 Y D23) las personas encuestadas manifestaron que sólo poseían agua en época lluviosa, por lo que se propone realizar los estudios necesarios para determinar la posibilidad de la conexión a una de las fuentes de abastecimiento permanentes más cercanas a su respectiva vivienda. En la Figura 10 se ilustra la propuesta formulada dentro del marco de la zona de estudio.

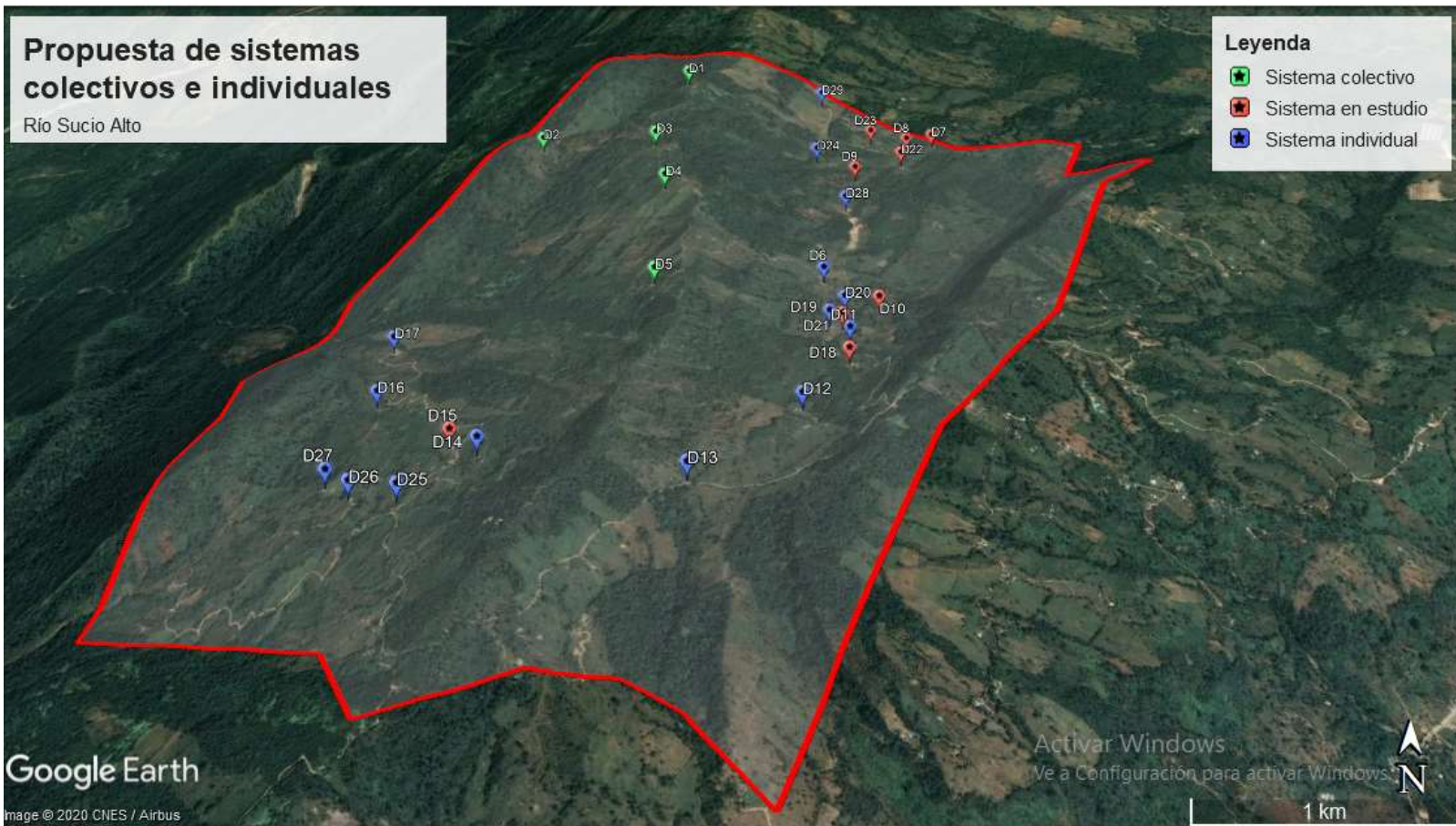


Figura 10. Propuesta de mejora del sistema de autoabastecimiento. Adaptado de Google Earth, 2019.

Para mejorar las condiciones de cada sistema individual a nivel local, es necesario concientizar a los habitantes de la vereda sobre la relevancia de mantener prácticas de higiene adecuadas que prevengan la transmisión de agentes patógenos, como lavarse las manos constantemente. Por otro lado, es esencial proteger las fuentes de abastecimiento de agua para garantizar que el recurso sea de calidad. Se recomienda establecer un perímetro de protección para evitar el acceso de personas y animales. Para la prevención y el control de la contaminación de las fuentes, se debe dar atención especial a las siguientes medidas (Aguero, Barrios y Lampoglia, 2008):

- Gestión de los residuos sólidos de origen animal para evitar la contaminación del agua superficial y subterránea.
- Disposición adecuada de los envases de pesticida o productos químicos.
- Disposición de un sistema de recolección adecuada y oportuna de basura.
- Mantenimiento de viviendas y zonas alrededor de los elementos del sistema aseadas y libres de elementos contaminantes.
- Disposición adecuada de heces (evitar la defecación en zonas abiertas y sujetas a arrastre)
- Disposición adecuada de restos de residuos sólidos y aguas residuales, por ningún motivo arrojar a fuentes de agua.
- Operación y limpieza adecuada de tanques sépticos.
- Reutilización de aguas.

En lo referente a la calidad microbiológica del agua, se propone como medida básica hervir el agua de consumo para prevenir las infecciones por *E. coli* y otros patógenos. Además de mantener los recipientes que tengan contacto con el agua, aseados y desinfectados. En América Latina y el Caribe, es el método más corriente para la desinfección de los suministros de agua a nivel domiciliario (Witt y Reiff, 1993). Es muy importante que los depósitos destinados a almacenar el agua que ya ha sido tratada estén protegidos para evitar que agentes como excrementos de animales, larvas de zancudos, hojas, ramas o cualquier otro material extraño vuelva a contaminar el agua. Además de realizarles el debido mantenimiento y limpieza, usando algún tipo de desinfectante para evitar la proliferación de fuentes de contaminación. Otro foco de contaminación por *E. coli* reside en los alimentos mal tratados, por lo que se debe lavarlos muy bien antes de consumirlos y cocinarlos completamente.

6. Conclusiones

La necesidad de realizar cambios en el sistema de autoabastecimiento actual de la vereda Río Sucio Alto, es evidente. Con el fin de mejorar los elementos del mismo y gradualmente reemplazarlos por completo, como medida básica la comunidad debe evaluar su comportamiento en términos de educación sanitaria e implícitamente de conciencia ambiental, para empezar a generar impactos positivos en su sistema, entorno y a nivel ambiental. El papel que desempeña la comunidad es de vital importancia para la creación de un sistema sostenible, mediante el buen uso que le den al mismo y el mantenimiento constante a los elementos que lo componen.

En relación a las generalidades del sistema se concluyó que el 96% de los hogares poseen sistemas individuales y utilizan distintas fuentes para el suministro de agua, con las que suplen sus necesidades domésticas y actividades productivas. Sin embargo, un mínimo porcentaje debe acarrear el agua hasta sus hogares. Los sistemas observados en la vereda se basaban en la captación del agua directamente de la fuente, se transportaba a través de mangueras de conducción y se almacenaba en tanques (86% de los casos analizados). La inversión inicial de estos sistemas, osciló entre \$50000 y \$600000 pesos. En relación al mantenimiento el monto variaba entre \$5000 y \$200000 pesos. Respecto a la suficiencia del agua, en época seca el agua es escasa para el 50% de los hogares analizados.

Adicionalmente, se encontró que en Río Sucio Alto se han presentado enfermedades de origen hídrico, como diarrea, dolores estomacales y amebiasis. Sin embargo, esto puede deberse a la falta de higiene que se observó en las viviendas, en los componentes del sistema y en sus alrededores. En general, las fuentes de autoabastecimiento de agua se emplean para usos múltiples, tanto para actividades domésticas, como productivas.

De las 28 muestras de agua de consumo analizadas el valor de *E. coli* promedio obtenido fue de aproximadamente 650 UFC/100 ml, el valor mínimo fue de 5 UFC/ 100 ml y el máximo 3803 UFC/ 100 ml. Los resultados se compararon con los valores estándares de agua para consumo humano recomendados en las Guías para la calidad del agua de consumo (OMS, 2018). A partir de la comparación, se dedujo que el agua que consumen los habitantes de la vereda Río Sucio Alto proviene de fuentes inseguras que representan un riesgo alto para la salud, al superar los niveles recomendados. Por ende, el agua no es apta para consumir sin antes realizarle un tratamiento previo, como hervirla, agregarle cloro o filtrarla, según la necesidad de cada hogar. Se advierte que la contaminación se debe principalmente a la ausencia de prácticas de higiene y mantenimiento adecuado de los elementos que componen cada sistema, a la falta de un sistema adecuado de disposición de residuos sólidos de origen humano y animal y al vertimiento de aguas residuales en las diferentes fuentes de agua.

La principal causa asociada al deterioro de la infraestructura actual de los sistemas de autoabastecimiento de la vereda se debe a la falta de inversión al mismo. Adicionalmente, las fallas en los elementos del sistema, como roturas en las mangueras de conducción, tanques de almacenamiento o grifos defectuosos, son una fuente de contaminación, ya que es posible que modifiquen la calidad del agua cambiando su condición a no apta para consumo. El gobierno está en la obligación de suministrar a las comunidades un suministro de agua de calidad y continuo. Se ha comprobado que, con el apoyo técnico y económico de los respectivos entes gubernamentales, el autoabastecimiento es la clave para solucionar las dificultades de provisión de agua en zonas rurales remotas. Por ejemplo, en Nicaragua, en donde la cooperación entre los usuarios y productores del sector privado y el sector público de agua y saneamiento ha

demostrado ser exitosa por varias razones, y además ha involucrado a las ONG como actores importantes en el desarrollo rural y el suministro de agua rural (Alberts y Zee, 2003).

7. Recomendaciones

En este proyecto de investigación se analizó la calidad microbiológica del agua en época lluviosa, ya que en ésta se presentan las condiciones de contaminación más críticas. Se recomienda que la Alcaldía municipal de Lebrija destine los recursos necesarios para realizar un análisis de calidad de agua más completo, en donde se analicen parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, tanto en época seca como en época lluviosa, con el objetivo de definir el tratamiento adecuado que la comunidad de la vereda debe aplicar al agua para asegurar su condición potable y como segunda finalidad, determinar si es necesario modificar los puntos de captación del agua y en caso afirmativo, realizar un estudio de la calidad de las posibles fuentes de agua que se usarían como segunda opción.

Es necesario evaluar la posibilidad de incluir a la comunidad a una red de acueducto y en caso de ser inviable, se recomienda realizar una investigación más profunda para evaluar la factibilidad de implementar sistemas colectivos en las zonas recomendadas dentro de la propuesta de mejora formulada, ya que los resultados del presente proyecto no son suficientes para determinarlo. Se requieren datos de la topografía de la vereda para determinar la altura suficiente del o de los tanques comunes para la zona de las viviendas D1, D2, D3, D4 y D5. Adicionalmente, es necesario realizar estudios hidrológicos para determinar si la capacidad de las fuentes a compartir puede abastecer a más de un hogar y preservar el caudal ecológico. En el caso de D7, D8, D9, D10, D12, D15, D18, D21, D22 y D23, las personas encuestadas manifestaron escasez de agua en época lluviosa, por lo que se recomienda, además de evaluar la

factibilidad de un sistema colectivo para esta zona, realizar un estudio sobre el aprovechamiento de aguas lluvias como solución a la disminución del recurso, en donde se determine la metodología y las alternativas adecuadas que permitan un abastecimiento de agua potable.

Referencias bibliográficas

- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). (2015). *Sostenibilidad y modelos de gestión de los sistemas rurales de agua potable: orientaciones para la realización de planes de sostenibilidad de los proyectos de agua en medio rural*. Recuperado de <https://www.aecid.es/Centro-Documentacion/Documentos/Publicaciones%20AECID/Sostenibilidad%20y%20MG%200161102.pdf>
- Agüero, R., Barrios, C., y Lampoglia, T. (2008). *Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldes y alcaldesas de municipios rurales y pequeñas comunidades*. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/LAMPOGLIA%20et%20al%20008.%20Orientaciones%20sobre%20agua%20y%20saneamiento%20para%20zonas%20rurales.pdf
- Alberts, J., & Zee, J.J. (2003). *A multi sectoral approach to sustainable rural water supply: the role of the rope handpump in Nicaragua*. Recuperado de https://joinforwater.be/sites/default/files/library_assets/W_PRO_20_E8_Beyond_Domestic.pdf#page=218
- Aquagenx. (2016). Introduction to drinking water quality. *A Layperson's Guide to Water Quality, Waterborne Diseases and Water Quality Monitoring*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/lhirsh/introduction-to-drinking-water-quality-a-laypersons-guide-to-water-quality-waterborne-diseases-and-water-quality-monitoring>
- Babu, R., & Chaudhuri, M. (2005). Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. *Journal of water and health*, 3(1), 27-30.

- Benavides, H. (2010). *Diagnóstico de la sostenibilidad de un abastecimiento de agua e identificación de las propuestas que la mejoren*. (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Butterworth, J., Sutton, S., & Mekonta, L. (2013). Self-supply as a complementary water services delivery model in Ethiopia. *Water Alternatives*, 6(3), 405–423. Recuperado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84886918869&partnerID=40&md5=a4b2c4df1c145bab8ea5617ea7accb50>
- Decreto 1594. *Usos del agua y residuos líquidos*. Colombia, 26 de junio de 1984.
- Domínguez, I., Torres-López, W., Restrepo-Tarquino, I., Paterson, C., and Gowing, J. (2016). Self-supply as an alternative approach to water access in rural scattered regions: Evidence from a rural microcatchment in Colombia, *Ing. Univ.*, vol. 20, no. 1, pp. 107-126. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.iyu20-1.ssaa>
- Domínguez, I., Torres-López, W., Restrepo-Tarquino, I., Oviedo-Ocaña, R., & Smout, I. (2014). Livelihood factors, explaining water consumption in a (de facto) multiple uses water system in Colombia. *Ingeniería y Universidad*, 18(1), 7-25
- Edberg, S.C., Rice, E.W., Karlin, R.J., Allen, M.J. (2000). *Escherichia coli: The best biological drinking water indicator for public health protection*. doi: 10.1111/j.1365-2672.2000.tb05338.x
- Franco, P. y Agamez, S. (2016). *Autoabastecimiento de agua en zonas rurales: Caso de estudio vivienda rural del páramo de Berlín (Santander)*. (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Garfi, M., & Ferrer-Martí, L. (2011). Decision-making criteria and indicators for water and sanitation projects in developing countries. *Water Science and Technology*, 64(1), 83-101.

Google Maps. (2020). *Distancia Lebrija - Vereda Río Sucio Alto*. [Mapa vista satelital].

Recuperado de <https://www.google.es/maps/dir/Lebrija,+Santander/7.16600,+73.34302+/@7.1462253,-73.3146362,12443m/data=!3m2!1e3!4b1!4m1!4m10!1m5!1m1!1s0x8e683d90073dfbbb:0x621e5a72d2a9b1da!2m2!1d-73.216672!2d7.111342!1m3!2m2!1d-73.34302!2d7.166>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). Reporte de avance del

Estudio Nacional del agua. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/24277/0/Cartilla+ENA+pags.pdf/41815df7-5a90-4d9ebcb4-a590c2702087>

Maiga, H., Maiga, B., & Sutton, S. (2006). Self-supply in Mali. *Waterlines*, 25(1), 13–14.

<https://doi.org/10.3362/0262-8104.2006.034>

Márquez , O., & Ortega , M. (2017). Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz. *Revista Mexicana de Opinión Pública*, 23, 41–59.

<https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fcpys.24484911e.2017.23.58515>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018). Plan director. Agua y saneamiento básico.

Visión estratégica 2018 – 2030. Recuperado de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/Plan%20Director.pdf>

Ministry of Water and Energy. (2012). *National policy guidelines for Self-supply: guidelines to support contribution of improved Self-supply to universal access*. Recuperado de:

https://www.ircwash.org/sites/default/files/ssap_national_policy_guidelines.pdf

Munkonge, M., & Harvey, P. (2009). *Assessing the potential for self-supply in Zambia* (Version

1). figshare. <https://hdl.handle.net/2134/29857>

- Naciones Unidas. (1992). *Protección de la calidad y el suministro de los recursos de agua dulce: aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce*. Recuperado de <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter18.htm>
- Odonkor, S. T., & Ampofo, J. K. (2013). Escherichia coli as an indicator of bacteriological quality of water: an overview. *Microbiology research*, 4(1), e2-e2.
- Oluwasanya, G., Smith, J., & Carter, R. (2011). Self supply systems: Urban dug wells in Abeokuta, Nigeria. *Water Science and Technology: Water Supply*, 11(2), 172–178. <https://doi.org/10.2166/ws.2011.026>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *E. Coli. Datos y cifras*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda, 4a ed + 1a adenda. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Agua Datos y cifras*. Recuperado de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- PNUD,. COSUDE,. CEPIS,. UNATSABAR,. Banco Mundial. Programa de Agua y Saneamiento. (1999). *Estudio de la calidad del agua en sistemas de abastecimiento rural departamentos de Ancash, Apurímac, Cajamarca y Cusco*. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/read/32768047/estudio-de-la-calidad-del-agua-en-sistemas-de-bvsde>

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2015). *Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento*. Recuperado de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-developmentgoals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- Puerta, J., M. (2016). *Estudio sobre el funcionamiento y la sostenibilidad de las intervenciones de agua potable y saneamiento en áreas rurales: Programa de agua potable y saneamiento de pequeñas comunidades en Paraguay*. Recuperado de [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estudio-sobre-el-funcionamiento-y-la-sostenibilidad-de-las-intervenciones-de-agua-potable-y-saneamiento-en-%C3%A1reas-Rurales-Programa-de-Agua-Potable-y-Saneamiento-de-Peque%C3%B1as-Comunidades-en-Paraguay-\(PR0118\).pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estudio-sobre-el-funcionamiento-y-la-sostenibilidad-de-las-intervenciones-de-agua-potable-y-saneamiento-en-%C3%A1reas-Rurales-Programa-de-Agua-Potable-y-Saneamiento-de-Peque%C3%B1as-Comunidades-en-Paraguay-(PR0118).pdf)
- Resolución A/RES/64/292. *The human right to water and sanitation*. Asamblea General de las Naciones Unidas. 28 de Julio de 2010.
- Resolución 2115. Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Junio 22 de 2007.
- Romero, M. (2008). *Tratamientos utilizados en potabilización de agua*. Recuperado de <http://www.ozonoalbacete.es/wp-content/uploads/2011/08/estudio-agua-ozono.pdf>
- Santos, J., Pagsuyoin, S. A., & Latayan, J. (2016). A multi-criteria decision analysis framework for evaluating point-of-use water treatment alternatives. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1263-1279.
- Smits, S., & Sutton, S. (2012). *Self supply: the case for leveraging greater household investment in water supply*. Recuperado de <http://docplayer.net/164207486-Why-invest-in-accelerating-self-supply-self-supply-the-case-for-leveraging-greater-household-investment-in-water-supply.html>

- Smits, S., & Sutton, S. (2015). *Self supply: the case for leveraging greater household investment in water supply*. [Reprinted]. Recuperado de https://www.ircwash.org/sites/default/files/084-201502triple-s_bn03defweb_1.pdf
- Smits, S.f; Tamayo, S. P.; Ibarra, V.; Rojas, J.; Benavidez, A.; Bey, V. (2012). *Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia*. Recuperado de <https://publications.iadb.org/es/gobernanza-y-sostenibilidad-de-los-sistemas-de-agua-potable-y-saneamiento-rurales-en-colombia>
- Soto, A. (2014). *La sostenibilidad de los sistemas de agua potable en el centro poblado nuevo Perú, Distrito La Encañada – Cajamarca* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Sutton, S. (2004). Preliminary desk study of potential for self supply in sub-Saharan Africa. *WaterAid and the Rural Water Supply Network, London (October)*.
- Wegner A. (2015). *Domestic water supply in rural Vietnam – Between self-supply and piped schemes*. doi:10.5445/IR/1000050255
- Witt, V. M., & Reiff, F. M. (1993). *La desinfección del agua a nivel casero en zonas urbanas marginales y rurales*. Recuperado de http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/Desinfeccion_Agua_Casero_Zonas_%20Urbanas_%20Marginales_Rurales.pdf
- World Wildlife Fund Colombia. (2019). *Agua en Colombia*. Recuperado de https://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/
- WWAP., UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>