RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Stefan Andrés Gomez Navarro Jhon Sebastian Becerra Ascanio
FACULTAD	Facultad de Ingeniería
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería civil
DIRECTOR	Agustín Armando MacGregor Torrado
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis del sistema hidrosanitario de la vereda del agua de la virgen del municipio de Ocaña, N. STD, basado en las normativas vigentes en Colombia
TITULO EN INGLES	Analysis of the hydrosanitary system of the village of Agua de la Virgen in the municipality of Ocaña, N. STD, based on current regulations in Colombia

RESUMEN
(70 palabras)

Se estudió el sistema hidrosanitario del corregimiento El Agua de la Virgen para determinar si el agua consumida era potable y evaluar los sistemas de acceso y saneamiento. Se encontró que no cumplía con las normativas vigentes y que había un avance mínimo en el ODS 6. Para mejorar la situación, se creó una cartilla que ofrece conocimientos básicos sobre sistemas hidrosanitarios rurales, sus componentes esenciales y recomendaciones generales.

RESUMEN EN INGLES

The hydro-sanitary system of the Agua de la Virgen district was studied to assess if the water consumed was potable and to evaluate the existing access and sanitation systems. It was found that the system did not meet current regulations and there was minimal progress on SDG 6. To address this, a booklet was created to provide basic knowledge on rural hydro-sanitary systems, including essential components and general recommendations.

PALABRAS CLAVES	Sistemas de abastecimiento de agua potable, zona rural, saneamiento básico, acceso al agua.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Potable water supply systems, rural area, basic sanitation, water access

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 115	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 48	CD-ROM: 0

Análisis del sistema hidrosanitario de la vereda del agua de la virgen del municipio de Ocaña, N. STD, basado en las normativas vigentes en Colombia

Jhon Sebastian Becerra Ascanio

Stefan Andrés Gomez Navarro

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

MGS. Augustín Armando Macgregor Torrado

02 de septiembre del 2024

Nota

El comité curricular del plan de estudios de Ingeniería Civil, según consta en el Acta No. 0015 de fecha 06 de mayo de 2024, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los docentes Susana María Plata Jiménez y Dibrey Paola Quintero Criado.

Dedicatoria

A mi mamá Sandra Patricia, quien cada día de su vida ha luchado por los anhelos de mi corazón, quien nunca ha desfallecido ni dudado de mí, quien cultivo con muchísimo amor mis ganas de salir adelante, quien me enseñó a reconocer mis capacidades y quien siempre me acompaño en cada uno de los altibajos de este hermoso proceso y a quien el día de hoy tengo el honor de darte este título con la ilusión que me pueda ver y acompañar por muchos años más llena de salud y felicidad.

A mis hermanos, a Jasbiu quien es mi motivación desde que llego a este mundo, a Brayan quien es el apoyo que nunca me ha faltado, a ustedes, a quienes les deseo los más grandes éxitos en sus vidas y a quienes espero seguir viendo triunfar y cumpliendo sus sueños más profundos.

A mi abuela María Lusania, quien siempre ha sido ese refugio lleno de amor y comprensión que ha acogido en todos los momentos difíciles de mi vida.

A mis tíos Norela Rodríguez y German Gomez quienes siempre me ha brindado su cariño y apoyo desde que tengo memoria, que Dios los proteja y los guarde siempre.

A mi abuelo Luis Francisco Gomez (E.P.D.), quien sembró en mí la ilusión de cumplir siempre los sueños de mi corazón tal como él lo hizo, y quien en el presente ya no me puede ver,

Stefan Andrés Gomez Navarro

Agradecimientos

A mi papá Yamil que me ha brindado su mano amiga, un hogar y la posibilidad de mejorar cada día de mi vida en pro de mis sueños.

A todos mis familiares, los cuales me motivaron, acompañaron e hicieron parte de este camino universitario.

A mis Docentes, Jonathan Becerra, Leandro Ovallos, Jesús Márquez y Dibrey Paola Quintero, quienes me motivaron, guiaron y corrigieron tantas veces con tanto amor, que me fue posible llegar al final de este camino.

A la querida Yisneidy Ballesteros, quien siempre tuvo una cara sonriente y una disposición a brindarme su ayuda en cada cosa que necesite en mi plan de estudios.

A mis amigos; Nahum Armesto quien de principio a fin camino conmigo en el hacernos profesionales, a Jhon Becerra quien con su calidez humana me brindo su apoyo, a Daniela Gomez quien fue fundamental en mi proceso académico, a Diego Rojas quien desde el colegio me brinda su amistad incondicional, a Manuel Vergel quien ha sido una compañía invaluable y a Tatiana Plata quien la vida tuvo el gusto de hacer mi hermana.

A la Asociación Colombiana de Estudiantes Universitarios Ocaña, quien fue mi escuela de formación política y social y a quien agradezco en el alma todo lo brindado.

Stefan Andrés Gomez Navarro

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres. por su apoyo inquebrantable. A mi padre John Jairo Becerra, por su sabiduría, por enseñarme el valor del trabajo duro y mantener el esfuerzo constante, a mi madre, por creer en mí y acompañarme en este largo proceso. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mis amados abuelos Aidé Ascanio y Demecio Ascanio, quienes con su sabiduría y amor incondicional me han guiado a lo largo de mi vida. Gracias por ser mi refugio, por enseñarme el valor de la perseverancia, y por todas las lecciones de vida que siempre llevaré conmigo. Esta tesis es un reflejo del esfuerzo y los valores que me inculcaron.

A mis queridos tíos, principalmente a mi tío Jose Luis Ascanio (E.P.D.), quien con su guía y dedicación hizo de mi infancia un tiempo lleno de felicidad y aprendizaje, encaminándome por el camino correcto mientras se busca lo divertido. Gracias por estar siempre presentes, por sus consejos, sus risas, y por brindarme un hogar donde siempre me sentí bienvenido. Esta tesis es una pequeña muestra de todo lo que he logrado gracias a su apoyo incondicional.

Jhon Sebastián Becerra Ascanio

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que contribuyeron al desarrollo de esta monografía, ya que sin su apoyo no habría podido llegar a este punto tan importante en mi vida.

A los docentes que más influencia dieron a lo largo de este tiempo, Agustín Armando Macgregor, Jesús David Márquez y Haidee Yulady Jaramillo, por su invaluable orientación, apoyo continuo y por compartir su vasto conocimiento en cada uno de sus ramas de estudio. Agradezco también a la querida Yisneidy Ballesteros quien siempre estuvo atenta ante las necesidades, atenciones y peticiones de mi parte.

Quiero agradecer a la Universidad de Francisco de Paula Santander seccional Ocaña y al Facultad de Ingenierías por brindarme los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación y haberme dado la oportunidad de realizar un semestre de intercambio presencial, ayudándome a crecer como individuo y como ingeniero civil.

A mi familia, por su amor, paciencia y constante apoyo durante estos años de estudio. A mis amigos y compañeros de clase, Stefan Andrés Gomez, Aura Ampuero, Rafael Reyes, Rudy Rangel, Andrea Yurani Rincón, Juan Pablo Quintero, por su colaboración y por hacer de esta experiencia algo memorable.

Jhon Sebastián Becerra Ascanio

Índice

Introducción 14

Capitulo 1 Análisis bibliométrico 16

1.1 Parcela de tres campos 17

1.2 Nube de palabras 18

1.3 Palabras clave o más frecuentes 19

1.4 Mapa de arboles 20

1.5 Red de concurrencia 21

1.6 Autores a lo largo de los años 22

1.7 Documentos más citados a nivel mundial 23

1.8 Colaboración entre países 24

1.9 Producción científica por país 25

1.10 Afiliaciones más importantes 26

1.11 Documentos más citados 27

Capitulo 2 Evolución del marco legal y normativo sobre el agua y el saneamiento básico en zonas rurales 29

2.1 Antecedentes del suministro de agua potable y saneamiento básico en zonas rurales 29

2.1.1 Historia del suministro de agua potable en zonas rurales en Colombia 30

2.1.2 Evolución del saneamiento básico en áreas rurales 30

2.1.3 Problemáticas históricas en el suministro y saneamiento en áreas rurales 31

2.2 Marco Legal y Normativo sobre el Agua y Saneamiento básico en Zonas Rurales de Colombia 31

2.2.1 Normas y leyes relevantes para el sector de agua y saneamiento en zonas rurales 32

2.2.2 Políticas y programas gubernamentales de apoyo a comunidades rurales 40

2.2.3 Análisis de la implementación del marco normativo en comunidades rurales 46

Capitulo 3 Diagnóstico y propuesta 50

3.1 Características de la vereda del Agua de la Virgen. 50

3.1.1 Caracterización 50

3.1.2 Usos del Agua en la vereda Agua De La Virgen 55

3.1.3 Gestión del Agua en Ocaña 62

3.2 Infraestructura existente de agua potable y saneamiento básico 63

3.2.1 Descripción de la infraestructura para la potabilidad 65

3.2.2 Descripción de la infraestructura para el saneamiento básico 70

3.3 Cobertura y calidad del servicio de agua y alcantarillado en la comunidad. 72

3.3.1 Cobertura del Servicio de Agua 72

3.3.2 Calidad del Servicio de Agua 74

3.3.3 Cobertura del Servicio de Alcantarillado 76

3.3.4 Calidad del Servicio de saneamiento 78

3.4 Identificación de deficiencias y problemas en el sistema hidrosanitario de la vereda 80

3.4.1 Análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras 80

3.4.2 Falta de Acceso a Agua Potable 90

3.4.3 Deficiencias en el Saneamiento Básico 91

3.4.4 Cobertura y Calidad del Servicio 91

3.5 Sugerencias a considerar en Sistemas Hidrosanitarios en Comunidades Rurales 92

3.5.1 Recomendaciones Urgentes 92

3.5.2 Recomendaciones Generales 93

3.6 Propuestas de mejora para la infraestructura y gestión del sistema 95

3.6.1 Propuesta 1 95

3.6.2 Propuesta 2 97

3.6.3 Propuesta 3 100

Capitulo 4 Elaboración de una cartilla informativa con recomendaciones para la comunidad y autoridades locales 103

Capitulo 5 Conclusiones 106

Capitulo 6 Referencias 109

Lista de figuras

Figura 1 Producción científica anual....17
Figura 2 Parcela de tres campos.... 18
Figura 3 Nube de palabras.... 19
Figura 4 Palabras clave 20
Figura 5 Mapa de arboles.... 21
Figura 6 Red de concurrencia....22
Figura 7 Autores a lo largo de los años.... 23
Figura 8 Documentos más citados a nivel mundial 24
Figura 9 Colaboración entre países....25
Figura 10 Producción científica por país 25
Figura 11 Afiliaciones más importantes.... 26
Figura 12 Georreferencia de Colombia.... 50
Figura 13 Georreferencia de Norte de Santander.... 51
Figura 14 Georreferencia de La vereda El Agua de La Virgen 51
Figura 15 Georreferencia de los puntos principales del sistema de abastecimiento del agua..... 52
Figura 16 Toma de encuestas.... 53
Figura 17 Toma de encuestas.... 53
Figura 18 Habitantes por hogar.... 54
Figura 19 Nivel educativo en la vereda 55
Figura 20 Principal fuente de agua.... 55
Figura 21 Principales de usos del agua 56
Figura 22 Tratamiento realizado por los habitantes.... 57

Figura 23 Consideración de la potabilidad del agua 58
Figura 24 Problemas de salud relacionados con el agua 59
Figura 25 Animales de crianza en la vereda 60
Figura 26 Obtención del agua para el cuidado de los animales 60
Figura 27 Cultivos presentes 61
Figura 28 Obtención del agua para el riego agrícola 61
Figura 29 Tanque de captación por filtración 67
Figura 30 Problemas con el servicio del agua 67
Figura 31 Frecuencia de problemas con el suministro de agua 68
Figura 32 Tanques de almacenamiento en los hogares 68
Figura 33 Tanque principal de almacenamiento 69
Figura 34 Conexión a la red pública de agua potable 70
Figura 35 Método para deshecho de aguas residuales 71
Figura 36 Problemas de obstrucción en el sistema sanitario 71
Figura 37 Frecuencia de agua de la red publica 73
Figura 38 Satisfacción con la calidad del agua 74
Figura 39 Frecuencia de mantenimiento del sistema de agua potable 75
Figura 40 Nivel de satisfacción en el manejo de aguas residuales 77
Figura 41 Disposición de aguas residuales en los hogares 77
Figura 42 Frecuencia del mantenimiento al sistema de alcantarillado 79
Figura 43 Tipos de problemas con el sistema de saneamiento 79
Figura 44 Filtro, coagulador, seditubos 97
Figura 45 Vista en planta y en corte de una fosa séptica prismática retangular 100

Figura 46 Consideración de la información sobre el manejo adecuado del agua potable y las aguas servidas..... 103

Figura 47 Consideración sobre la presencia gubernamental en la vereda..... 104

Figura 48 Informes a las autoridades competentes sobre los problemas relacionados con el agua o sistema de alcantarillado 104

Lista de tablas

Tabla 1 Muestra de documentos a analizar 16

Tabla 2 Documentos más citados 27

Tabla 3 Resultados análisis fisicoquímico y microbiológico de la captación 82

Tabla 4 Resultados análisis fisicoquímico y microbiológico del almacenamiento 82

Tabla 5 Resultados análisis fisicoquímico y microbiológico de la escuela primaria 83

Tabla 6 Comparación entre las muestras y los Límites Normativos 84

Tabla 7 Parámetros del IRCA De las muestras 89

Introducción

En Colombia, numerosas zonas rurales, como la vereda Agua de la Virgen en Ocaña, Norte de Santander, aún carecen de acceso adecuado a agua potable y saneamiento básico, a pesar de ser estos derechos fundamentales esenciales para el bienestar humano. Aunque se han realizado esfuerzos para mejorar la infraestructura, persisten retos en cuanto a la calidad del agua, la cobertura del servicio y la viabilidad a largo plazo de los sistemas existentes.

La presente investigación propone examinar en profundidad el estado actual de la infraestructura de agua y saneamiento en esta comunidad. El estudio busca identificar las carencias presentes y proponer mejoras fundamentadas en la normativa colombiana vigente.

La metodología de este trabajo comprende un análisis bibliométrico exhaustivo sobre sistemas hidrosanitarios rurales, una revisión minuciosa de la evolución del marco legal y normativo en Colombia relacionado con el agua y saneamiento en áreas rurales, y una evaluación detallada de la situación en la vereda Agua de la Virgen. Esta última fase se basará en datos recopilados mediante encuestas a los residentes, inspecciones técnicas de la infraestructura y un análisis del contexto local.

Este estudio cobra relevancia por su enfoque en desarrollar soluciones prácticas y duraderas para elevar la calidad de vida en zonas rurales mediante el acceso a servicios básicos de agua y saneamiento. Así mismo, la investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6, que aspira a asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y saneamiento para todos. Los resultados de este trabajo ofrecerán recomendaciones específicas que podrán ser implementadas por las autoridades para optimizar la

infraestructura y administración del sistema hidrosanitario en la vereda Agua de la Virgen, sirviendo además como modelo para otras comunidades rurales que enfrentan desafíos similares.

Capitulo 1 Análisis bibliométrico

Para la realización de este proyecto se realizó un acopio de información extraída de scopus la cual es una base de datos de citas y resúmenes de literatura científica revisada por pares, en la cual al ingresar la ecuación de búsqueda AND water AND sanitation AND investigaciones.

Se analizo la información obtenida en bibliometrix y se le aplico un filtro de tiempo donde se delimito desde el primer estudio realizado en 1976 hasta el año inmediatamente anterior 2023 con un total de 279 documentos y se obtiene esta información como la definitiva a trabajar.

Tabla 1

Muestra de documentos a analizar

Descripción del documento	Resultados	Porcentaje
artículos	204	73,12%
libros y capítulos de libros	10	3,58%
artículos de conferencia, documento de sesión y demás	65	23,30%

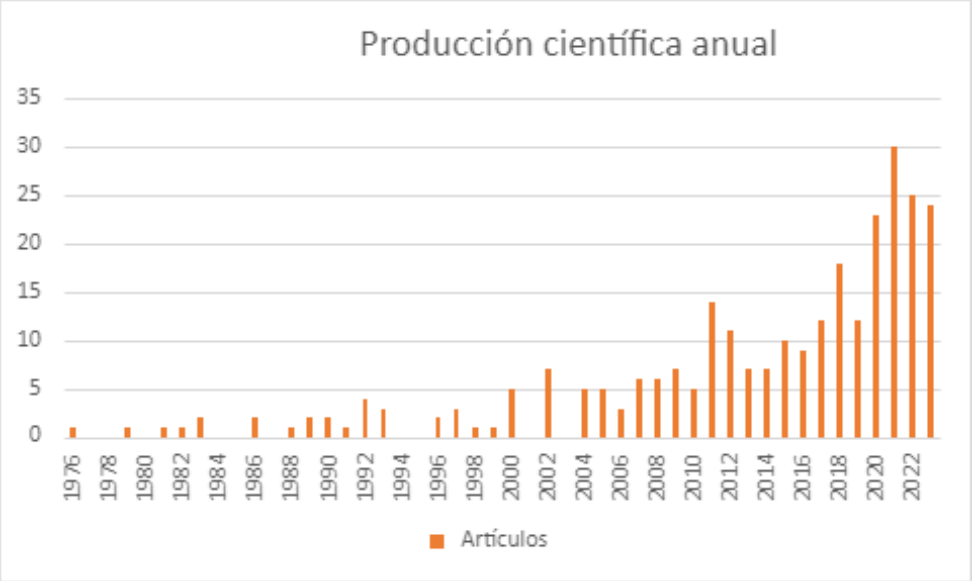
Nota. Tomado de (autores, 2024)

En la revisión inicial se encontró que la tasa de crecimiento anual de investigación es del 7% (Ver Figura 1) lo que indica una baja producción científica en la historia pues hasta el 2016 después de 40 años se había producido tan solo un total de 135 documentos que representarían un 48,39% de la producción científica mundial, dejándole a los siguientes 7 años un 51,61% de

la misma, donde en los años de la pandemia la producción científica tuvo su máximo pico histórico.

Figura 1

Producción científica anual



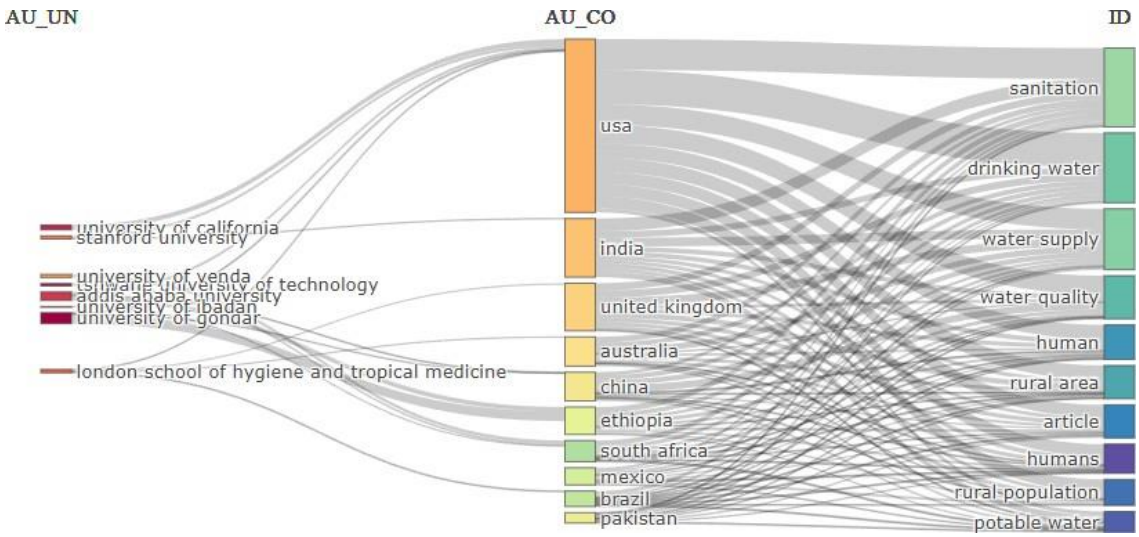
Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.1 Parcela de tres campos

En la parcela de tres campos (ver Figura 2) se ve cómo las universidades de varios países de Europa, Asia y Estados unidos son quienes contribuyen mayormente a diversas áreas de estudio relacionadas con el agua, saneamiento, agua potable, calidad del agua, higiene, sostenibilidad, suministro rural de agua y la relación que esta tiene con la salud pública y la mejora en las condiciones de vida de la población mundial, mientras que países africanos y latinoamericanos están situados abajo en las producciones e investigaciones científicas relacionada a estos temas.

Figura 2

Parcela de tres campos



Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.2 Nube de palabras

La nube de palabras (ver Figura 3) nos da los temas claves que se eligieron para la selección de la bibliografía, resaltando en mayor tamaño como indicador de frecuencia el uso de las palabras en los estudios destacando, Water supply (suministro de agua), sanitation (saneamiento), Drinking Water (agua potable), Rural área (zona rural) entre otras.

Figura 3

Nube de palabras



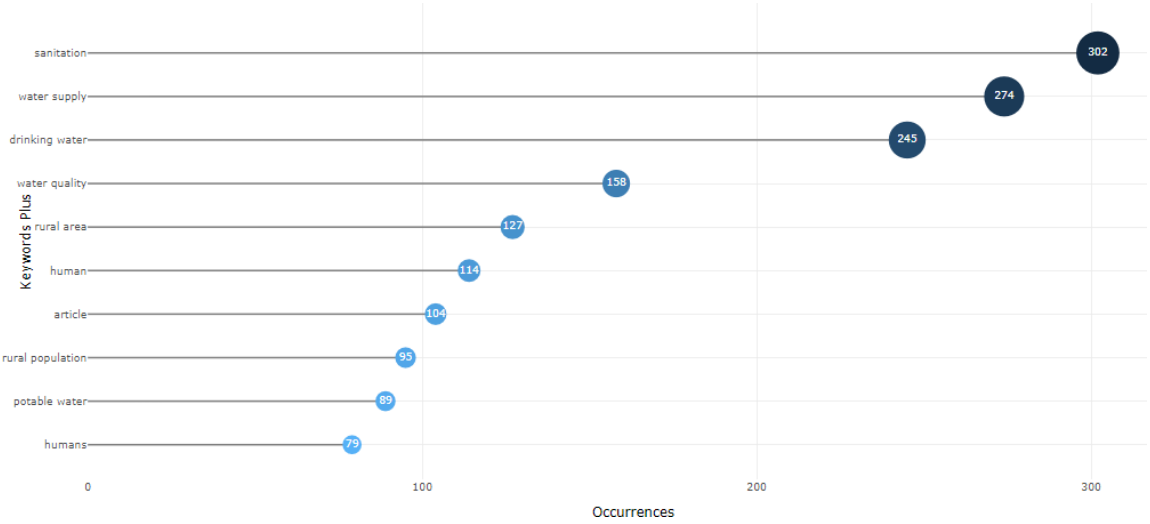
Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.3 Palabras clave o más frecuentes

Como se puede ver en el grafico (ver Figura 4) las palabras clave y más frecuentes mencionadas en los estudios e investigaciones científicas son saneamiento, suministro de agua y agua potable, seguido de palabras como población rural y zona rural, estas palabras en la literatura científica son fundamentales al momento de estudiar estos temas debido a que la investigación y relación entre estas palabras es corta en estos temas a nivel mundial y casi nula en regiones como latino América.

Figura 4

Palabras clave



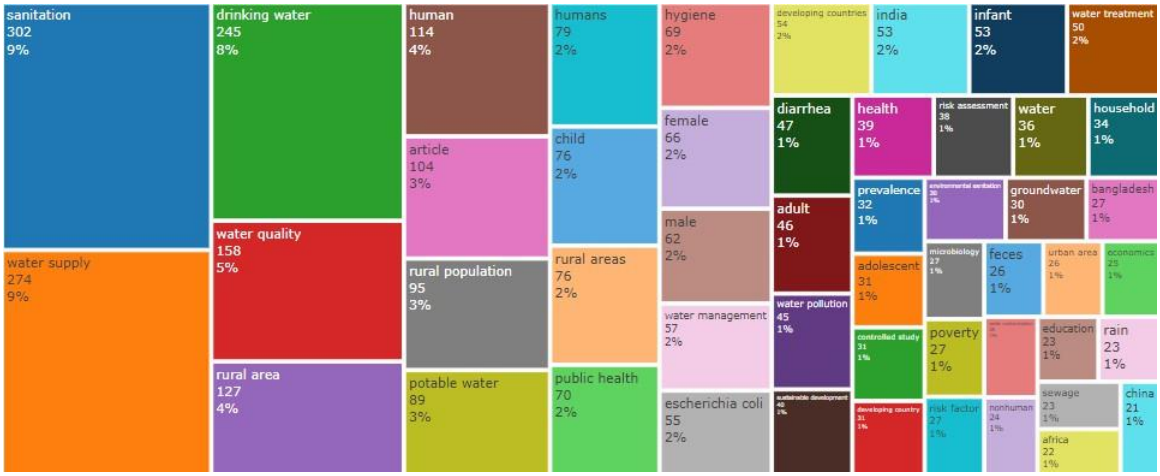
Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.4 Mapa de arboles

El mapa de árboles (ver Figura 5) es la interpretación porcentual con las que las palabras claves aparecen en la literatura científica a nivel mundial, siendo saneamiento y suministro de agua las que lideran el porcentaje con un 9% cada una, seguidas de agua potable con un 8%, calidad del agua con un 5%, y zona rural con un 4% de las investigaciones, artículos y literatura en general.

Figura 5

Mapa de arboles

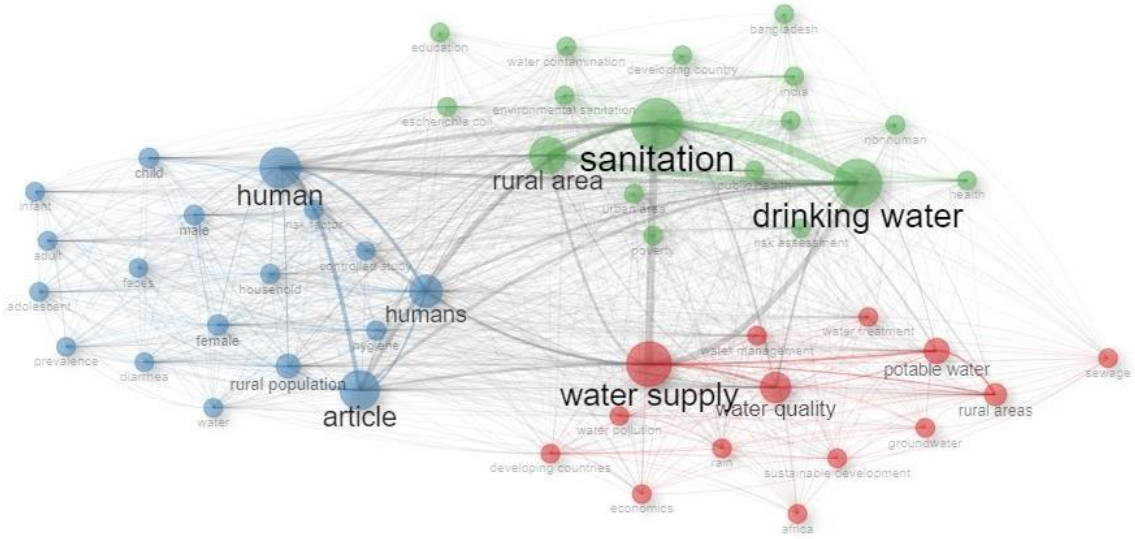


Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.5 Red de concurrencia

Esta red (ver Figura 6) nos señala la relación que tienen estas palabras entre ellas y la iteración con la que se han mostrado a lo largo de la historia, teniendo un mayor tamaño las que más se correlacionan entre ellas, viendo una claro nexo en términos como el saneamiento, con el suministro de agua, el agua potable, zona rural y la palabra humano, una gran referencia es decir que estos temas y apuestas de la ingeniería son fundamentales para el desarrollo de la continua mejora en las condiciones de vida de las personas en las zonas rurales, que la investigación y los avances de la sociedad en temas como el acceso al derecho universal y fundamental al consumo de agua potable y saneamiento básico cada vez tienen una mayor conexión entre ellos y abra una mayor necesidad de estudiarlos e investigarlos.

Figura 6
Red de concurrencia



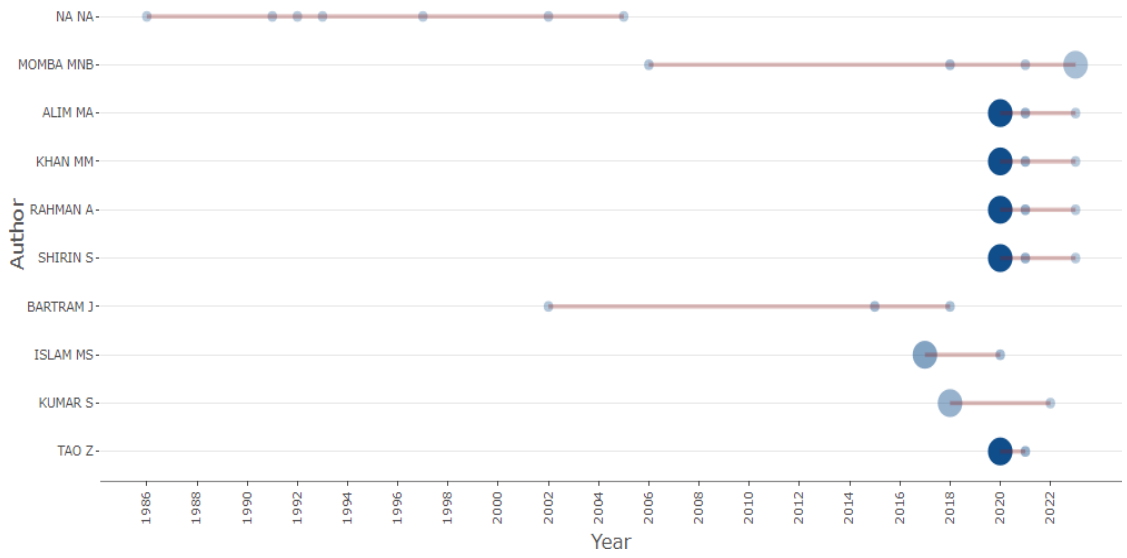
Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.6 Autores a lo largo de los años

En el grafico (ver Figura 7) se puede observar la producción científica de los autores a lo largo del tiempo, resaltando notablemente el aumento en la producción desde el 2017 y siendo el 2020 el año donde más literatura se produjo, entendiendo que este año fue el de la pandemia del COVID-19 y que era notable la falta de acceso al agua potable y saneamiento en el que se encontraban muchas comunidades del mundo, despertando así un interés en la comunidad científica que aborda estos temas, destacándose MOMBA MNB quien ya cuenta con 17 años dedicados a la producción científica.

Figura 7

Autores a lo largo de los años

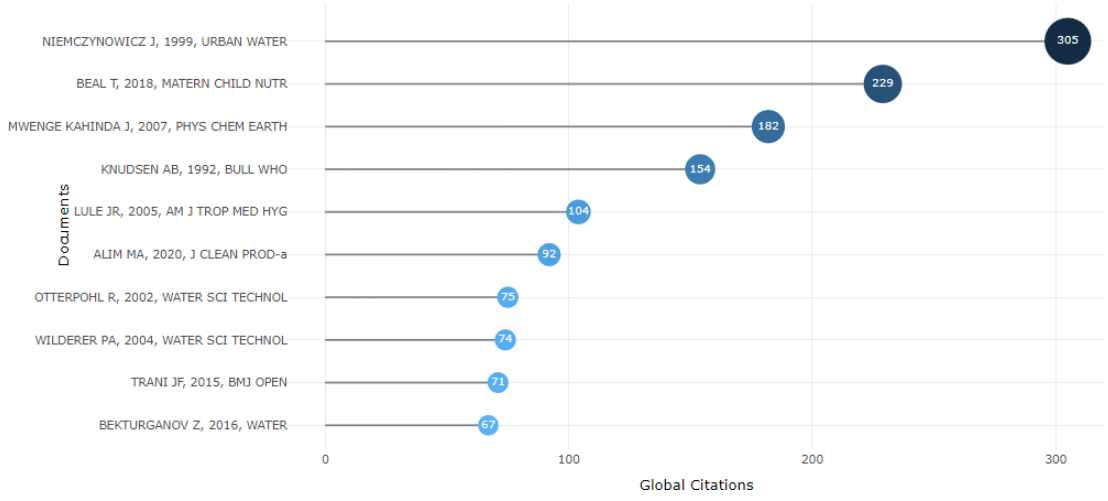


Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.7 Documentos más citados a nivel mundial

La gráfica (ver Figura 8) destaca los documentos más citados a nivel mundial. El documento con mayor número de citas es "NIEMCZYNOWICZ J, 1999, URBAN WATER" con 305 citas. Para llevar a cabo estas investigaciones, es suficiente emplear términos simples, como saneamiento, suministro de agua y agua potable, seguido de palabras como población rural y zona rural, que en la comunidad científica están interrelacionados. Esto nos permite acceder a una amplia cantidad de información sobre estos temas, ya que su aparición en la literatura es bastante frecuente.

Figura 8
Documentos más citados a nivel mundial

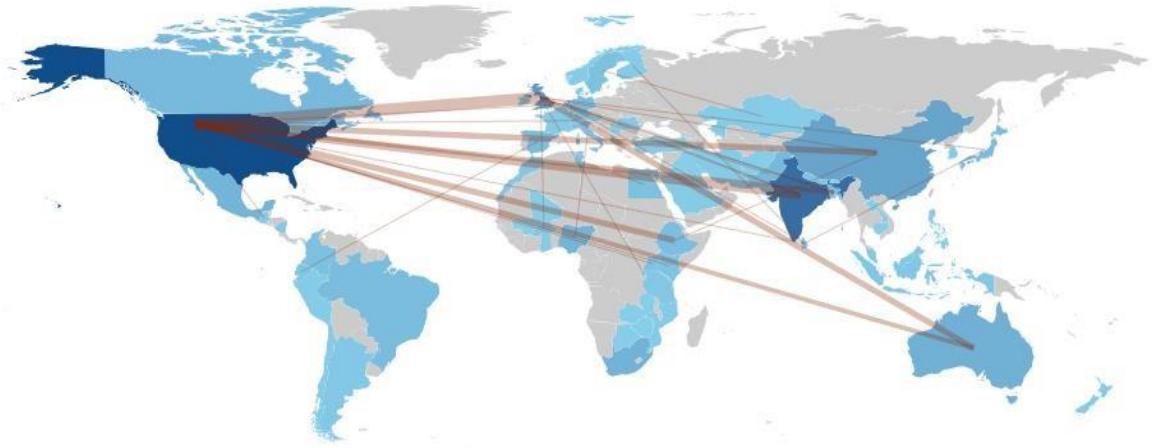


Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.8 Colaboración entre países

Este mapa (ver Figura 9) nos señala la colaboración científica entre los distintos países, resaltando las relaciones que existen en el ámbito de la investigación mundial. Las líneas que cruzan el mapa indican las rutas de colaboración e intercambio científico. Se observa que las conexiones más preponderantes se dan entre Estados Unidos y países como India, Reino Unido y Australia, lo que sugiere una fuerte relación en proyectos de investigación y publicación conjunta. Las áreas en azul oscuro indican alta actividad científica. Sin embargo, América Latina está casi ausente en estas redes, reflejando la poca integración de la región en la investigación global. Esta representación visual es fundamental para entender cómo se distribuye y se comparte el conocimiento científico a nivel global, destacando la importancia y la necesidad de la colaboración internacional para el avance de la ciencia y la tecnología en las zonas remotas e inaccesibles del mundo, donde, así como las investigaciones, el derecho universal y fundamental al acceso al agua potable y saneamiento tampoco llega.

Figura 9
Colaboración entre países



Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.9 Producción científica por país

Esta imagen (ver Figura 10) muestra los diez países con mayor producción de documentos científicos en donde se puede notar que Estados Unidos es el país que más publicaciones tiene con un total de 115 y que países como Brasil y México, ya entran en la lista con más de 20 producciones científicas cada una.

Figura 10
Producción científica por país

País	Frecuencia
EE.UU	115
INDIA	92
Reino Unido	35
AUSTRALIA	31
PORCELANA	31
PAKISTÁN	25
ETIOPÍA	24
MÉXICO	23
BRASIL	21
SUDÁFRICA	21

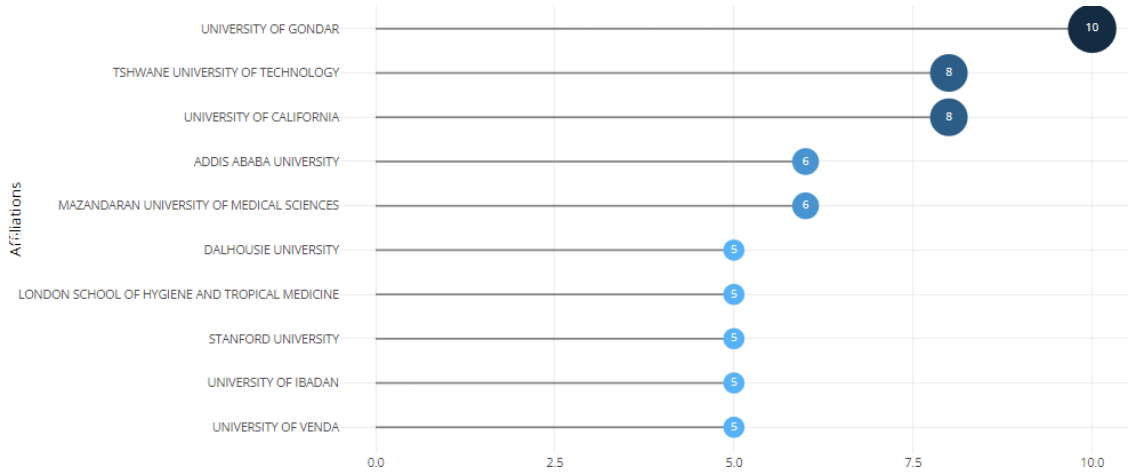
Nota: Tomado de (autores, 2024)

1.10 Afiliaciones más importantes

Este gráfico (ver Figura 11) nos señala la cantidad de artículos publicados por las 10 instituciones con mayor producción académica en el mundo. La Universidad de Gondar de Etiopía encabeza la lista con 10 artículos, seguida por la Universidad Tecnológica de Tshwane de Sudáfrica y la Universidad de California de EE. UU, cada una con 8 publicaciones. La notable ausencia de universidades latinoamericanas en este ranking evidencia la escasa participación de la región en la investigación científica global. Se debe subrayar la necesidad de incrementar la inversión y fomentar políticas que impulsen la producción académica en América Latina, para así integrarse plenamente en el ámbito científico internacional.

Figura 11

Afiliaciones más importantes



Nota. Tomado de (autores, 2024)

1.11 Documentos más citados

En la siguiente tabla (Tabla 2) se ven las 15 producciones científicas más citadas a nivel mundial, sus autores y años de publicación, las citas totales en la historia y la tasa de cita por año. Siendo NIEMCZYNOWICZ J, que, en 1999, escribe URBAN WATER la producción científica más citada con 305 citaciones, en 24 años del documento científico.

Es visto por la tabla que la citación científica ha ido en aumento al pasar de los años al igual que los estudios, pero también deja una preocupación la falta de producción y citación latinoamericana en estos tipos de temas tan importantes para la comunidad científica y el mundo en general.

Tabla 2

Documentos más citados

Nombre, año, articulo	Url	Citas totales	Tc por año
Niemczynowicz j, 1999, urban water	10.1016/s1462-0758(99)00009-6	305	11,73
Beal t, 2018, matern child nutr	10.1111/mcn.12617	229	32,71
Mwenge kahinda j, 2007, phys chem earth	10.1016/j.pce.2007.07.007	182	10,11
Lule jr, 2005, am j trop med hyg	10.4269/ajtmh.2005.73.926	104	5,20
Alim ma, 2020, j clean prod-a	10.1016/j.jclepro.2019.119226	92	18,40
Otterpohl r, 2002, water sci technol	10.2166/wst.2002.0074	75	3,26
Wilderer pa, 2004, water sci technol	10.2166/wst.2004.0403	74	3,52
Trani jf, 2015, bmj open	10.1136/bmjopen-2014-006355	71	7,10

Nombre, año, articulo	Url	Citas totales	Tc por año
Bekturganov z, 2016, water	10.3390/w8060219	67	7,44
Elisante e, 2017, appl water sci	10.1007/s13201-015-0269-z	66	8,25
Daley k, 2015, soc sci med	10.1016/j.socscimed.2015.04.017	63	6,30
Barbieri m, 2019, environ sci pollut res	10.1007/s11356-018-3474-0	60	10,00
Sepúlveda j, 2006, int j infect dis	10.1016/j.ijid.2005.05.005	56	2,95

Nota. Tomado de (autores, 2024)

Capitulo 2 Evolución del marco legal y normativo sobre el agua y el saneamiento básico en zonas rurales

La evolución legal y normativa sobre el agua y el saneamiento en zonas rurales de Colombia ha evolucionado con las políticas, los desafíos enfrentados y los avances logrados en este ámbito crucial para el desarrollo rural en las últimas décadas. Sin embargo, persisten desafíos importantes en términos de cobertura, calidad y sostenibilidad de los servicios. La implementación de tecnologías apropiadas y la participación comunitaria se perfilan como estrategias clave para superar estos desafíos y mejorar el acceso a agua potable y saneamiento en las zonas rurales del país.

2.1 Antecedentes del suministro de agua potable y saneamiento básico en zonas rurales

El acceso al agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales de Colombia ha experimentado una evolución significativa, aunque desafiante, en las últimas décadas. Este capítulo examina la trayectoria histórica de estos servicios esenciales en el ámbito rural colombiano, abordando tres aspectos clave: la historia del suministro de agua potable, la evolución del saneamiento básico, y las problemáticas persistentes en ambos servicios.

Se analizará el desarrollo de políticas y programas desde la década de 1960 hasta la actualidad, destacando hitos importantes y explorando las disparidades entre zonas urbanas y rurales. Este recorrido histórico no solo contextualiza la situación actual, sino que también sienta las bases para comprender los desafíos futuros en el suministro de agua y saneamiento en el Colombia rural.

2.1.1 Historia del suministro de agua potable en zonas rurales en Colombia

La historia del suministro de agua potable en las zonas rurales de Colombia está marcada por una serie de desafíos y avances graduales.

En la década de 1960, el gobierno colombiano comenzó a reconocer la importancia de proporcionar agua potable a las comunidades rurales. El Instituto Nacional de Salud (INS) inició programas de construcción de acueductos rurales, marcando el inicio de una política más estructurada en este ámbito. (Sarmiento, 2000).

A partir de la década de 1980, se intensificaron los esfuerzos para expandir la infraestructura de acueductos rurales. El Programa de Saneamiento Básico Rural, implementado en 1986, fue un hito importante en este proceso, facilitando la construcción de sistemas de agua potable en numerosas comunidades (Ministerio de Vivienda C. y., Informe de Gestión 2018, 2018).

2.1.2 Evolución del saneamiento básico en áreas rurales

El desarrollo del saneamiento básico en las áreas rurales de Colombia ha sido un proceso gradual, con avances significativos en las últimas décadas.

Las primeras iniciativas de saneamiento básico en zonas rurales se remontan a la década de 1970, con programas enfocados en la construcción de letrinas y pozos sépticos. Estas iniciativas, aunque limitadas, sentaron las bases para futuros avances en el sector (Carrasco Mantilla, Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales, 2011).

A partir del año 2000, se observó un incremento en la cobertura y calidad del saneamiento en zonas rurales. La implementación del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 estableció metas específicas para mejorar el saneamiento rural, lo que resultó en un aumento de la cobertura del 45% en 2005 al 68% en 2015 (DANE, 2016).

2.1.3 Problemáticas históricas en el suministro y saneamiento en áreas rurales

A pesar de los avances, las zonas rurales de Colombia han enfrentado desafíos persistentes en el suministro de agua y saneamiento.

Las desigualdades entre las zonas urbanas y rurales han sido una constante. En 2015, mientras que la cobertura de agua potable en zonas urbanas alcanzaba el 97%, en las zonas rurales apenas llegaba al 74% (Defensoría del Pueblo, 2013).

La falta de acceso a agua potable y saneamiento adecuado ha tenido un impacto significativo en la salud pública rural. Estudios han demostrado una correlación entre la falta de estos servicios y la prevalencia de enfermedades gastrointestinales en comunidades rurales (Ministerio de Salud y Protección Social, 2018).

2.2 Marco Legal y Normativo sobre el Agua y Saneamiento básico en Zonas Rurales de Colombia

Este apartado brinda una visión general del marco normativo y los programas gubernamentales destinados a mejorar el suministro de agua y saneamiento en las áreas rurales de Colombia. Examinando las principales leyes y normas que rigen este sector, los programas clave implementados para apoyar a las comunidades rurales, y las estrategias desarrolladas para superar los obstáculos existentes.

Además, se analizarán los desafíos persistentes en la implementación de estas normativas y programas, destacando las dificultades que enfrentan las comunidades rurales para cumplir con los estándares establecidos. Finalmente, se muestran algunos casos de estudio que ilustran tanto los éxitos como las lecciones aprendidas en la aplicación de estas iniciativas en diferentes contextos rurales. Lo cual permitirá comprender mejor la complejidad del tema y los esfuerzos en curso para garantizar el acceso universal a servicios de agua y saneamiento de calidad en las zonas rurales de Colombia.

2.2.1 Normas y leyes relevantes para el sector de agua y saneamiento en zonas rurales

El marco legal colombiano para el agua y saneamiento en zonas rurales ha evolucionado significativamente en las últimas décadas.

Ley 142 de 1994: Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios. Esta ley estableció el marco general en Colombia que estableció el marco general para la prestación de servicios públicos, incluyendo agua y saneamiento. Aunque no es específica para zonas rurales, sentó las bases para la regulación del sector (Congreso de Colombia, 1994).

Aspectos clave de la Ley 142 de 1994 relacionados con zonas rurales:

- Reconocimiento de las organizaciones comunitarias como prestadores de servicios públicos en zonas rurales.
- Establecimiento de subsidios para usuarios de menores ingresos, lo cual es particularmente relevante en áreas rurales.

- Creación de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), encargada de regular las tarifas y la calidad del servicio.

- Introducción del concepto de "áreas de servicio exclusivo" que permite a los municipios otorgar exclusividad a un operador en zonas rurales y urbanas.

Impacto en zonas rurales:

- Facilitó la formalización de acueductos comunitarios rurales.

- Permitió esquemas diferenciales de prestación de servicios en zonas rurales.

Sin embargo, algunos críticos argumentan que la ley no abordó adecuadamente las particularidades de las zonas rurales (Torres Serrano & Sánchez Talero, 2021).

Ley 1450 de 2011: Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014. Estableció el Plan Nacional de Desarrollo para el período 2010-2014 y definió lineamientos clave para la prestación de servicios públicos en Colombia, incluyendo el acceso al agua potable y saneamiento básico. Aunque no está enfocada exclusivamente en zonas rurales, incluyó disposiciones que impactaron la regulación del sector y el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico en áreas dispersas (Congreso de Colombia, 2011). Esta ley también representó un avance en la estructuración de políticas para la gestión del agua potable y saneamiento en Colombia, incluyendo disposiciones clave para mejorar la prestación del servicio en zonas rurales. Sin embargo, su implementación ha enfrentado desafíos, especialmente en términos de financiamiento y sostenibilidad de los acueductos comunitarios.

Aspectos Clave de la Ley 1450 de 2011 Relacionados con Zonas Rurales

- Gestión de Servicios Públicos en Áreas Dispersas: Se promovió la implementación de esquemas diferenciales para la prestación de servicios de agua potable y saneamiento en zonas rurales, permitiendo modelos de operación ajustados a las necesidades locales.

- Fortalecimiento de Organizaciones Comunitarias: La ley reconoció y promovió el papel de los acueductos comunitarios como prestadores del servicio en áreas rurales, fomentando su formalización y acceso a recursos para su operación (Congreso de Colombia, 2011).

- Subsidios Diferenciales: Se establecieron mecanismos para otorgar subsidios a usuarios de bajos ingresos en zonas rurales, con el objetivo de mejorar el acceso al agua potable y reducir las brechas en la prestación del servicio entre áreas urbanas y rurales.

- Planificación del Recurso Hídrico: Se incentivó la creación y ejecución de Planes Departamentales de Agua (PDA), con el fin de mejorar la gestión del recurso hídrico en regiones donde la cobertura del servicio era limitada (Departamento Nacional de Planeación, 2011).

Impacto en Zonas Rurales

- Facilitó la legalización y regulación de sistemas de agua gestionados por comunidades rurales, permitiendo que accedieran a financiamiento y asistencia técnica.

- Se reconoció la necesidad de modelos flexibles para la gestión del agua en zonas rurales, adaptados a condiciones geográficas y socioeconómicas específicas.

A pesar de sus avances, algunos estudios argumentan que la ley no abordó de manera integral las particularidades de las zonas rurales, dejando vacíos en la regulación y en la garantía de sostenibilidad financiera de los acueductos comunitarios (Torres Serrano & Sánchez Talero, 2021)

Decreto 1575 de 2007: Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua. Este decreto estableció el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia, aplicable tanto a zonas urbanas como rurales, marcando un hito significativo en la regulación del sector hídrico del país. Este decreto, emitido por el Ministerio de la Protección Social, introdujo un enfoque integral para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano, abarcando desde la captación hasta el punto de entrega al consumidor (MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL, 2007).

Elementos clave del Decreto 1575 de 2007 para zonas rurales:

- Definición de responsabilidades de los diferentes actores en la cadena de suministro de agua, incluyendo pequeños proveedores rurales.

- Establecimiento de procesos de vigilancia y control adaptados a las capacidades de los sistemas rurales.

- Introducción del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) como herramienta de evaluación.

- Requerimiento de elaboración de Mapas de Riesgo de la Calidad del Agua para identificar amenazas.

Impacto en zonas rurales:

- Mejoró la vigilancia de la calidad del agua en sistemas rurales.
- Incrementó la conciencia sobre la importancia de la calidad del agua en comunidades rurales.

Sin embargo, el cumplimiento en zonas rurales sigue siendo un desafío debido a limitaciones técnicas y financieras (Instituto Nacional de Salud, 2012)

Resolución 0330 de 2017: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Emitida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio con el objetivo de actualizar y unificar las normas técnicas aplicables a la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y saneamiento básico en Colombia. Esta normativa reemplazó y derogó normativas anteriores para establecer un marco integral y actualizado que garantice la calidad, sostenibilidad y eficiencia en la prestación de estos servicios. Su implementación es obligatoria a nivel nacional y cubre tanto los entornos urbanos como rurales, asegurando estándares adecuados para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura del sector (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Aspectos relevantes de la Resolución 0330 de 2017 para zonas rurales:

Establecimiento de lineamientos técnicos para el diseño y operación de sistemas de acueducto y alcantarillado en comunidades rurales.

Inclusión de criterios específicos para el tratamiento de agua potable y aguas residuales en áreas con baja densidad poblacional.

Requisitos de eficiencia y sostenibilidad en la infraestructura de agua y saneamiento en zonas de difícil acceso.

Impacto en zonas rurales:

Favoreció la estandarización de prácticas para la gestión del agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales.

Incentivó la implementación de tecnologías apropiadas para mejorar la cobertura y calidad del servicio en áreas con acceso limitado a recursos técnicos y financieros.

Resolución 2115 de 2017: Calidad del Agua para Consumo Humano. Esta resolución fue emitida conjuntamente por el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, estableció los parámetros y las características específicas que debe cumplir el agua para ser considerada apta para el consumo humano en Colombia. Esta resolución, que complementa y desarrolla el Decreto 1575 del mismo año, representa un avance crucial en la definición técnica y científica de los estándares de calidad del agua en el país. Su alcance es nacional, aplicándose tanto a los sistemas de suministro urbanos como a los rurales, lo que la convierte en un instrumento fundamental para garantizar la equidad en el acceso a agua segura en todo el territorio colombiano (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TER, 2017).

Aspectos relevantes de la Resolución 2115 de 207 para zonas rurales:

- Establecimiento de valores máximos aceptables para características físicas, químicas y microbiológicas del agua.

- Definición de frecuencias de muestreo y número de muestras para el control y la vigilancia de la calidad del agua.

- Introducción de instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua, como el mapa de riesgo y el índice de riesgo por abastecimiento de agua.

Impacto en zonas rurales:

- Proporcionó una guía clara para la evaluación de la calidad del agua en sistemas rurales.

- Sin embargo, el cumplimiento parámetros como estos, puede ser desafiante para pequeños sistemas rurales con recursos limitados (Ramos Parra & Pinilla Roncancio, 2020)

Otras normativas complementarias y su aplicación en zonas rurales. Otras normativas relevantes incluyen el Decreto 1898 de 2016, que establece esquemas diferenciales para la prestación de servicios de agua y saneamiento en zonas rurales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1898, 2016), y la Resolución 0844 de 2018, que actualiza el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) con un enfoque en las particularidades de las zonas rurales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Resolución 0844, 2018).

Decreto 1898 de 2016:

- Reconoce las particularidades de las zonas rurales y establece esquemas diferenciales de prestación de servicios.
- Introduce el concepto de "soluciones alternativas" para el aprovisionamiento de agua y saneamiento básico en zonas rurales.
- Establece requisitos mínimos de calidad para las soluciones alternativas.

Resolución 0844 de 2018 (RAS Rural):

- Proporciona lineamientos técnicos específicos para el diseño, construcción y operación de sistemas de agua y saneamiento en zonas rurales.
- Introduce tecnologías apropiadas y de bajo costo para contextos rurales.
- Establece criterios de diseño flexibles que consideran las particularidades de las comunidades rurales.

Impacto de estas normativas:

- Han proporcionado un marco más adaptado a las realidades rurales.
- Facilitaron la implementación de soluciones innovadoras y apropiadas para contextos rurales.
- Sin embargo, la implementación efectiva sigue siendo un desafío debido a limitaciones de capacidad y recursos a nivel local.

2.2.2 Políticas y programas gubernamentales de apoyo a comunidades rurales

El gobierno colombiano ha implementado diversas políticas y programas para mejorar el acceso a agua y saneamiento en zonas rurales, reflejando un creciente reconocimiento de la importancia de estos servicios para el desarrollo rural.

El gobierno colombiano ha implementado diversas políticas y programas para mejorar el acceso a agua y saneamiento en zonas rurales, reflejando un creciente reconocimiento de la importancia de estos servicios para el desarrollo rural. Esta evolución en el enfoque gubernamental responde a la necesidad urgente de cerrar la brecha de desigualdad entre las áreas urbanas y rurales en términos de servicios básicos. Estos esfuerzos se han materializado en una serie de programas nacionales y regionales que abordan no solo la construcción y mejora de infraestructura, sino también aspectos como la sostenibilidad, la gestión comunitaria y la educación sanitaria.

Sin embargo, a pesar de estos avances, persisten desafíos significativos en la implementación efectiva de estas políticas y programas, principalmente debido a la dispersión geográfica, las limitaciones presupuestarias y la complejidad de las intervenciones en contextos rurales diversos. El gobierno continúa trabajando en la adaptación y mejora de sus estrategias para abordar estos retos y alcanzar el objetivo de cobertura universal de agua y saneamiento en las zonas rurales de Colombia.

Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable Y Saneamiento Básico Rural. El Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural ha sido una iniciativa fundamental del gobierno colombiano para mejorar y expandir los sistemas de

acueductos rurales, marcando un hito significativo en los esfuerzos por cerrar la brecha de acceso a servicios básicos entre las zonas urbanas y rurales del país (Ministerio de Vivienda, 2021).

Este plan, implementado por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, surgió como respuesta a las necesidades apremiantes de las comunidades rurales en materia de agua potable y saneamiento. Su enfoque integral abarca no solo la construcción y mejora de infraestructura física, sino también el fortalecimiento de las capacidades locales para la gestión sostenible de estos sistemas.

Objetivos:

- Aumentar la cobertura de servicios de agua y saneamiento en zonas rurales.
- Mejorar la calidad y continuidad del servicio en sistemas existentes.
- Fortalecer la capacidad de gestión de las organizaciones comunitarias.

Componentes principales:

- Inversión en infraestructura de agua y saneamiento.
- Asistencia técnica y fortalecimiento institucional.
- Educación sanitaria y promoción de la participación comunitaria.

Resultados (hasta 2020):

- Benefició a más de 500,000 habitantes rurales.
- Construyó o mejoró más de 200 sistemas de acueductos rurales.

- Capacitó a más de 1,000 organizaciones comunitarias en gestión de servicios.

Estrategias para mejorar el uso de agua por la comunidad en zonas rurales. El acceso al agua potable en zonas rurales de Colombia ha sido un desafío constante debido a la dispersión geográfica, la falta de infraestructura adecuada y las limitaciones financieras de muchas comunidades. Para abordar esta problemática, el gobierno ha desarrollado diversas estrategias que buscan garantizar el abastecimiento de agua potable y mejorar la gestión del recurso hídrico en estas áreas. Las estrategias del Gobierno colombiano han sido fundamentales para mejorar el acceso y la gestión del agua potable en las zonas rurales del país. Promoviendo soluciones sostenibles y equitativas que benefician a miles de personas en comunidades rurales. Sin embargo, el desafío sigue siendo garantizar la continuidad y el financiamiento de estos proyectos para lograr una cobertura total y sostenible en todo el territorio.

Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural. El Gobierno de Colombia adoptó el Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural con el objetivo de cerrar la brecha existente en la cobertura y calidad del servicio en zonas rurales. Este plan enfatiza la necesidad de fortalecer la inversión en infraestructura, mejorar la planificación territorial y garantizar el mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua en comunidades rurales dispersas. Se estructura bajo los siguientes ejes (MinVivienda, 2022): fortalecimiento de la capacidad de gestión de las comunidades rurales en la administración de los servicios de agua y saneamiento, promoción de inversiones sostenibles y equitativas para ampliar la cobertura del servicio y la creación de estrategias para la sostenibilidad financiera y operativa de los sistemas rurales.

Según Min Vivienda (2022), este plan busca asegurar la provisión de agua potable a más de dos millones de personas en áreas rurales mediante inversiones en infraestructura y asistencia técnica a los operadores comunitarios del servicio.

Ruta ComuniAgua. La Ruta ComuniAgua es una estrategia gubernamental diseñada para apoyar técnica y económicamente a las organizaciones comunitarias de agua y saneamiento básico. Esta iniciativa, enmarcada en la política pública de gestión comunitaria del agua, incluye actividades como (MinVivienda, 2023): talleres de capacitación para las organizaciones comunitarias sobre la gestión del agua, subsidios para la operación y mantenimiento de los acueductos comunitarios y apoyar en la formulación de proyectos que permitan la ampliación y mejora del servicio en comunidades rurales.

Esta estrategia permite que las comunidades gestionen directamente sus sistemas de abastecimiento, promoviendo la sostenibilidad y la autogestión en la prestación del servicio (MinVivienda, 2023).

Soluciones Alternativas de Abastecimiento de Agua. Con la expedición del Decreto 1688 de 2020, el Gobierno Nacional reglamentó el acceso a soluciones alternativas de abastecimiento de agua potable para zonas rurales dispersas. Esta norma permite la implementación de tecnologías innovadoras y flexibles para el suministro de agua, como sistemas de captación de agua lluvia, pozos profundos y plantas de potabilización comunitarias (MinVivienda, 2020).

El objetivo de esta regulación es garantizar que las comunidades ubicadas en regiones de difícil acceso cuenten con agua apta para el consumo humano, independientemente de su

ubicación geográfica o de la ausencia de redes de acueducto convencionales (MinVivienda, 2020).

Regulación del Consumo de Agua. La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) ha implementado mecanismos para regular el consumo de agua en todo el país, con un enfoque diferenciado según las condiciones climáticas de cada región. Mediante la resolución CRA 825 de 2017, se establecieron consumos objetivo que varían de acuerdo con los pisos térmicos (cálido, templado y frío), promoviendo así el uso eficiente del recurso hídrico (CRA, 2017).

Entre las estrategias más destacadas de esta regulación se encuentran: tarifas diferenciadas según el consumo de agua para desincentivar el uso excesivo, programas de educación ambiental para fomentar el ahorro de agua en comunidades rurales y la implementación de tecnologías de medición y control del consumo en acueductos comunitarios (CRA, 2017).

Esta regulación ha sido clave para reducir el desperdicio de agua y mejorar la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento en zonas rurales.

Estrategias para mejorar el saneamiento básico en áreas rurales. El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 incorporó una serie de iniciativas integrales destinadas a abordar las brechas persistentes en materia de saneamiento básico en las zonas rurales. Reconociendo la importancia crítica de garantizar condiciones de vida dignas para todos los ciudadanos, independientemente de su ubicación geográfica, el plan puso un énfasis especial en la implementación de soluciones innovadoras y adaptadas al contexto rural (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Entre las estrategias más destacadas se encuentra la decidida promoción de tecnologías alternativas y sostenibles, diseñadas específicamente para superar los desafíos únicos que presentan las áreas rurales en términos de acceso a servicios básicos. (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Puntos clave del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Promoción de tecnologías alternativas:

- Impulso a sistemas de saneamiento in situ mejorados.
- Fomento de tecnologías de tratamiento descentralizado de aguas residuales.

Fortalecimiento de la gestión comunitaria:

- Programas de capacitación para organizaciones comunitarias.
- Apoyo en la formalización de prestadores de servicios rurales.

Esquemas de financiación adaptados:

- Creación de líneas de crédito específicas para proyectos rurales.
- Implementación de subsidios focalizados para comunidades vulnerables.

Articulación intersectorial:

- Coordinación entre los sectores de agua, salud y educación para intervenciones integrales.

Resultados preliminares (hasta 2021):

- Aumento de la cobertura de saneamiento básico en zonas rurales del 68% al 72%.
- Implementación de más de 50,000 soluciones de saneamiento in situ mejoradas.
- Capacitación de más de 500 organizaciones comunitarias en gestión de saneamiento.

2.2.3 Análisis de la implementación del marco normativo en comunidades rurales

La implementación del marco normativo en comunidades rurales en Colombia es un tema complejo y multifacético y ha enfrentado diversos desafíos para ser aplicados en el territorio nacional.

Desafíos en la aplicación de la normativa en zonas rurales. El acceso al agua potable y al saneamiento básico en zonas rurales es un desafío importante para Colombia, especialmente para los municipios encargados de garantizar estos servicios. Aunque ha habido avances en la última década, se requiere un enfoque estructural con participación de todos los niveles del Estado y un fortalecimiento de la gestión comunitaria. Solo así se podrá asegurar de manera sostenible la cobertura y calidad de estos servicios en todo el país (Moreno Méndez, Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia, 2020).

Desafíos específicos. La ruralidad en sí misma presenta grandes desafíos en cuanto al suministro de servicios de agua potable y su saneamiento, los que a su vez deben cumplir imperativos básicos de calidad, cantidad y continuidad en su prestación. Estos desafíos se caracterizan por: la dispersión de las viviendas, las limitaciones geográficas para acceder a la población, el bajo nivel socioeconómico de los habitantes, entre otras. (Cruz Poblete, 2023)

El bajo uso de utilización de tecnologías de tratamiento de aguas no convencionales para proveer servicios (son aquellas que generan menor impacto ambiental, pero que no cuentan con un sistema tarifario que permita cubrir costos de operación y mantención, así como obtener financiamientos y mayores ganancias. (Cruz Poblete, 2023)

Las dificultades para ofrecer asistencia técnica y capacitación a los prestadores de los servicios que, generalmente, cuentan con una reducida capacidad financiera, administrativa y técnica. (Cruz Poblete, 2023)

Casos de estudio sobre la implementación de normativas. Estudios de caso en departamentos como Cauca y Valle del Cauca han demostrado que la implementación exitosa de normativas requiere un enfoque participativo y adaptado al contexto local (Rincón Cárdenas, 2022)

Caso de estudio 1: Acueducto rural de Sandoná, Nariño. Comunidad de 5,000 habitantes que implementó un sistema de tratamiento de agua que cumple con la normativa.

Factores de éxito:

- Fuerte participación comunitaria en todas las fases del proyecto.
- Adaptación de tecnologías a las condiciones locales.
- Programa de capacitación continua para operadores locales.
- Establecimiento de un sistema tarifario sostenible.

Resultados:

- Mejora significativa en la calidad del agua (IRCA < 5%).
- Aumento de la cobertura del 70% al 95%.
- Reducción de enfermedades diarreicas en un 40%.

Caso de estudio 2: Saneamiento rural en Suárez, Cauca. Implementación de sistemas de saneamiento in situ en comunidad dispersa de 3,000 habitantes.

Enfoque:

- Uso de tecnologías apropiadas (baños secos y sistemas de tratamiento de aguas grises).
- Programa de educación sanitaria integral.
- Formación de comités locales de agua y saneamiento.

Resultados:

- Aumento de la cobertura de saneamiento del 40% al 85%.
- Reducción de la contaminación de fuentes de agua locales.
- Adopción generalizada de prácticas de higiene mejoradas.

Caso de estudio 3: Gestión comunitaria en Santander de Quilichao, Cauca. Fortalecimiento de asociación de acueductos rurales para cumplir con normativas.

Estrategias:

- Programa de asistencia técnica y administrativa.
- Implementación de sistemas de monitoreo de calidad del agua.
- Creación de un fondo rotatorio para mejoras de infraestructura.

Resultados:

- 10 acueductos rurales alcanzaron cumplimiento normativo.
- Mejora en la eficiencia operativa y financiera.
- Reconocimiento como modelo de gestión comunitaria a nivel nacional.

Capitulo 3 Diagnóstico y propuesta

3.1 Características de la vereda del Agua de la Virgen.

3.1.1 Caracterización

Ubicación. La vereda el agua de la virgen se encuentra ubicada en el vereda del agua de la virgen en la zona rural del Municipio de Ocaña en el Departamento Norte de Santander, Colombia, con unas coordenadas geográficas aproximadas de 8°12'44.6"N 73°22'54.0"W, La zona presenta un clima tropical húmedo y seco, con temperaturas que oscilan entre los 18°C y 24°C, está ubicada en una región montañosa con un rango altitudinal que oscila entre los 1,360 y 1,670 metros sobre el nivel del mar (Geovisor, s.f.).

Figura 12

Georreferencia de Colombia



Nota. Tomado de (Geovisor DANE, 2024)

Figura 13

Georreferencia de Norte de Santander



Nota. Tomado de (Geovisor DANE, 2024)

Figura 14

Georreferencia de La vereda El Agua de La Virgen



Nota. Tomado de (Geovisor DANE, 2024)

Figura 15

Georreferencia de los puntos principales del sistema de abastecimiento del agua



Nota. Tomado de (Geovisor DANE, 2024)

Población. Se estimo el número de habitantes según el censo del DANE 2018 en el geo portal, estableciendo una delimitación con un radio de 400 metros alrededor de las coordenadas de la ubicación del área de la vereda descritas en la ubicación, arrojando un numero de 37 personas, que habitan en 14 hogares de los cuales se tiene una muestra de 11 habitantes, uno por hogar, puesto que algunos habitantes se negaron a realizar la toma de datos, los habitantes fueron analizados de forma cualitativa por una encuesta de 23 preguntas (ver encuesta), realizada de manera personal (ver figuras) y posteriormente digitalizada en Google encuestas para acceder a la caracterización detallada de la población de una forma estadística y más sencilla de leer (Geovisor, s.f.)

Figura 16

Toma de encuestas



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 17

Toma de encuestas



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Por parte de las encuestas de determino que mayoritariamente los hogares están conformados por grupos de 4 personas (ver Figura 18), que el nivel de escolarización nulo es de un 9,1%, el de primaria de un 27,3%, el de bachiller un 36,4% siendo este nivel predominante en la comunidad, un 9,1% de los habitantes son tecnólogos y un 18,2% Universitarios (ver Figura 19), y que ninguno de los hogares de la comunidad estudiada cuenta con acceso a la red pública de agua potable, estas situaciones se dan mayoritariamente por que la vereda esta retirada del casco urbano, lo que le dificulta el acceso las comodidades de la ciudad en cuestiones de servicios públicos y educación (ver Figura 20).

Figura 18

Habitantes por hogar



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 19

Nivel educativo en la vereda



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 20
Principal fuente de agua



Nota. Tomado de (autores, 2024)

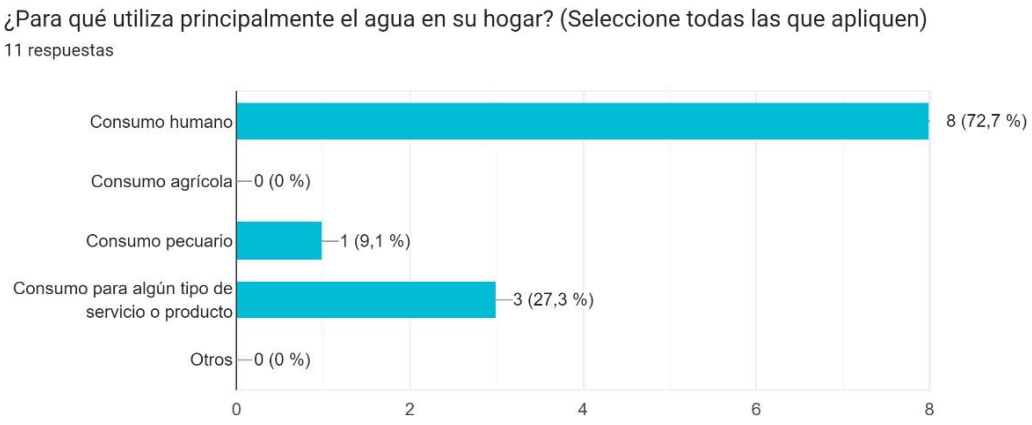
3.1.2 Usos del Agua en la vereda Agua De La Virgen

Fuente, usos y tratamientos. En el análisis de datos recompilados en la encuesta a los habitantes de la comunidad, se puede estimar que la fuente principal de abastecimiento de la

comunidad es de fuente de agua superficial, seguido del uso del agua de lluvia(ver Figura *20*), que el uso mayoritario de la comunidad es destinado al consumo humano y a la preparación de algún tipo de producto o servicio (ver Figura 21), de los cuales el 27,3% no le realiza ningún tipo de tratamiento antes de consumirla, mientras que el 63,6% de la comunidad opta por hervirla y un 9,1% la pasa por proceso de filtración (ver Figura 22), lo que hace necesario un sistema de abastecimiento de agua potable en la comunidad o la posibilidad de brindar acceso a los diferentes sistemas de potabilización y tratamiento de agua para el consumo humano, brindando así la posibilidad de que la comunidad de la vereda el agua de la virgen tenga acceso al derecho fundamental al agua limpia y saneamiento básico.

Figura 21

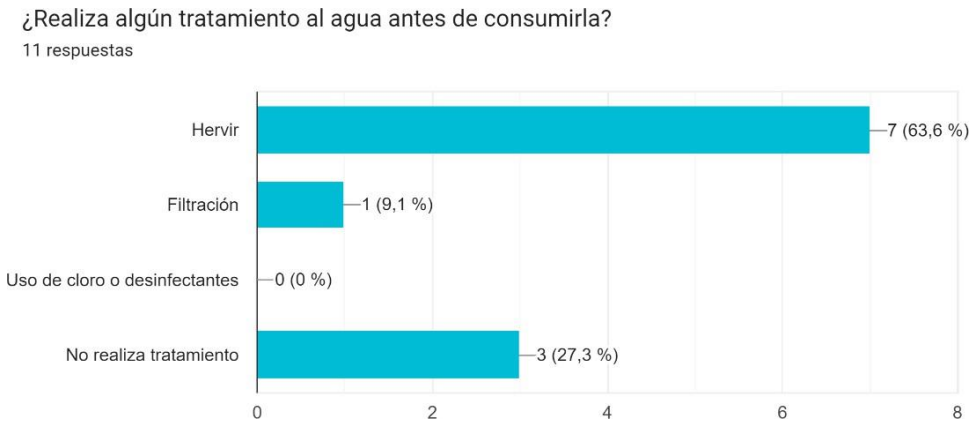
Principales de usos del agua



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 22

Tratamiento realizado por los habitantes



Nota. Tomado de (autores, 2024)

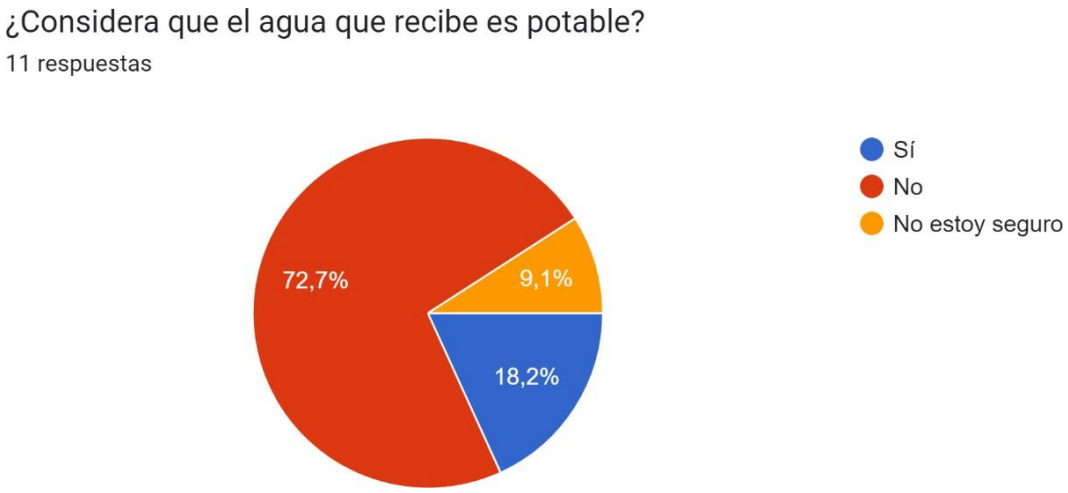
Uso humano. La Organización Mundial de la Salud estima que 1500 millones de personas padecen enfermedades relacionadas con el agua cada año y más de 9 millones de muertes se atribuyen al agua contaminada (Sánchez Zafra, 2008). Las fuentes de agua a menudo no cumplen con los estándares microbiológicos de potabilidad como el Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA), lo que representa un riesgo considerable para la salud de los consumidores (Puerta Monsalve, Delgado, & Ríos Marín, 2024)

En la vereda el agua de la virgen el 72,7% de los habitantes encuestados consideran que el agua que reciben no es potable, puesto que no la reciben de un sistema de tratamiento optimo, mientras que un 9,1% no está seguro (ver Figura *23*). La comunidad tiene creencias religiosas por la cercanía al Santuario Nuestra Señora de las Gracias de Torcoroma, y localmente reconocido por el Santuario del Agua de la Virgen, el cual es un sitio de veneración católica y en el que se tiene la creencia que el agua es bendita, razón por la cual debería ser potable, lo cal esto

es un desacierto cultural y tradicional, así mismo un 45,5% de los encuestados ha presentados problemas de salud asociados con el agua en el último año. (ver Figura *24*).

Figura 23

Consideración de la potabilidad del agua



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 24

Problemas de salud relacionados con el agua



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Uso Pecuario. El 81.8 % de los habitantes de la vereda no tienen animales de crianza en su hogar y solo el 18.2 % de la población estudiada tiene animales en sus hogares (ver Figura *25*), la principal razón es que la comunidad vive de las actividades turísticas y religiosas propias de la zona como la gastronomía, la venta de bisutería y demás actividades propias de la zona, de la que dan de beber en su mayoría de la fuente de agua superficial, ya que es la fuente de agua de la que disponen mayoritariamente. (ver Figura *26*).

Figura 25

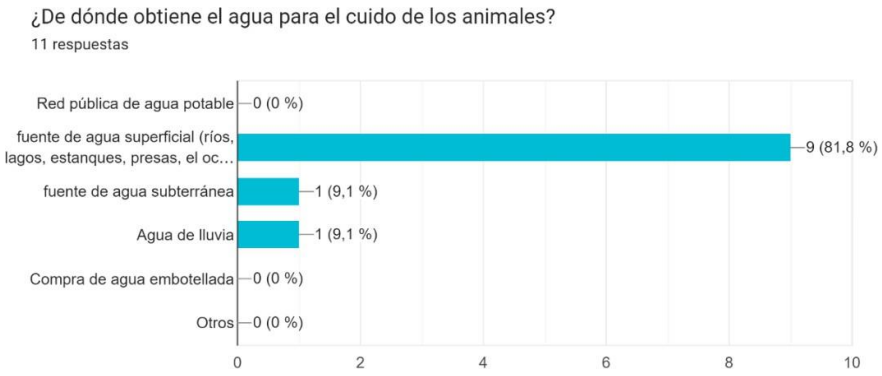
Animales de crianza en la vereda



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 26

Obtención del agua para el cuidado de los animales



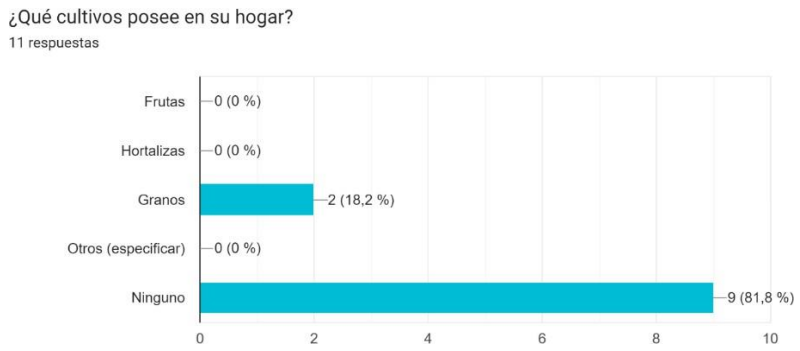
Nota. Tomado de (autores, 2024)

Uso Agrícola. El 81,8% de los habitantes de la vereda no tienen ningún tipo de cultivo, ya que es una zona montañosa y solo un 18,2% de los habitantes de la vereda del agua de la virgen encuestados poseen cultivo de granos (ver Figura *27*), y estos cultivos no son regados con

agua superficial de la que se abastecen si no que la comunidad utiliza el agua de lluvia para que estos se rieguen cuando llueva (ver Figura *28*).

Figura 27

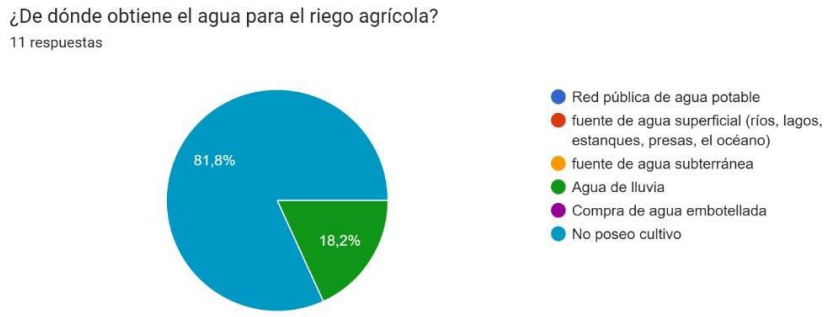
Cultivos presentes



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 28

Obtención del agua para el riego agrícola



Nota. Tomado de (autores, 2024)

3.1.3 Gestión del Agua en Ocaña

En Colombia, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) son entidades públicas descentralizadas que lideran la gestión ambiental en sus jurisdicciones, con un enfoque en la preservación y uso sostenible de los recursos naturales. Estas instituciones, creadas a través de la Ley 99 de 1993, son responsables de implementar políticas ambientales, regular el uso de los recursos hídricos y fomentar el desarrollo sostenible. En el departamento de Norte de Santander, específicamente en el municipio de Ocaña, esta función recae en la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR).

El Rol de CORPONOR en Ocaña. CORPONOR es la entidad encargada de garantizar la sostenibilidad ambiental en la región de Norte de Santander, incluida Ocaña. Sus principales responsabilidades incluyen la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, la conservación de ecosistemas estratégicos y la regulación del uso de los recursos hídricos. Además, supervisa actividades relacionadas con vertimientos, captación de agua y licencias ambientales, asegurando que las prácticas humanas no comprometan el equilibrio ambiental de la región (CORPONOR, s. f.).

Una de las herramientas clave utilizadas por CORPONOR son los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), que priorizan la conservación de cuencas estratégicas y aseguran la disponibilidad de agua para consumo humano, actividades agrícolas e industriales (CORPONOR, s. f.). También fomenta la participación comunitaria mediante programas de educación ambiental, sensibilizando a los habitantes sobre el uso responsable del recurso hídrico.

Proyectos de Agua en Ocaña. Diversos proyectos han sido implementados en el municipio de Ocaña con el objetivo de mejorar el acceso y la calidad del agua, así como garantizar su sostenibilidad. Entre los más relevantes se encuentran:

1. Proyecto de Alcantarillado para Veredas Aguas Claras y Bellavista: Este proyecto, financiado en su totalidad por el Gobierno Nacional, buscó mejorar las condiciones de saneamiento básico en las veredas Aguas Claras y Bellavista, beneficiando a comunidades rurales con infraestructura adecuada para el manejo de aguas residuales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2020).

2. Plan de Ordenamiento Territorial (POT): El POT de Ocaña incluye directrices específicas para la gestión sostenible de los recursos hídricos. Este documento integra estrategias para la conservación de fuentes de agua, la protección de ecosistemas asociados y la regulación de actividades humanas en las cuencas hidrográficas (CORPONOR, s. f.).

3. Revisión de la Calidad del Agua para Consumo Humano: Un estudio reciente evaluó la calidad del agua suministrada en Ocaña, identificando áreas de mejora y fortaleciendo las estrategias para garantizar el suministro de agua potable en la región (Lozano Arenas & Torrado Cuadros, 2021).

3.2 Infraestructura existente de agua potable y saneamiento básico.

Las investigaciones sobre infraestructura de agua y saneamiento en América Latina y el Caribe destacan desafíos y desigualdades importantes. Muchos países han reformado sus estructuras institucionales, separando las funciones de formulación de políticas, regulación y

prestación de servicios, al tiempo que descentralizan los servicios a niveles municipales. Sin embargo, persiste una distribución desigual de los recursos, y las zonas urbanas suelen estar mejor atendidas que las regiones rurales. Los estudios destacan la necesidad de actualizar las regulaciones del sector para abordar los desafíos emergentes y garantizar una gestión despolitizada y técnicamente sólida de los servicios (Rojas Ortuste, 2014). La relación entre la infraestructura y la equidad social es crucial, ya que las comunidades marginadas a menudo carecen de acceso a agua potable y servicios de salud (Alvarado Lagunas, Rodríguez Medina, & Iturralde Mota, 2016). Mejorar los servicios de agua y saneamiento es vital para el desarrollo socioeconómico, y requiere priorización en las políticas públicas y los presupuestos. Las recomendaciones incluyen fortalecer la autonomía institucional e implementar políticas públicas efectivas para mejorar la sostenibilidad de los servicios y el acceso equitativo (Ferro & Lentini, 2012).

Para poder determinar y describir la infraestructura existente se realizó una visita técnica a la vereda el agua de la virgen de la mano del presidente de la Junta de Acción Comunal (JAC) de la misma, donde se accedió a la infraestructura existente por medio de una inspección visual al tanque subterráneo con filtros para el punto de captación(ver Figura *29*) y un tanque como punto de almacenamiento(ver Figura *33*), ya que estas son las únicas infraestructuras existentes en la vereda para que la comunidad pueda acceder al objetivo de desarrollo sostenible número 6 denominado: la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todo

problemáticas en la que reciben el líquido vital, su conectividad a el sistema municipal de acueducto y alcantarillado y la forma en la que se han optado para deshacerse de sus aguas residuales.

3.2.1 Descripción de la infraestructura para la potabilidad

La infraestructura hídrica rural en América Latina enfrenta desafíos importantes. En Colombia, la falta de infraestructura adecuada de agua potable y control de purificación en áreas rurales está asociada con la presencia de bacterias dañinas en los suministros de agua (Ramos Parra y Pinilla Roncancio, 2020). Las infraestructuras hídricas descentralizadas luchan por satisfacer las necesidades de áreas históricamente desatendidas (Schmidt y Tobías, 2021). Los estudios en la Colombia rural destacan la importancia del diseño y análisis adecuados para sistemas viables de suministro de agua (Jaime Bello et al., 2020). Si bien se han realizado esfuerzos para involucrar a las comunidades rurales en la gestión del agua, muchos procesos de gobernanza local han fracasado (Gil Antonio et al., 2014).

Infraestructura de agua potable. La comunidad carece de un sistema de potabilización adecuado para cumplir con las especificaciones técnicas mínimas en la resolución 0330 del 2017

Fuente de Agua. El sistema de captación de agua en la vereda El Agua de la Virgen desempeña un papel fundamental en el abastecimiento de la comunidad, pero presenta serias deficiencias estructurales y sanitarias que afectan su funcionalidad. Con la encuesta y las visitas realizadas, se logró saber que la comunidad de la vereda el agua de la virgen lleva a cabo la captación del recurso hídrico a partir de una fuente superficial que brota naturalmente de la montaña, constituyendo el principal suministro de agua para el 63,6% de la población (ver Figura 29), captando el recurso a través de un tanque subterráneo de concreto que cuenta con una serie de filtros que permiten la infiltración del agua, cuya función principal es recolectar y almacenar el agua proveniente de la fuente superficial, sin embargo, estos filtros no garantizan la

eliminación completa de los contaminantes microbiológicos ni de compuestos químicos presentes en el agua, lo que representa un riesgo potencial para la salud de los habitantes.

Cuenta con una capacidad aproximada de 8 metros cúbicos de agua (ver Figura *29*), y con una motobomba alimentada por energía eléctrica para transportar el agua al tanque de almacenamiento. La frecuencia de operación de este equipo es de una vez por semana, lo que puede generar limitaciones en la disponibilidad del recurso si la demanda supera la capacidad de almacenamiento.

La distribución del agua a las viviendas a través de una red de tuberías rudimentarias, compuestas por mangueras plásticas revestidas. Este sistema de distribución presenta diversas deficiencias, como conexiones erradas y a menudo presentan fugas y roturas ya que el 72,7% de los encuestados reportan problemas de presión baja y un 63,6% manifiestan frecuentes interrupciones(ver Figura *30*) lo que disminuye la eficiencia del sistema ya que el 27,3% de los habitantes de la vereda manifestaron rara vez tener problemas con el suministro de agua en sus hogares mientras que un 72,7% manifiesta estos problemas frecuentemente (ver Figura *31*).

Figura 29

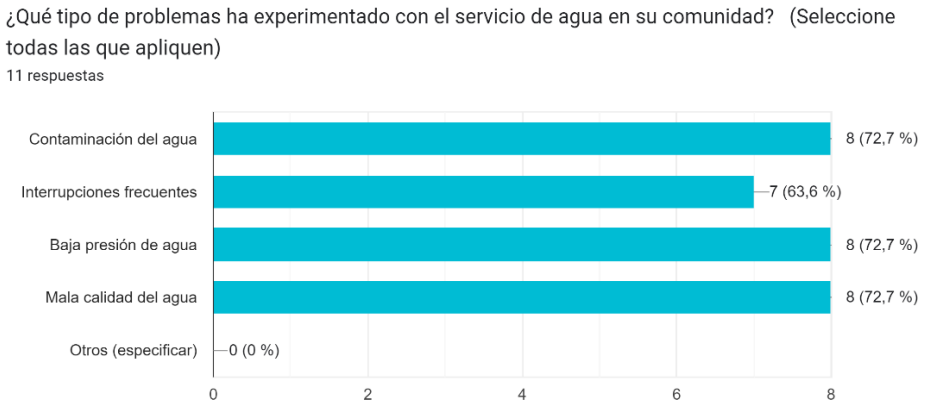
Tanque de captación por filtración



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 30

Problemas con el servicio del agua



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 31

Frecuencia de problemas con el suministro de agua



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Sistema de Almacenamiento. El sistema de almacenamiento principal de la vereda el agua de la virgen consiste en un tanque de aproximadamente 12 metros cúbicos de capacidad de almacenamiento (ver Figura *33*), que distribuye el agua a los tanques de almacenamiento individuales de la iglesia del santuario Virgen de la Torcoroma, la escuela de la vereda y a la mayoría de las viviendas quienes en un 90,9% cuenta con tanques de almacenamiento de agua. (Ver Figura 31).Figura 32

Tanques de almacenamiento en los hogares



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 33

Tanque principal de almacenamiento

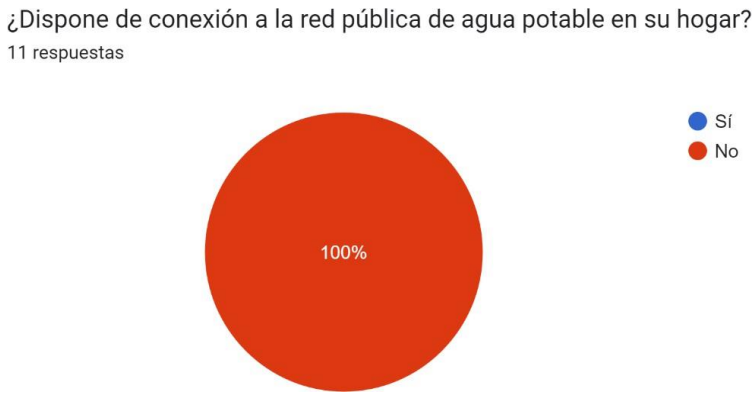


Nota. Tomado de (autores, 2024)

Sistema de tratamiento. La comunidad del agua de la virgen si bien dispone de un sistema de captación y de almacenamiento, no cuentan con un algún sistema de tratamiento de agua para la potabilidad, la percepción que se tiene sobre si el agua que consumen no es potable es de un 72,7% (ver Figura 23), por otro lado, un 100% de los encuestados manifiestan que no tienen conexión a la una red pública de agua potable en su hogar, (ver Figura *34*)

Figura 34

Conexión a la red pública de agua potable



Nota. Tomado de (autores, 2024)

3.2.2 Descripción de la infraestructura para el saneamiento básico

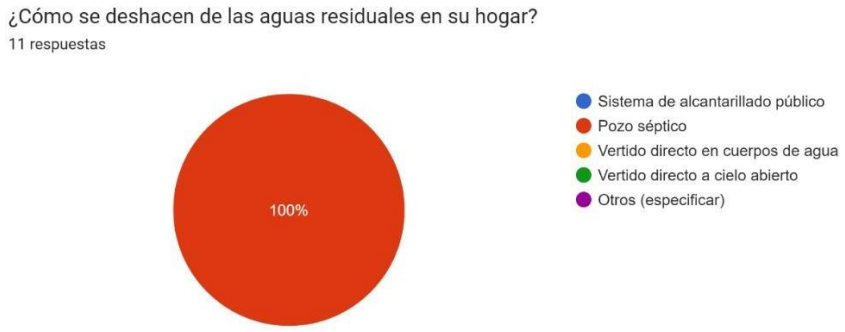
Los artículos de investigación destacan desafíos significativos en la infraestructura de saneamiento básico en áreas rurales de América Latina. Las regiones rurales enfrentan una grave falta de sistemas de recolección de aguas residuales, y muchos hogares dependen de fosas sépticas rudimentarias, lo que impacta negativamente el medio ambiente y la calidad de vida (Mota et al., 2015). La disparidad entre los servicios de saneamiento urbano y rural es evidente en todo Brasil, con áreas rurales sistemáticamente desatendidas (Andau & Moura, 2016). Este saneamiento inadecuado afecta la salud pública, la seguridad alimentaria y el bienestar general. La situación no es exclusiva de Brasil; Colombia también enfrenta desafíos significativos en el suministro de agua potable y saneamiento básico a las zonas rurales (Moreno Méndez, 2020).

Infraestructura de saneamiento básico. La comunidad carece de un sistema de saneamiento básico adecuado para cumplir con las especificaciones técnicas mínimas en la resolución 0330 del 2017

Sistema de tratamiento de aguas residuales. Por medio de la encuesta realizada a la comunidad se obtuvo la información de que ninguna de las casas de la vereda el agua de la virgen está conectadas a un sistema de alcantarillado ya que un 100% está conectado a un sistema de pozo séptico (ver Figura 35) que han sido realizados por ellos como comunidad y que en su 90,9% ha tenido problemas de obstrucción en el sistema (ver Figura 36).

Figura 35

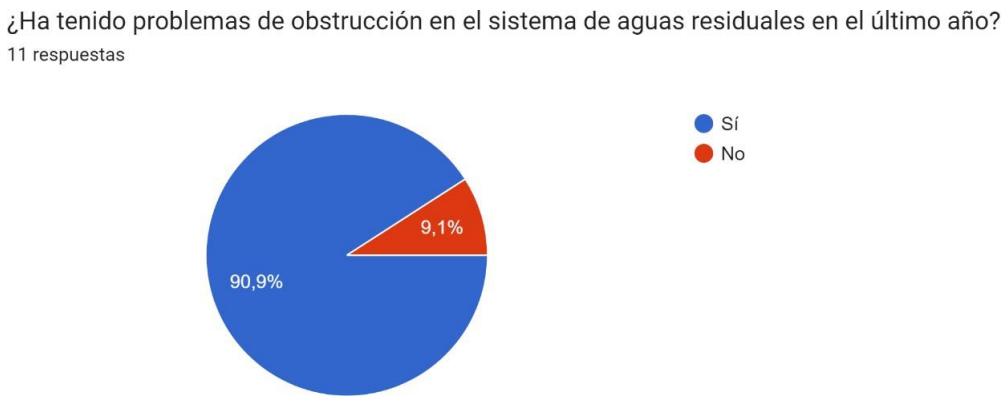
Método para deshecho de aguas residuales



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 36

Problemas de obstrucción en el sistema sanitario



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Los malos olores, las fugas y las obstrucciones, por no contar con un sistema óptimo de saneamiento básico son los casos más comunes a los que la comunidad rural de la vereda está expuesta. (ver Figura *43*).

3.3 Cobertura y calidad del servicio de agua y alcantarillado en la comunidad.

3.3.1 Cobertura del Servicio de Agua

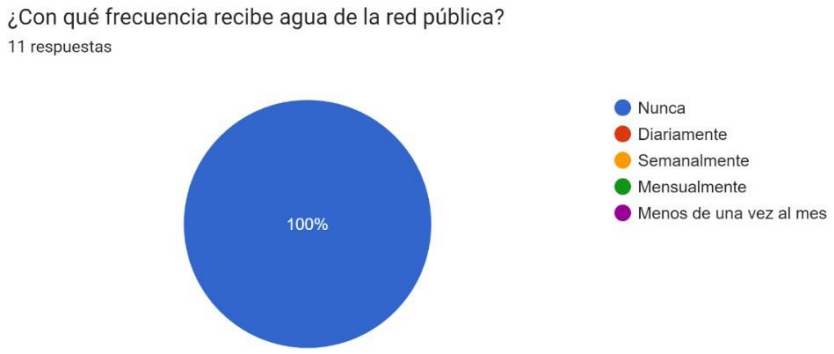
Desafíos significativos en los servicios de agua y saneamiento en áreas rurales de América Latina y el Caribe. A pesar de niveles razonables de cobertura, existen deficiencias persistentes, que afectan particularmente a los grupos de bajos ingresos y las áreas rurales (Jouravlev, 2004). Las áreas rurales enfrentan un alto déficit en la cobertura de servicios básicos de saneamiento, con algunas regiones con menos del 20% de cobertura (Costa de Araújo et al., 2016). Estas deficiencias impactan negativamente la salud pública, el medio ambiente y el desarrollo socioeconómico (Jouravlev et al., 2009). Las reformas recientes en la región se han centrado en la separación institucional de funciones, la descentralización, la participación del sector privado y nuevos marcos regulatorios (Jouravlev, 2004). Para abordar estos problemas, los

estudios recomiendan implementar políticas públicas que mejoren la calidad del servicio en las áreas rurales al tiempo que aseguran la conservación del medio ambiente (Costa de Araújo et al., 2016). Además, es necesaria una contabilidad regulatoria, sostenibilidad financiera y gestión conjunta para avanzar en soluciones para la cobertura, calidad, eficiencia y sostenibilidad de los servicios de agua y saneamiento (Jouravlev et al., 2009).

La encuesta revela la nulidad sobre la cobertura del sistema de agua potable de red pública a la que está expuesta la comunidad de la vereda del agua de la virgen pues el 100% de sus habitantes encuestados manifiestan no acceder nunca a la red de agua publica (ver gráfico) y solo un 18,2% está satisfecho con la calidad del agua que reciben pues el 45,5% de los habitantes encuestados están insatisfecho y un 36,4% está muy insatisfecho, demostrando un servicio de abastecimiento de agua potable con una pésima cobertura.

Figura 37

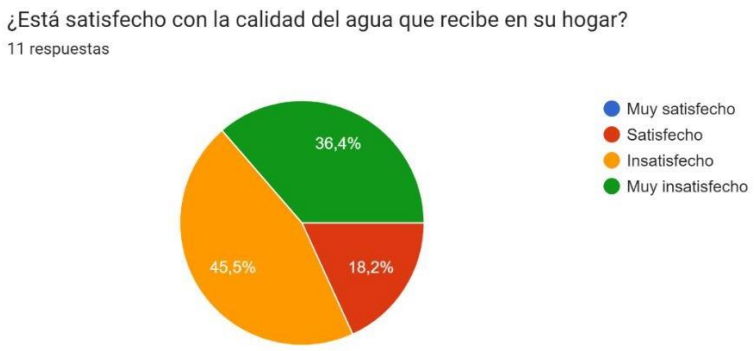
Frecuencia de agua de la red publica



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 38

Satisfacción con la calidad del agua



Nota. Tomado de (autores, 2024)

3.3.2 Calidad del Servicio de Agua

Los servicios de agua rurales en Colombia destacan desafíos significativos para proporcionar acceso al agua sostenible y de calidad. Los sistemas gestionados por la comunidad son comunes, pero a menudo tienen dificultades debido a políticas uniformes que no abordan la diversidad rural (Rivera et al., 2016). El apoyo posterior a la construcción para los proveedores de agua rurales es crucial para la sostenibilidad (Smith et al., 2012). Los problemas de calidad del agua, particularmente en las áreas rurales, están asociados con mayores tasas de mortalidad infantil y enfermedades transmitidas por el agua, lo que enfatiza la necesidad de mejorar los sistemas de suministro de agua y la vigilancia de la salud ambiental (Guzmán et al., 2015). A pesar de albergar a más de 11 millones de personas, la Colombia rural enfrenta graves deficiencias en el acceso al agua potable y al saneamiento básico. El país no logró cumplir los Objetivos de Desarrollo del Milenio para el agua y el saneamiento rurales, y sin una mayor inversión y apoyo institucional, es poco probable que logre los Objetivos de Desarrollo

Sostenible de 2030 en este sector (Mantilla, 2016). La implementación de tecnologías sostenibles para el tratamiento del agua rural es crucial, ya que el extenso marco legal y regulatorio de Colombia no se ha traducido en una cobertura adecuada (Sánchez Torres & Quiroga Rubiano, 2020).

En la recolección de datos se puede notar que la percepción del 72,7% de la comunidad respecto a la calidad del agua, es que el agua que consumen no es potable y otro 9,1% no está seguro (ver Figura *23*), así mismo la frecuencia de limpieza y mantenimiento de los sistemas existentes es muy baja puesto solo un 27,3% de la comunidad hace mantenimiento una vez al mes, mientras que la misma cantidad de la comunidad no le hace y un 36,4% lo hace una vez al año. (ver Figura *39*). Lo que refleja la falta de hábitos adecuados para la limpieza de las comunidades, generando una necesidad de educar y concientizar sobre dichas problemáticas.

Figura 39

Frecuencia de mantenimiento del sistema de agua potable



Nota. Tomado de (autores, 2024)

3.3.3 Cobertura del Servicio de Alcantarillado

A pesar de que más de 11 millones de colombianos viven en áreas rurales, alrededor de un tercio carece de acceso a saneamiento adecuado (Mantilla, 2016). La cobertura de saneamiento rural sigue siendo baja, con deficiencias en infraestructura y calidad del servicio (Sánchez Torres & Quiroga Rubiano, 2020). Abordar estos desafíos es fundamental para mejorar la calidad de vida en las zonas rurales de Colombia (Moreno Méndez, 2020).

Al analizar las respuestas de los habitantes de la vereda el agua de la virgen se nota que solo el 18,2% está satisfecho con el manejo de aguas residuales en su comunidad, mientras que un 9,1% está muy insatisfecho y un 72,7% esta insatisfecho(ver Figura *40*) al mismo tiempo que manifiestan que un 54,5% de los hogares no cuentan con un sistema propio de tratamiento de aguas residuales, si no que comparten un pozo séptico con infiltración y vertimiento a cielo abierto metros abajo de la comunidad, mientras que un 45,5% de la población cuenta con sus propios sistemas de pozo séptico (ver Figura 41). Llegando a demostrar que los sistemas individuales y comunitarios de pozos sépticos tienen a ser la única solución de las comunidades para poder manejar las aguas residuales de sus hogares.

Figura 40

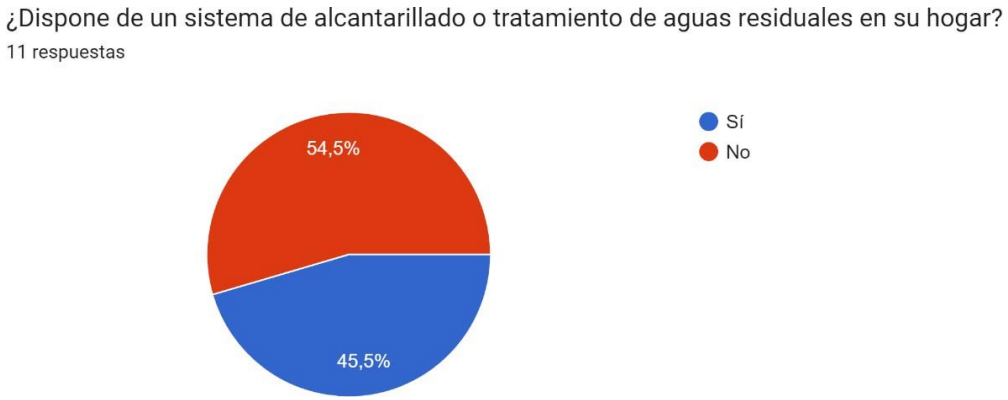
Nivel de satisfacción en el manejo de aguas residuales



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 41

Disposición de aguas residuales en los hogares



Nota. Tomado de (autores, 2024)

3.3.4 Calidad del Servicio de saneamiento

Las investigaciones sobre los servicios de saneamiento rural en América Latina revelan desafíos importantes. Los estudios en Brasil, Costa Rica y Colombia destacan la cobertura e infraestructura inadecuadas en las zonas rurales. En Pombal, Brasil, menos del 20% de los hogares rurales tienen acceso a sistemas adecuados de suministro de agua, alcantarillado y gestión de residuos (Costa de Araújo et al., 2016). De manera similar, en Maranhão, Brasil, solo el 19,9% de los hogares tienen saneamiento adecuado, muy por debajo del promedio de la región Nordeste del 35,6% (Pessoa Mota et al., 2015). En Costa Rica, si bien la satisfacción con la calidad del agua es alta, el 100% de las aguas grises se descargan sin tratamiento y el 89% de los hogares utilizan fosas sépticas para las aguas negras (Soto-Córdoba et al., 2018). La disparidad entre las zonas urbanas y rurales es evidente, y las zonas rurales carecen de infraestructura de saneamiento adecuada. (Mantilla, 2011).

Ya se ha visto en la gráfica (como se desasen del agua en su hogar) que el 100% de la comunidad esta desvinculada de la red de alcantarillado municipal y que la forma de deshacerse de las aguas residuales domesticas es mediante pozo séptico, pero nunca le hacen mantenimiento preventivo al sistema (ver Figura 42) lo que se representa en una evidente falla del sistema con la continua presencia de malos olores por parte de un 63,6% de los habitantes, quienes en su 54,5% también manifiestan que es por falta de tratamiento que se dan situaciones como las fugas y las obstrucciones frecuentes (ver Figura 43). Acompañar y brindar las comunidades en el acceso al conocimiento y la necesidad de realizar los mantenimientos para los sistemas de saneamiento básico en la zona rural es la primera iniciativa que se debe tener desde la academia para ayudar a garantizar mejores condiciones en la calidad de vida de los habitantes de las zonas rurales del país.

Figura 42

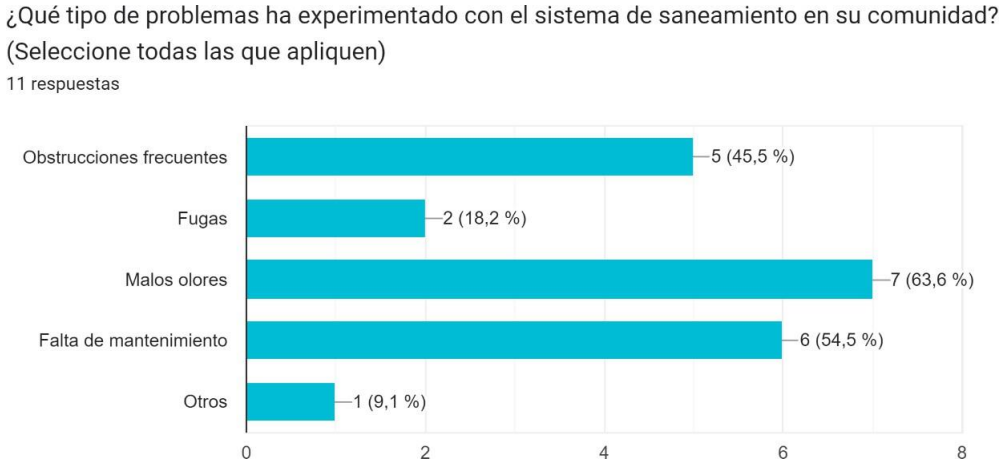
Frecuencia del mantenimiento al sistema de alcantarillado



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 43

Tipos de problemas con el sistema de saneamiento



Nota. Tomado de (autores, 2024)

3.4 Identificación de deficiencias y problemas en el sistema hidrosanitario de la vereda.

El sistema hidrosanitario de la vereda El Agua de la Virgen presenta deficiencias críticas que afectan tanto el acceso a agua potable como el saneamiento básico, por estas razones se llevaron a cabo unos análisis fisicoquímico y microbiológico en diferentes puntos en la red de abastecimiento de la vereda. Estas deficiencias no solo comprometen la salud de la comunidad, también pueden limitar su calidad de vida y su desarrollo socioeconómico. Es urgente implementar mejoras en la infraestructura de captación, almacenamiento y tratamiento de agua, así como en el manejo de aguas residuales, para cumplir con los estándares de salubridad y garantizar un acceso equitativo y seguro a estos servicios esenciales.

3.4.1 Análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras

Protocolo para la Toma de Muestras de Agua para Análisis en Laboratorio. Para garantizar la calidad y la representatividad de los análisis, es fundamental seguir un protocolo estandarizado durante la toma de muestras de agua. Este protocolo minimiza el riesgo de contaminación y asegura que las muestras reflejen fielmente las condiciones del agua en la fuente. A continuación, se describen las etapas clave del protocolo:

Preparación del Equipo y Materiales: Se utilizan frascos de muestreo esterilizados de vidrio y asegurándose de contar con guantes desechables, etiquetas y materiales para el transporte en frío. Es importante revisar que todo el equipo esté limpio y en condiciones óptimas antes de iniciar la toma.

Selección del Punto de Muestreo: Elegir puntos representativos de la fuente, considerando variaciones en la profundidad y la ubicación geográfica. En el caso de la vereda, realizaron las tomas en distintos puntos cruciales para captar la variabilidad del recurso.

Procedimiento de Recolección: Lavar y enjuagar el contenedor de muestreo con la misma agua que se va a analizar, realizar un enjuague previo para eliminar residuos.

Recoger la muestra de forma directa, evitando la formación de burbujas, sin tocar el interior del contenedor con las manos y en una sola toma.

Sellar y etiquetar la muestra inmediatamente, indicando fecha, hora, lugar y el punto de muestreo.

Almacenamiento y Transporte: Conservar las muestras en condiciones que no aumenten su temperatura y transportarlas al laboratorio en el menor tiempo posible, siguiendo las directrices de los estándares internacionales y las recomendaciones del laboratorio.

Análisis en el Laboratorio: Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, que cuenta con equipos y metodologías para analizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos de acuerdo con las normativas vigentes servicios (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TER, 2017).

Estudios de las muestras.Para la elaboración de este análisis se realizaron estudios a muestras de agua tomadas en tres puntos clave del sistema de agua suministrada a la vereda, los cuales fueron, el tanque subterráneo (captación), el tanque almacenamiento y la sede primaria el

agua de la virgen (usuario final). Con la finalidad de verificar la calidad del agua que consume la comunidad, y sus características, los resultados fueron los siguientes:

Captación.

Tabla 3

Resultados análisis fisicoquímico y microbiológico de la captación

ANÁLISIS	UNIDAD	MÉTODO- TÉCNICA	RESULTADO
Hierro	mg/L Fe	SM 3500-Fe B	1.46
Nitritos	mg/L N-NO_{2-}	SM 4500 NO_{2-} B	0.0693
Nitratos	mg/L N-NO_{3-}	SM 4500 NO_{3-} B	7.92
Fosfatos	mg/L PO_4^{3-}	SM 4500-P E	0.52
Turbiedad	NTU	SM 2130 B	8.82
pH	pH	SM 4500 H+B	6.98
Conductividad	µS/cm	SM 2510 B	178.9
Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	SM 2320 B	66.5
Dureza total	mg/L $CaCO_3$	SM 2340 C	123
Coliformes totales	UFC/100 mL	SM 9222 B	204
Escherichia coli	UFC/100 mL	SM 9222 B	42

Nota. Tomado de (autores, 2024)

Almacenamiento

Tabla 4

Resultados análisis fisicoquímico y microbiológico del almacenamiento

ANÁLISIS	UNIDAD	MÉTODO- TÉCNICA	RESULTADO
Hierro	mg/L Fe	SM 3500-Fe B	1.29
Nitritos	mg/L N-NO_{2-}	SM 4500 NO_{2-} B	0.0198
Nitratos	mg/L N-NO_{3-}	SM 4500 NO_{3-} B	7.04
Fosfatos	mg/L PO_4^{3-}	SM 4500-P E	0.71
Turbiedad	NTU	SM 2130 B	7.18
pH	pH	SM 4500 H+B	7.08
Conductividad	µS/cm	SM 2510 B	161.2
Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	SM 2320 B	64

Dureza total	mg/L $CaCO_3$	SM 2340 C	108
Coliformes totales	UFC/100 mL	SM 9222 B	128
Escherichia coli	UFC/100 mL	SM 9222 B	17

Nota. Tomado de (autores, 2024)

Tabla 5

Resultados análisis fisicoquímico y microbiológico de la escuela primaria

ANÁLISIS	UNIDAD	MÉTODO- TÉCNICA	RESULTADO
Hierro	mg/L Fe	SM 3500-Fe B	0.90
Nitritos	mg/L $N\text{-}NO_{2}^{-}$	SM 4500 NO_{2}^{-} B	0.0033
Nitratos	mg/L $N\text{-}NO_{3}^{-}$	SM 4500 NO_{3}^{-} B	4.84
Fosfatos	mg/L PO_{4}^{3-}	SM 4500-P E	0.65
Turbiedad	NTU	SM 2130 B	2.11
pH	pH	SM 4500 H+B	7.35
Conductividad	µS/cm	SM 2510 B	158.8
Alcalinidad	mg/L $CaCO_3$	SM 2320 B	62.5
Dureza total	mg/L $CaCO_3$	SM 2340 C	119
Coliformes totales	UFC/100 mL	SM 9222 B	107
Escherichia coli	UFC/100 mL	SM 9222 B	8

Nota. Tomado de (autores, 2024)

Las muestras de agua cruda tomadas, se analizaron con base en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, comparando los resultados con los límites recomendados por la **Resolución 2115 de 2017**, que establece los criterios de calidad del agua para consumo humano en Colombia, y la **Resolución 0330 de 2017**, que regula el diseño y operación de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Tabla 6

Comparación entre las muestras y los Límites Normativos

Parámetro	Límite Máximo Permitido	Captación	Almacenamiento	Escuela	¿Cumple con la normativa?
Hierro (mg/L Fe)	0.3 mg/L	1.46	1.29	0.90	✖ No cumple
Nitritos (mg/L N-NO2)	1 mg/L	0.0693	0.0198	0.0033	✅ Cumple
Nitratos (mg/L N-NO3)	10 mg/L	7.92	7.04	4.84	✅ Cumple
Fosfatos (mg/L $PO4^{3-}$)	0.30mg/L	0.52	0.71	0.65	✖ No cumple
Turbiedad (NTU)	2 NTU	8.82	7.18	2.11	✖ No cumple
pH	6.5 - 9.0	6.98	7.08	7.35	✅ Cumple
Conductividad (µS/cm)	1000 µS/cm.	178.9	161.2	158.8	✅ Cumple

Parámetro	Límite Máximo Permitido	Captación	Almacenamiento	Escuela	¿Cumple con la normativa?
Alcalinidad (mg/L	150 mg/L	66.5	64	62.5	✅ Cumple
Dureza total (mg/L	150 mg/L	123	108	119	✅ Cumple
Coliformes totales (UFC/100 mL)	0 UFC/100 mL	204	128	107	➕ No cumple
Escherichia coli (UFC/100 mL)	0 UFC/100 mL	42	17	8	➕ No cumple

Nota. Tomado de (autores, 2024)

A partir de la tabla de comparación, se logra identificar los parámetros que no cumplen con la normativa vigente, lo que indica problemas en la calidad del agua en todas las etapas del sistema de abastecimiento.

Parámetros que NO cumplen con la normativa.

Hierro (Fe) – Límite: 0.3 mg/L. Los resultados superan el límite máximo de 0.3 mg/L en todas las muestras; Captación: 1.46 mg/L, Almacenamiento: 1.29 mg/L y Escuela: 0.90 mg/L

Implicaciones:

- El hierro en el agua potable no es tóxico, pero en concentraciones > 0.3 mg/L causa problemas operativos y estéticos:
- Sabor metálico.
- Manchas en ropa y tuberías.
- Crecimiento de bacterias hierro-oxidantes (ej: Gallionella).

Fosfatos (PO_4^{3-}) – Límite: 0.10 mg/L. Los resultados exceden el límite de 0.30 mg/L en todas las muestras: Captación: 0.52 mg/L, Almacenamiento: 0.71 mg/L y Escuela: 0.65 mg/L

Nota importante:

La Resolución 2115 de 2007 no regula fosfatos en agua potable, pero se adoptado un límite de 0.3 mg/L, establecido por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), más específicamente la CAR Cundinamarca (CAR Cundinamarca, 2015).

Implicaciones:

- En agua potable, los fosfatos no son dañinos para la salud, pero en cuerpos de agua pueden causar eutrofización (crecimiento excesivo de algas).

Turbiedad Límite: 2 NTU

Los resultados superan el límite de 2 NTU: Captación: 8.82 NTU, Almacenamiento: 7.18 NTU y Escuela: 2.11 NTU

Implicaciones:

- La turbiedad > 2 NTU indica presencia de partículas en suspensión (arcilla, materia orgánica, microorganismos).

Riesgos:

- Protege a patógenos (ej: bacterias, virus) de la desinfección.
- Reduce eficacia del cloro.

Coliformes totales y Escherichia coli – Límite: 0 UFC/100 mL. Los resultados detectan coliformes y escherichia coli en todas las muestras, cuando el valor permitido es 0 UFC/100 mL:

Implicaciones:

- Coliformes totales: Indican contaminación general (suelo, materia orgánica).
- E. coli: Confirma contaminación fecal (heces humanas o animales).

Riesgos graves:

- Enfermedades gastrointestinales (diarrea, cólera, hepatitis A).

Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA). El Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) es una herramienta diseñada

para evaluar de forma integral el riesgo sanitario asociado al agua destinada al consumo humano. Este índice fue establecido en la Resolución 2115 de 2007 y se fundamenta en la asignación de puntajes de riesgo a diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos según su grado de desviación de los valores máximos aceptables.

Componentes y Cálculo del IRCA. **Parámetros Evaluados:**

Se asigna un puntaje específico a cada parámetro (por ejemplo, turbiedad, pH, cloro residual, coliformes totales, Escherichia coli, entre otros), conforme a la desviación de los valores establecidos en la normativa.

Fórmula del IRCA por Muestra:

$$IRCA\ (\%) = (\frac{S\ de\ puntajes\ de\ riesgo\ asignados\ a\ las\ características\ no\ aceptables}{S\ de\ puntajes\ de\ riesgo\ asignados\ a\ las\ características\ analizadas})\ x100$$

Un IRCA de 0% indica que se cumplen todas las condiciones de calidad, mientras que un valor de 100% representa el mayor riesgo sanitario.

Aplicación y Clasificación:

Los estudios analizados, en su mayoría en zonas rurales permiten clasificar la calidad del agua en diferentes niveles de riesgo, lo que facilita la toma de medidas correctivas por parte de las autoridades sanitarias. Por ejemplo, niveles elevados de IRCA en zonas rurales pueden indicar la necesidad de intervenciones inmediatas para mejorar la potabilización y distribución del agua (Rojas Rodríguez & Colmenares Cruz, 2021).

Análisis IRCA de las muestras. Se realizó un análisis de las muestras tomadas para logar encontrar sus respectivos puntajes del IRCA, y poder encontrar los niveles de riesgo presentes en el agua consumida por la comunidad.

Tabla 7

Parámetros del IRCA De las muestras

Característica	Puntaje de riesgo	Captación	Almacenamiento	Escuela
Color Aparente	6	No analizado	No analizado	No analizado
Turbiedad	15	15	15	15
pH	1,5	0	0	0
Cloro Residual Libre	15	No analizado	No analizado	No analizado
Alcalinidad Total	1	0	0	0
Calcio	1	No analizado	No analizado	No analizado
Fosfatos	1	1	1	1
Manganeso	1	No analizado	No analizado	No analizado
Molibdeno	1	No analizado	No analizado	No analizado
Magnesio	1	No analizado	No analizado	No analizado
Zinc	1	No analizado	No analizado	No analizado
Dureza Total	1	0	0	0
Sulfatos	1	No analizado	No analizado	No analizado
Hierro Total	1,5	1,5	1,5	1,5
Cloruros	1	No analizado	No analizado	No analizado
Nitratos	1	0	0	0
Nitritos	3	0	0	0
Aluminio (Al3+)	3	No analizado	No analizado	No analizado
Fluoruros	1	No analizado	No analizado	No analizado
COT	3	No analizado	No analizado	No analizado
Coliformes Totales	15	15	15	15
Escherichia Coli	25	15	15	15

Sumatoria de puntajes	65	47,5	47,5	47,5
IRCA	100	73,08	73,08	73,08

Tenemos que la clasificación IRCA de las tres muestras tomadas, están en el rango 35.1 80, con un nivel de riego ALTO, por lo cual se informará al COVE, Alcaldía, Gobernación y a la SSPD. Porque el agua no es apta para consumo humano, haciendo que sea fundamental implementar medidas de tratamiento y control para reducir la turbiedad, el contenido de hierro y la contaminación microbiológica, a fin de cumplir con los estándares de potabilidad y garantizar la seguridad sanitaria del agua suministrada.

3.4.2 Falta de Acceso a Agua Potable

Carencia de un sistema de potabilización adecuado: La vereda no cuenta con un sistema de tratamiento que garantice que el agua consumida cumpla con las especificaciones técnicas mínimas establecidas en la Resolución 0330 de 2017. Esto se evidencia en que un 72,7% de los habitantes encuestados considera que el agua que consumen no es potable, y un 9,1% no está seguro de su calidad (ver Figura *23*).

Infraestructura inadecuada de captación y almacenamiento: La comunidad depende de un tanque subterráneo artesanal con filtros rudimentarios y de un tanque de almacenamiento de 12 metros cúbicos que no garantiza la calidad del agua distribuida. Las tuberías utilizadas son rudimentarias, presentan conexiones erradas y frecuentes fugas, lo que contribuye a una baja eficiencia del sistema. Además, el 72,7% de los encuestados reporta problemas de presión baja y frecuentes interrupciones en el suministro de agua (ver Figura *30*).

Ausencia de conexión a la red pública de agua potable: Ninguno de los hogares en la vereda tiene acceso a la red pública de agua potable, lo que obliga a la comunidad a depender exclusivamente de la fuente de agua superficial y de la recolección de agua de lluvia.

3.4.3 Deficiencias en el Saneamiento Básico

Inexistencia de un sistema de alcantarillado: El 100% de los hogares de la vereda carece de conexión a un sistema de alcantarillado. Los habitantes dependen de pozos sépticos rudimentarios, compartidos en algunos casos, que han sido construidos por la comunidad misma. Estos sistemas presentan graves problemas de obstrucción, fugas y malos olores, afectando la calidad de vida de los habitantes.

Falta de mantenimiento de los sistemas de saneamiento: Un 90,9% de los encuestados reporta problemas de obstrucción en sus sistemas de pozo séptico, lo que indica una falta de mantenimiento adecuado (ver Figura 36). Además, un 54,5% de los hogares comparte un pozo séptico con vertimiento a cielo abierto, lo que incrementa los riesgos sanitarios para la comunidad (ver Figura *41*).

Insatisfacción con la calidad del servicio de saneamiento: La mayoría de los habitantes encuestados (72,7%) está insatisfecha o muy insatisfecha con la calidad del manejo de aguas residuales en la comunidad (ver Figura *40*). Esto se ve reflejado en la percepción de malos olores y la falta de tratamiento adecuado de las aguas residuales.

3.4.4 Cobertura y Calidad del Servicio

Cobertura deficiente del servicio de agua: La comunidad no tiene acceso a un sistema de agua potable de red pública, lo que limita severamente la cobertura del servicio. Solo un 18,2%

de los encuestados está satisfecho con la calidad del agua que reciben, mientras que un 81,8% manifiesta insatisfacción (ver Figura *38*).

Calidad inadecuada del servicio de saneamiento: Al igual que con el agua, la calidad del servicio de saneamiento es deficiente. Los pozos sépticos utilizados no reciben mantenimiento preventivo, lo que genera frecuentes problemas de salud pública, como la presencia de malos olores y el riesgo de contaminación del suelo y las fuentes de agua cercanas.

3.5 Sugerencias a considerar en Sistemas Hidrosanitarios en Comunidades Rurales

Las recomendaciones propuestas buscan mejorar la calidad del agua y fortalecer la sostenibilidad del sistema hidrosanitario en la comunidad. La implementación de estrategias de desinfección, filtración y control de contaminación, junto con un enfoque de gestión comunitaria, podría optimizar la eficiencia del servicio y reducir los riesgos sanitarios asociados al consumo de agua no tratada.

Es fundamental que estas iniciativas sean respaldadas por programas de educación y concientización que promueven la participación activa de la comunidad en el manejo y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua. Solo a través de un enfoque integral y colaborativo se logrará garantizar el acceso sostenible a agua potable segura en las zonas rurales del país.

3.5.1 Recomendaciones Urgentes

Desinfección Continua. Implementar un sistema de cloración eficiente en el almacenamiento de agua, asegurando un nivel residual de cloro libre entre 0.3 y 0.5 mg/L, según lo estipulado por la Resolución 2115 de 2017 (Ministerio de Salud y Protección Social., 2017).

Evaluar la posibilidad de utilizar cloradores de bajo costo o electrólisis de sal para generar cloro in situ y mejorar la accesibilidad al desinfectante (López Ortega, M)

Integridad del Sistema. Inspeccionar y mejorar el sistema de filtración para garantizar la eliminación de partículas y contaminantes microbiológicos. Se recomienda la instalación de filtros de arena lenta, los cuales han demostrado una alta efectividad en la reducción de bacterias y turbiedad en el agua potable (Torres Parra, Saldeño Madero, & Villegas Flores, 2020).

Revisar y reparar las filtraciones en tuberías y tanques, ya que estas pueden permitir la contaminación cruzada y comprometer la calidad del agua distribuida (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Educación Comunitaria. Implementar programas de concientización para promover el uso adecuado del agua y evitar prácticas contaminantes, como la defecación al aire libre o la disposición inadecuada de residuos cerca de fuentes hídricas.

Capacitar a los habitantes en el mantenimiento básico de sistemas de captación y distribución de agua, asegurando una apropiación comunitaria del servicio (Garrido, Da Silva, & Storaci, 2013).

3.5.2 Recomendaciones Generales

Optimización de la Calidad del Agua. Instalar filtros de arena verde para la oxidación y remoción del hierro, lo que ayudará a reducir los problemas de color, sabor y acumulación en las tuberías (RAS, 2010).

Evaluar el material de las tuberías y, en caso de que sean metálicas, sustituirlas por PVC o polietileno de alta densidad (PEAD) para reducir la corrosión y la contaminación del agua (Ministerio de Vivienda C. y., Resolución 0330, 2017).

Mejorar el sistema de filtración con el uso de carbón activado, lo que permitirá la eliminación de contaminantes orgánicos y mejorará las características organolépticas del agua (Lerma Arias M. , 2012)).

Ajustar el proceso de coagulación-floculación utilizando productos como sulfato de aluminio o policloruro de aluminio, según las condiciones del agua cruda y las recomendaciones técnicas establecidas (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Control de Contaminación y Protección de Fuentes Hídricas. Evaluar la necesidad de remoción de fosfatos en zonas donde se evidencien concentraciones elevadas, utilizando métodos como la adsorción con óxidos de hierro o la precipitación química, dependiendo de los límites establecidos por la normativa local ((Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Mantenimiento Preventivo y Gestión Comunitaria. Realizar limpieza periódica de los tanques de almacenamiento para evitar la acumulación de sedimentos y microorganismos, siguiendo protocolos establecidos por las autoridades de salud pública (Ministerio de Salud y Protección Social., 2017).

Monitorear la calidad del agua de manera regular, asegurando la toma de muestras y análisis microbiológicos y fisicoquímicos según los lineamientos establecidos en la Resolución 2115 de 2017 (Ministerio de Salud y Protección Social., 2017).

Promover modelos de gestión comunitaria del agua, donde los habitantes participen activamente en la operación y mantenimiento de los sistemas hidrosanitarios, fortaleciendo su sostenibilidad a largo plazo (Becerra Perenguez, Acosta Astaiza, & Leyton Luna, 2004).

3.6 Propuestas de mejora para la infraestructura y gestión del sistema

Es de aclarar que no se realizó este estudio en harás de diseñar el sistema hidrosanitario de la vereda el agua de la virgen, si no para abordar a fondo las deficiencias identificadas en la cobertura y calidad del servicio y acceso al derecho fundamental de agua potable y saneamiento básico en la vereda del Agua de la Virgen, con base en eso se presentan las siguientes recomendaciones y propuestas de mejora, basadas en las normativas vigentes y las respuestas obtenidas en la encuesta.

3.6.1 Propuesta 1

La propuesta busca implementar soluciones innovadoras y sostenibles que no solo cumplan con la normatividad colombiana, sino que también se adapten a las condiciones locales, abordando las deficiencias en el acceso al agua potable y la gestión de recursos hídricos. La primera instancia sería instalar sistemas de recolección de agua de lluvia y captura de niebla, adaptados a las características geográficas y climáticas de la vereda. En países como Australia, Kenia (Amos, Rahman, & Mwangi Gathenya, 2018) y Jordania (Abu-Zreig, Ababneh, & Abdullah, 2019), se ha implementado el uso de platillos de lluvia sin necesidad de una superficie de captación, lo cual minimiza la presencia de impurezas y elimina la necesidad de procesos de desinfección para un uso inmediato. Este método también ha sido aplicado en Bangladesh para abastecer edificaciones (Ibne Bashar, Karim, & Alam Imteaz, 2018), en Colombia en proyectos

de vivienda (Torres Chamat & Morales Pinzón, 2022), y en zonas rurales de la India para el suministro de agua en centros educativos (Richards, y otros, 2021).

Estos sistemas han demostrado ser efectivos en otras regiones de Colombia, como Quibdó y la altillanura colombiana, donde han permitido garantizar un suministro constante de agua tanto para consumo humano como para actividades agrícolas (Torres Chamat & Morales Pinzón, 2022). La promoción de estas tecnologías no solo enfrentará la escasez de agua, sino que también ofrecerá soluciones sostenibles frente a los desafíos del cambio climático.

Se sugiere la construcción de una planta de tratamiento de agua que utilice tecnologías de filtración, desinfección y purificación adecuadas para las fuentes superficiales disponibles en la vereda. Esta planta debe estar diseñada siguiendo los estándares de potabilidad establecidos por la normativa colombiana y adaptarse a las características del agua local. Estudios realizados en Cambao, Cundinamarca, han demostrado la efectividad de optimizar las plantas de tratamiento con tecnologías avanzadas como la ozonización. La Resolución 0330 de 2017 presenta en su Tabla N°4 diferentes tecnologías para el tratamiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua. Tomando en cuenta esta información, las tecnologías apropiadas para tratar los parámetros incumplidos en la fuente de agua serían: coagulación + floculación + sedimentación y filtración convencional. (Poveda Gómez, Bejarano Suescún, & Ospitia Prada, 2022) (Velandia Medina, 2019).

Figura 44

Filtro, coagulador, seditubos



Nota. Tomado de (Poveda Gómez, Bejarano Suescún, & Ospitia Prada, 2022)

Aunque la Resolución 0330 menciona tecnologías de filtración especiales para el tratamiento de cloruros, este aspecto también se puede abordar mediante una filtración por absorción utilizando carbón activado, el cual se puede incluir dentro de las capas del lecho filtrante del dispositivo de filtración. Por lo tanto, las tecnologías de tratamiento implementadas en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del centro poblado de Cambao son adecuadas para el tratamiento de las aguas de captación durante la temporada baja. (Poveda Gómez, Bejarano Suescún, & Ospitia Prada, 2022) (Velandia Medina, 2019).

3.6.2 Propuesta 2

En Colombia, la gestión y tratamiento de aguas residuales es limitada, y en 2011 solo el 9% de estas eran tratadas de manera efectiva (Espinosa Ortiz , 2014). Esta problemática se agrava en zonas rurales, donde la falta de sistemas de alcantarillado dificulta la implementación de soluciones convencionales de saneamiento. Se propone construir un sistema de saneamiento integral para la comunidad de la Vereda El Agua de la Virgen, que recoja y trate adecuadamente

las aguas residuales domésticas. Este sistema debe cumplir con las normativas ambientales vigentes, protegiendo la salud pública y reduciendo el impacto ambiental. Se sugiere implementar métodos biológicos como las lagunas de estabilización las cuales son un claro ejemplo de tecnología utilizada para el tratamiento de aguas residuales.

Estas lagunas son implementadas en la mayoría de los municipios del departamento de Cundinamarca. Específicamente, las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) de Gachancipá, Suesca, Tocancipá y Zipaquirá cuentan con estos sistemas lagunares. Las lagunas de estabilización utilizadas en estas PTARs han logrado remociones de hasta el 80% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y superiores al 80% en los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Demostrando su eficacia en la eliminación de contaminantes, logrando remociones de hasta el 80% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y superiores al 80% en los Sólidos Suspendidos Totales (SST), según los estudios realizados. Esto evidencia que esta tecnología cumple con los estándares legales de tratamiento de aguas residuales. La implementación de las lagunas de estabilización en los municipios de Cundinamarca, como en los casos de las PTARs de Gachancipá, Suesca, Tocancipá y Zipaquirá, muestra que esta es una tecnología apropiada y efectiva para el tratamiento de aguas residuales a nivel municipal en esta región del país (Vargas, Calderón, Velásquez, Castro, & Núñez, 2020).

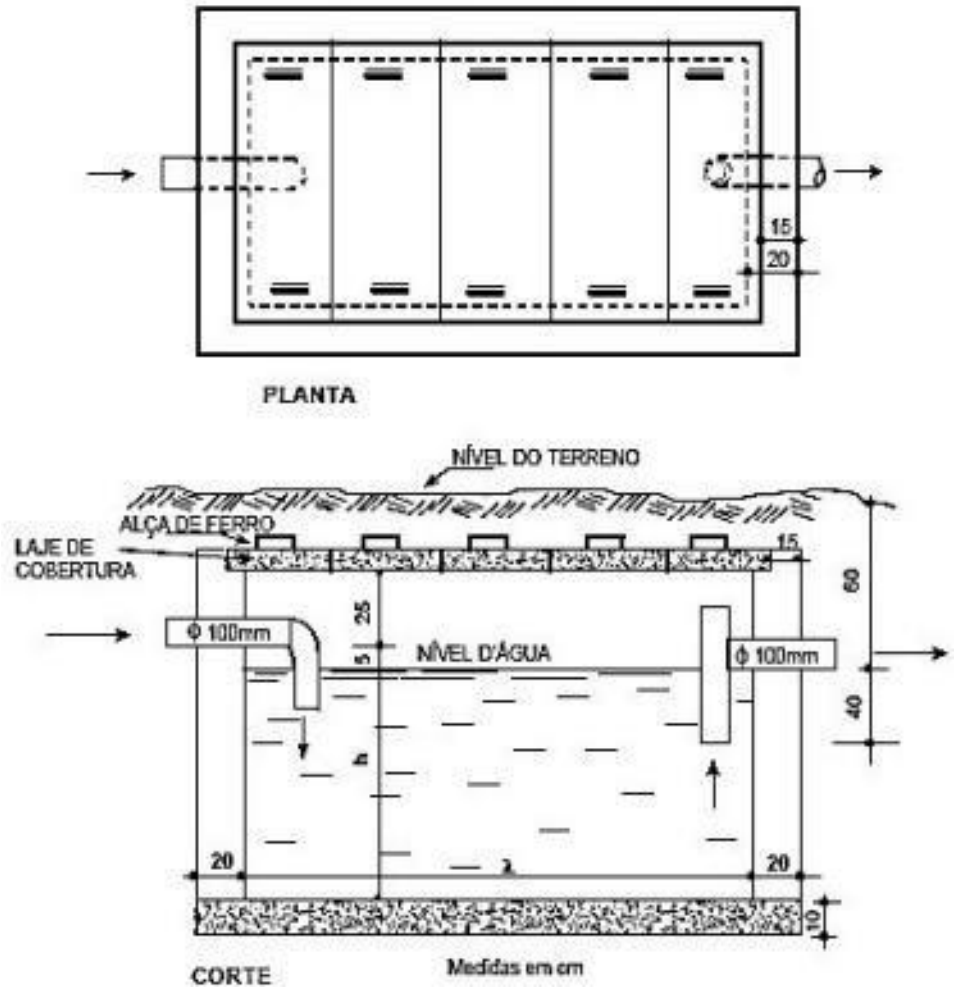
Además, se proponen soluciones prácticas y de bajo costo para los hogares no conectados al sistema de alcantarillado, como colectores simplificados y fosas sépticas, que utilizan mano de obra local y materiales accesibles, permitiendo un manejo adecuado de las aguas residuales en comunidades rurales (Batista Salvador & Frigo, 2021).

La investigación en un asentamiento de reforma agraria en el humedal del Mato Grosso del Sur brasileño, evaluó el uso de fosas sépticas, una tecnología que es bien aceptada por la comunidad debido a que satisface las necesidades de las familias. Las fosas sépticas funcionan mediante procesos de sedimentación y digestión anaeróbica de la materia orgánica, eliminando entre el 50-60% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Sin embargo, esta reducción no es suficiente para que el efluente pueda ser liberado en el medio ambiente sin tratamiento adicional, ya que la eliminación de nutrientes y patógenos en estas fosas es limitada. Además, las fosas sépticas pueden generar malos olores, principalmente por la producción de sulfuro de hidrógeno, por lo que es crucial que estén ventiladas para evitar olores desagradables y prevenir riesgos de explosión en caso de obstrucción. (Batista Salvador & Frigo, 2021)

Los lodos acumulados en el fondo del tanque séptico se digieren durante un período prolongado, generalmente de un año, antes de que se realice la limpieza. Las fosas pueden ser construidas en forma rectangular o circular, utilizando materiales como mampostería revestida con mortero de cemento, anillos prefabricados de hormigón o cajas de fibrocemento. Es esencial que estas fosas estén bien cerradas, con ventilación adecuada y tubos de inspección para facilitar el mantenimiento y la eliminación de lodos. Un ejemplo de diseño es un pozo prismático rectangular con capacidad para 12 personas, que tendría un volumen total de 3.800 litros y dimensiones internas de 1,1 metros de ancho, 2,3 metros de largo y 1,5 metros de profundidad, como se puede apreciar en la Figura 45 (Batista Salvador & Frigo, 2021).

Figura 45

Vista en planta y en corte de una fosa séptica prismática retangular



Nota. Tomado de (Batista Salvador & Frigo, 2021)

3.6.3 Propuesta 3

Desarrollar un programa integral de capacitación para la comunidad, enfocado en fortalecer el conocimiento y las habilidades de los habitantes en temas como: Uso eficiente del agua, Mantenimiento de instalaciones sanitarias, Gestión adecuada de residuos, etc. Este tipo de

iniciativa se llevó a cabo en la zona de planificación territorial 2 de la parroquia rural Posorja, en Guayaquil, Ecuador. Para la elaboración e implementación de estos planes de desarrollo de habilidades en salud ambiental, se realizaron diversas jornadas de capacitación comunitaria, siguiendo lineamientos de la Guía de Agua Segura del Ministerio de Salud Pública y la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento del Distrito Metropolitano de Quito (MINSA/EPMAPS, 2019), así como el manual de saneamiento básico comunitario de la Dirección de Desarrollo Social (DDS, 2019) (Pérez Solís, Villacreses Medina, Zúñiga Llerena , & Salame Ortiz, 2022)

Posterior a estas jornadas de capacitación, se evaluó el desempeño de las actividades del proyecto, valorando tanto las habilidades cognoscitivas como las prácticas, en comparación con las competencias previas de los participantes. Como resultado, se evidenció un incremento significativo en las habilidades de los habitantes en aspectos relacionados con el abastecimiento de agua potable, disposición de residuos sólidos y control de fauna nociva. Esto se tradujo en el fortalecimiento del desarrollo de habilidades en saneamiento ambiental, lo cual impacta positivamente en la salud pública y la calidad de vida de las comunidades. (Pérez Solís, Villacreses Medina, Zúñiga Llerena , & Salame Ortiz, 2022)

El programa integral de capacitación que se implemente puede beneficiarse del uso de la cartilla informativa titulada "SISTEMAS HIDROSANITARIOS EN ZONAS RURALES," elaborada por los estudiantes Stefan Andrés Gomez Navarro y Jhon Sebastián Becerra Ascanio. Dado que la comunidad de la vereda actualmente carece de información técnica sobre el tema, esta cartilla puede ser una herramienta esencial para mejorar la calidad de los sistemas hidrosanitarios. La cartilla recopila información clave y necesaria sobre los sistemas hidrosanitarios, alineada con las normativas legales vigentes, lo que permitirá a los miembros de

la comunidad familiarizarse con las mejores prácticas y estándares, y aplicar estos conocimientos en sus hogares y entorno.

Capitulo 4 Elaboración de una cartilla informativa con recomendaciones para la comunidad y autoridades locales

En el análisis de datos suministrado por la comunidad se encontró que un 90,9% de la población considera que su comunidad no está bien informada sobre el manejo adecuado del agua potable y el saneamiento básico (ver gráfico) que un 100% consideran que las autoridades locales no hacen lo suficiente por mejorar las garantías de acceso a agua potable y saneamiento básico de su comunidad(ver gráfico), pero un 72,7% no le notifica ni le informa a las autoridades locales ningún problema o afectación relacionados con la prestación de servicio de agua potable y saneamiento básico (ver gráfico).

Figura 46

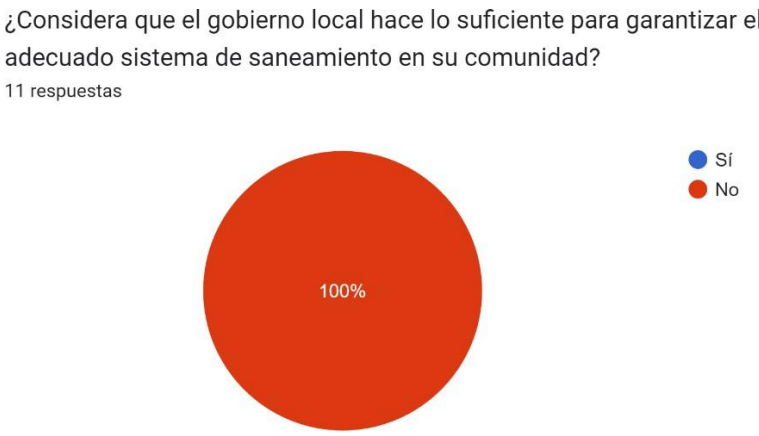
Consideración de la información sobre el manejo adecuado del agua potable y las aguas servidas



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 47

Consideración sobre la presencia gubernamental en la vereda



Nota. Tomado de (autores, 2024)

Figura 48

Informes a las autoridades competentes sobre los problemas relacionados con el agua o sistema de alcantarillado



Nota. Tomado de (autores, 2024)

En aras a brindar un poco de acceso al conocimiento de los sistemas hidrosanitarios establecidos dentro de las normativas legales vigentes hacemos entrega da cartilla de sistemas hidrosanitarios en las zonas rurales, para que la comunidad rural en general pueda educarse en cuanto a lo que es un sistema hidrosanitario.

Ver cartilla

Capitulo 5 Conclusiones

La vereda El Agua de la Virgen enfrenta graves problemas de acceso a agua potable y saneamiento. El sistema actual de suministro de agua no cuenta con las condiciones mínimas para la potabilización de agua establecidas en las normativas vigentes del país.

En el análisis bibliométrico se demuestra que América latina esta al final de las líneas de investigación en temas como saneamiento básico y acceso al agua potable en zonas rurales, que las universidades colombianas deben empezar a pensarse el estudio de temas tan fundamentales y que los países del cono sur de América deben incentivar el desarrollo científico y tecnológico de las comunidades para mitigar las necesidades y empezar a brindar condiciones de acceso al derecho fundamental al agua potable y saneamiento básico.

En el análisis del sistema hidrosanitario de la vereda del Agua de la Virgen en Ocaña, se ha identificado una desconexión significativa entre las normativas vigentes y la realidad de las comunidades rurales. A pesar de los esfuerzos, las políticas actuales no abordan adecuadamente las particularidades de estas zonas, resultando en una deficiencia en la infraestructura y gestión sostenible de los recursos hídricos. La normativa existente carece de especificidad y mecanismos efectivos para las áreas rurales, y la falta de obligaciones legales vinculantes para las autoridades ha llevado a inversiones insuficientes, dificultando el acceso equitativo al agua potable y perpetuando disparidades entre zonas urbanas y rurales. Es esencial crear una legislación específica con responsabilidades claras y mecanismos de rendición de cuentas para cerrar estas brechas y asegurar un acceso equitativo a los servicios, promoviendo un desarrollo rural más equitativo y sostenible en Colombia.

La comunidad de la vereda del agua de la virgen no cuenta con un sistema hidrosanitario que cumpla con las diferentes normativas de saneamiento básico y potabilización de agua establecidas para Colombia, esta peligrosa situación expone a la comunidad a un posible riesgo de salud por el consumo de agua sin tratamientos mínimos, seguido de una mala práctica de limpieza en los diferentes sistemas con los que cuentan como comunidad; como lo son el tanque de captación, los diferentes tanques de almacenamiento y las malas redes de distribución, se insta a las autoridades locales y académicas a realizar los diferentes estudios para el óptimo diseño y puesta en marcha de un sistema hidrosanitario para la comunidad que cuente con las normativas legales vigentes y que pueda garantizar mejores condiciones de vida para la comunidad.

Uno de los mayores desafíos para el acceso a sistemas hidrosanitarios adecuados en las zonas rurales es la falta de información que limita la capacidad de las comunidades para gestionar de manera efectiva sus recursos hídricos. A través de este estudio, se evidencia la importancia de empoderar a las comunidades mediante información clara y accesible sobre la gestión del agua y la infraestructura sanitaria para garantizar la salud y el bienestar al proporcionar las herramientas y el conocimiento necesarios, para solo se mejorar la calidad de vida, sino que también se promover un uso más sostenible y eficiente de los recursos hídricos disponibles por las comunidades. En última instancia, la educación y la capacitación son pilares esenciales para el desarrollo de sistemas hidrosanitarios pertinentes y duraderos en áreas rurales, lo que subraya la urgencia de implementar programas de apoyo y formación continua en estas comunidades.

Es necesario implementar soluciones sostenibles que incluyan mejoras en la infraestructura de captación, almacenamiento y tratamiento de agua, así como la creación de un sistema de alcantarillado apropiado. Además, es fundamental fortalecer la capacidad técnica y

los recursos de la comunidad para garantizar el mantenimiento y la sostenibilidad a largo plazo de estos servicios. (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TER, 2017)

Capitulo 6 Referencias

Abu-Zreig, M., Ababneh, F., & Abdullah, F. (2019). Assessment of rooftop rainwater harvesting in northern Jordan. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 114*,.

Alvarado Lagunas, E., Rodríguez Medina, O., & Iturralde Mota, O. (2016). Niveles De Cobertura Y Accesibilidad De La Infraestructura De Los Servicios De Agua Potable Y De Salud En Nuevo León, México. *Contexto*, 49-61.

Amos, C. C., Rahman, A., & Mwangi Gathenya, J. (2018). Economic analysis of rainwater harvesting systems comparing developing and developed countries: A case study of Australia and Kenya. *Journal of Cleaner Production, Volume 172*,.

Andrade Espinosa, C. H., & Martínez Porras, O. F. (2014). *Modelo costo-beneficio de la posible implantación de un sistema de captación de aguas lluvia en la institución educativa Fundación Universitaria Los Libertadores.* BOGOTÁ D.C. : FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES.

Arce Cardona, P. A. (2018). *Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de producción.* Bogotá D.C.: Fundación Universidad De América.

Arce Ortiz, J. E., Ardila Muñoz, H., Mena Guerrero, N., Rojas, G., & Delgado Gomez, F. (2023). Sistema atrapaniebla piloto para la recolección. *EIEI ACOFI.*

Augusta Dianderas, S. (2022). El sector saneamiento. *Revista en Gobierno y Gestión Pública*.

Batista Salvador, N. N., & Frigo, F. (2021). Alternativas sustentáveis para esgotamento sanitário de residências e Assentamentos Rurais. *Retratos de Assentamentos, Vol 25*, 222-250.

Becerra Perenguez, D. Y., Acosta Astaiza, C. P., & Leyton Luna, J. (2004). estión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario. *Ciencia y Tecnología*, 16.

Carrasco Mantilla, W. (2011). *Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales.* Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) .

Carrasco Mantilla, W. (2011). *Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales.* Santiago de Chile : Comisión Económica para América Latina y el Caribe .

Ceballos Freire, Á. J. (2020). Evaluación de eficiencia del sistema domiciliario para abastecimiento de agua segura, corregimiento San Fernando, Nariño. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 95-115.

Celis Celis, M. (2020). *Biodigestores como alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en zonas rurales.* Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria.

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 142 de1994.*

Cruz Poblete, G. (2023). La transición de los sistemas de agua potable rural a los servicios sanitarios rurales. *En las Fronteras del Derecho*, 7.

DANE. (2016). *INFORME DE GESTIÓN DEL SECTOR ESTADÍSTICO.* Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE.

Defensoría del Pueblo. (2013). *La gestión comunitaria deL agua.* Bogotá.

Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022.*

DNP, D. (2014). *POLÍTICA PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN LA ZONA RURAL.* Bogotá: Conpes.

Espinosa Ortiz , C. E. (2014). *Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes.* Bogotá D.C.: Escuela colombiana de ingeniería - Julio Garavito.

Ferro, G., & Lentini, E. (2012). *Infraestructura y equidad social: experiencias en agua potable, saneamiento y transporte urbano de pasajeros en América Latina.* Santiago de Chile: CEPAL - Serie Recursos Naturales e Infraestructura.

Garrido, I., Da Silva, R. F., & Storaci, V. (2013). Evaluaci´ on del m´ etodo en la desinfecci´ on del agua para abastecimiento en La Guadalupe, Chirgua, municipio Bejuma del estado Carabobo. *Revista INGENIERÍA UC*, 29-38.

Geovisor, R. (s.f.). *DANE*. Obtenido de https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/nivel-referencia-veredas/#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fgeoportal.dane.gov.co%2Fgeovisores%2Fterritorio%2Fnivel

Ibne Bashar, M. Z., Karim, M., & Alam Imteaz, M. (2018). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling, Volume 133,*.

Instituto Nacional de Salud. (2012). *Estado de la vigilancia de la calidad de agua para consumo humano en Colombia 2007 - 2011*. Bogotá: Instituto Nacional de Salud.

Lerma Arias, D. A. (2012). *Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura.* Pereira: Universidad Tegnológica de Pereira.

López Ortega, I. (2020). *Estudio de alternativas para el tratamiento de agua en sistemas rurales de la República Democratica del Congo.* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TER. (2007). *RESOLUCIÓN NÚMERO 2115.* Diario Oficial.

MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL. (2007). *DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007.*

Ministerio de Salud y Protección Social. (2018). *Plan Nacional de Salud Rural.* Bogotá.

Ministerio de Vivienda. (2021). *Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable Y Saneamiento Básico Rural.*

Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). *Resolución 0330.*

Ministerio de Vivienda, C. y. (2018). *Informe de Gestión 2018.* Minvivienda.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2016). *Decreto 1898.*

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018). *Resolución 0844.*

Montes, A. K. (2009). *Análisis de la contribución de los sanitarios secos al saneamiento básico rural.* Pontificia Universidad Javeriana.

Moreno Méndez, J. O. (2020). Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia. *Revista De Ingeniería, 1(49)*, 28-37.

Moreno Méndez, J. O. (2020). LOS RETOS DEL ACCESO A AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO DE LAS ZONAS RURALES EN COLOMBIA. *REVISTA DE INGENIERÍA*, 10.

Pérez Solís, L., Villacreses Medina, M., Zúñiga Llerena , M., & Salame Ortiz, V. (2022). Desarrollo de habilidades en salud ambiental en asentamientos humanos precarios de la zona de planificación territorial 2 de la parroquia rural Posorja, Guayaquil. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 1386-1393.

Poveda Gómez, J. D., Bejarano Suescún, J. C., & Ospitia Prada, J. F. (2022). Optimización del tratamiento de agua para consumo humano en la inspección de policía de Cambao del municipio de San Juan de Rioseco, Cundinamarca, Colombia. *EIEI ACOFI*, 12.

Puerta Monsalve, A. L., Delgado, J. A., & Ríos Marín, J. F. (2024). Análisis de calidad de agua de acueductos rurales y su relación con la salud pública en el Valle del Cauca. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura 9*, 60-73.

Ramos Parra, Y. J., & Pinilla Roncancio, M. V. (2020). Calidad de agua de consumo humano en sistemas de abastecimiento rurales en Boyacá, Colombia. Un análisis infraestructural. *Revista EIA*, 4.

RAS, R. T. (2010). *Título J Alternativas Tecnológicas En Agua Y Saneamiento Para El Sector Rural.* Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Richards, S., Rao, L., Connelly, S., Raj, A., Raveendran, L., Shirin, S., . . . Helliwell, R. (2021). Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment. *Journal of Environmental Management Volume 286*.

Rincón Cárdenas, P. A. (2022). *Fortalecimiento de la gestión técnica de los acueductos rurales mediante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación.* Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Rojas Ortuste, F. (2014). *Políticas e institucionalidad en materia de agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe.* Santiago de Chile: CEPAL - Serie Recursos Naturales e Infraestructura.

Sanchez T., L. D., & Sanchez Torres, A. (2004). *Uso eficiente del agua. ponencias sobre una perspectiva general temática.* Cali: Instituto Cinara, Universidad del Valle.

Sánchez Zafra, A. (2008). Efectos de los trihalometanos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental, 8,* 280-290.

Sarmiento, M. C. (2000). Enfermedades transmisibles en Colombia: cambios ambivalentes. *Revista de Salud Pública*, 12.

Smits, S., Tamayo, S. P., Ibarra, V., Muñoz Rojas, J. H., Benavidez, A., & Bey, V. (2012). *Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia.* Banco Interamericano de Desarrollo.

Smits, S., 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.* Banco Interamericano de Desarrollo.

Torres Chamat, C. A., & Morales Pinzón, T. (2022). Sistemas alternativos de captación y almacenamiento de agua desde la perspectiva del. *Jangwa Pana Vol. 21*, 241-253.

Torres Parra, C. A., Saldeño Madero, Y. N., & Villegas Flores, N. (2020). *Propuesta para facilitar el acceso al agua segura en comunidades rurales a partir del proceso de filtración lenta de arena y el emprendimiento social.* EIEI ACOFI .

Torres Serrano, R. M., & Sánchez Talero, J. F. (2021). Experiencias de acueductos comunitarios en Colombia, 1994-2020. *Administración & Desarrollo*, 15.

Valencia G, E., Silva G, I. J., & Narváez R, C. P. (2010). Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas. *Revista Ingeniería y Región No. 7*.

Vargas Pineda, O. I., Trujillo González, J. M., & González Garcia, N. (2018). ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE COSECHA DE AGUA LLUVIA A PEQUEÑA ESCALA CON FINALIDAD PECUARIA. *Luna Azul, núm. 46*, 20-32.

Vargas, A. K., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. A. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare, vol. 28 Nº 2*, 315-322.

Velandia Medina, L. (2019). *Análisis comparativo de los procesos de desinfección utilizados en la planta de tratamiento John J. Carroll con respecto a la planta de tratamiento Tibitoc.* BOGOTÁ, D. C.: Universidad Católica de Colombia.