

**AUTOABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS RURALES: CASO DE  
ESTUDIO VIVIENDA RURAL DEL PÁRAMO DE BERLÍN (SANTANDER)**

**PAOLA MIREYA FRANCO MORALES**

**SANDRA PAOLA AGAMEZ CENTENO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**AUTOABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS RURALES: CASO DE  
ESTUDIO VIVIENDA RURAL DEL PÁRAMO DE BERLÍN (SANTANDER)**

**PAOLA MIREYA FRANCO MORALES**

**SANDRA PAOLA AGAMEZ CENTENO**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director**

**ISABEL CRISTINA DOMINGUEZ RIVERA**

**Ingeniera Sanitaria, Msc, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios que me fortaleció en cada momento al igual que mis padres y hermanos.

***Paola Mireya Franco Morales***

Dedico esta tesis a Dios y a mi familia por guiarme en cada momento, y a todos a aquellos que creyeron en mí y me apoyaron a lo largo de la carrera.

***Sandra Paola Agamez Centeno***

## **AGRADECIMIENTOS**

Este logro se cumplió gracias a Dios que me guio en el camino, mis padres que me apoyaron en cada paso y a todas esas personas que de una u otra manera desearon lo mejor en este proyecto hoy culminado; gracias también a mi compañera que estuvo muy entusiasmada con la realización de este gran triunfo.

***Paola Mireya Franco Morales***

Agradezco a Dios por haberme acompañado en todo momento, a mi familia por ser mi fortaleza y mi soporte; a la familia Salazar por la gran acogida y apoyo que nos brindó a lo largo del desarrollo del proyecto de investigación; a nuestra directora Isabel Cristhina por guiarnos en todo el proceso; y finalmente gracias a mi compañera por ser incondicional en este mérito.

***Sandra Paola Agamez Centeno***

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
1.1 AUTOABASTECIMIENTO DE AGUA .....	15
1.1.1 ¿Por qué considerar el autoabastecimiento?.....	15
1.1.2 Principales limitaciones del autoabastecimiento .....	16
1.1.3 ¿Cómo acelerar el autoabastecimiento?.....	16
1.2 AUTOABASTECIMIENTO EN COMUNIDADES DE PARAMO EN COLOMBIA .....	17
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	<b>19</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	19
2.2 RECOLECCIÓN DE DATOS .....	20
2.2.1 Entrevistas .....	21
2.2.2 Encuesta de hogares .....	21
2.3 ESTUDIO EN PROFUNDIDAD DEL SISTEMA DE AUTOABASTECIMIENTO DE UNA VIVIENDA TÍPICA .....	22
2.3.1 Propuesta para la mejora del sistema de autoabastecimiento .....	25
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>26</b>
3.1 PANORAMA GENERAL DEL AUTOABASTECIMIENTO EN EL PARAMO DE BERLIN .....	26
3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOABASTECIMIENTO TÍPICO EN EL PARAMO DE BERLIN .....	28
3.3 RIESGOS A LA CALIDAD DEL AGUA .....	33

3.3.1 Infraestructura.....	33
3.3.2 Operación y mantenimiento .....	34
3.3.3 Calidad del agua .....	35
3.4 PROPUESTA PARA MEJORAR EL SISTEMA DE AUTOABASTECIMIENTO .....	37
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>42</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Páramo de Berlín .....	20
<b>Figura 2.</b> Viviendas encuestadas .....	22
<b>Figura 3.</b> Tipos de sistema de autoabastecimiento .....	27
<b>Figura 4.</b> Estado del punto de captación (n=25) .....	28
<b>Figura 5.</b> Esquema del sistema de autoabastecimiento empleado en la vivienda de estudio .....	29
<b>Figura 6.</b> Ubicación de los componentes del sistema .....	34
<b>Figura 7.</b> Componentes del sistema de recolección de aguas pluviales .....	38

## LISTA DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Descripción de los componentes del sistema de autoabastecimiento ....	29
<b>Tabla 2.</b> Mecanismos de autoabastecimiento en algunos países.....	31
<b>Tabla 3.</b> Estadística descriptiva del E. Coli en las muestras de agua.....	35
<b>Tabla 4.</b> Estadística descriptiva del pH en las muestras de agua.....	36
<b>Tabla 5.</b> Propuestas para mejorar el sistema de autoabastecimiento de la vivienda típica de estudio.....	37
<b>Tabla 6.</b> Prioridad de la acción en el sistema de autoabastecimiento .....	39

## RESUMEN

**TITULO:** AUTOABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS RURALES: CASO DE ESTUDIO VIVIENDA RURAL DEL PÁRAMO DE BERLÍN (SANTANDER). \*

**AUTORES:**

PAOLA MIREYA FRANCO MORALES\*\*

SANDRA PAOLA AGAMEZ CENTENO \*\*

**PALABRAS CLAVE:** AUTOABASTECIMIENTO, ZONA RURAL, INVESTIGACIÓN SANITARIA, E. COLI, COLOMBIA, PARAMO.

**DESCRIPCIÓN:**

Actualmente, la mayoría de quienes carecen de acceso a fuentes mejoradas de agua potable viven en zonas rurales. Estas viviendas utilizan sistemas individuales o comunitarios para su abastecimiento de agua, obtenidos con o sin apoyo externo (gobierno y Organizaciones No Gubernamentales), implementando mejoras a través de las iniciativas del usuario en el tratamiento de agua, suministro, construcción y modernización de los sistemas. Esta investigación recogió y analizó datos de entrevistas a líderes locales y encuesta de hogares de las viviendas rurales dispersas en el páramo de Berlín (Santander); además, se realizó la descripción del sistema e investigación sanitaria al esquema de autoabastecimiento de una vivienda rural de ubicación dispersa típica del páramo de Berlín. Se encontró que en Berlín, el 24% de las viviendas utilizan un sistema de autoabastecimiento individual, de las cuales el 80 % utilizan una única fuente para suplir las necesidades del hogar. Los recuentos de E. Coli en promedio fueron más altos en época lluviosa (7 Unidades Formadoras de Colonia (UFC)/ 100 ml) que en época seca (0 UFC/ 100 ml) en la vivienda de estudio; valores por debajo de 10 UFC /100 ml, estándar recomendado para una calidad razonable (0-10 UFC/100 ml), como lo sugiere la Organización Mundial de la Salud. A partir de la información recopilada, se plantearon propuestas para mejorar el sistema de abastecimiento orientadas a mitigar el riesgo que afecta a la calidad del agua. Las propuestas de mejoramiento se ajustan al enfoque incremental sugerido por la literatura en relación con el auto-abastecimiento.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Isabel Cristina Dominguez Rivera, Ingeniera Sanitaria, Msc, Ph. D.

## ABSTRACT

**TITLE:** WATER SUPPLY IN RURAL AREAS: CASE STUDY IN SCATTERED INDIVIDUAL HOUSEHOLDS FROM BERLIN PARAMO (SANTANDER) \*

**AUTHOR:**

PAOLA MIREYA FRANCO MORALES\*\*

SANDRA PAOLA AGAMEZ CENTENO \*\*

**KEYWORDS:** SELF-SUPPLY, RURAL AREAS, HEALTH RESEARCH, E.COLI, COLOMBIA, PARAMO.

**DESCRIPTION:**

Currently, the vast majority of those who lack access to improved drinking water sources live in rural areas. These people, use individual or collective water systems built with or without external support (government and NGOs), typically, implementing improvements through user initiatives in water treatment, supply, construction and modernization. This research collected and analyzed data from interviews with local leaders and household survey of rural scattered located households in Berlin paramo (Santander); in addition, description of the self-supply system and sanitary survey were carried out in a typical scattered rural household located in Berlin paramo. The results showed that 24% of households use a self-supply system, from which, 80% use a single water source to meet all the household needs. E. coli counts were higher during the rainy season (7 CFU / 100 ml) compared to dry season (0 CFU / 100 ml) in the household study; values under the standard of water with reasonable quality set by the World Health Organization (0-10 UFC / 100 ml). Proposals to improve the self-supply system aimed to mitigate risks affecting water quality were formulated, according to the incremental approach suggested in the self-supply literature.

---

\*Bachelor Thesis

\*\*Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Isabel Cristina Dominguez Rivera, ingeniera sanitaria, Msc, Phd.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la Agenda 2030 de la Organización Naciones Unidas (ONU) para el desarrollo sostenible es garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible, y el saneamiento para todos; por ello es necesario realizar inversiones adecuadas en infraestructura, proporcionar instalaciones sanitarias y fomentar prácticas de higiene, con el fin de garantizar el acceso universal a agua potable [1].

Actualmente, alrededor de 784 millones de personas no tienen acceso a fuentes mejoradas de agua, de los cuales el 90% viven en zonas rurales. Estas personas para adquirir agua suelen emplear sistemas individuales que han desarrollado con sus inversiones, a menudo sin apoyo externo [2] o bien sea, con ayuda del Gobierno o de las Organizaciones No Gubernamentales (ONGs) [3]. De allí nace el enfoque de autoabastecimiento, del deseo generalizado de la población rural pobre para invertir en soluciones que beneficien a su hogar o comunidad, y no como miembros de las comunidades más grandes que normalmente participan en programas de abastecimiento de agua convencional [4].

El enfoque de autoabastecimiento ha crecido a nivel mundial, debido a la alta escalabilidad y sostenibilidad [5]. Algunos lugares donde se ha reportado la implementación o se ha estudiado el enfoque de autoabastecimiento son: Etiopía, Vietnam, Reino Unido [6], Paraguay [5], Nicaragua [4], Ghana [7], Zimbabue, Estados Unidos, Irlanda [8], Uganda [9], Malí [8], Malawi, Mozambique [10]. Aunque la práctica del autoabastecimiento existe en Latinoamérica y el Caribe, la información publicada en esta zona sobre estos sistemas es escasa [2].

En las zonas rurales en Colombia, muchas familias usan fuentes superficiales para el abastecimiento de agua individual, que posiblemente serían categorizadas como

“Fuentes no mejoradas” por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [2]. A esto se suma que, en las zonas rurales, el acceso al agua potable, al saneamiento básico y la disponibilidad de recurso humano a nivel municipal para realizar la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano es deficiente; por ello se hace importante la necesidad de tomar acciones encaminadas a reducir el riesgo de enfermedades en estas zonas [11].

Páramos como el de Berlín (Santander), tienen una importante oferta hídrica, gracias a que cuenta con coberturas vegetales naturales [12], y gran variedad de lagunas, pantanos y praderas que son clave para el suministro de agua debido a su alto y sostenido flujo base como resultado de la elevada capacidad de regulación [13]. No obstante, poco se conoce sobre la forma en que los habitantes del páramo se abastecen de agua para sus necesidades domésticas y productivas.

Este estudio tiene como propósito proponer mejoras al sistema de autoabastecimiento de agua para una vivienda rural de ubicación dispersa del páramo de Berlín (Santander – Colombia), cumpliendo con los estándares de calidad del agua para el consumo humano. Para esto se buscó comprender la situación general del autoabastecimiento de agua en la zona rural del páramo de Berlín, luego se estudió y analizó el sistema de autoabastecimiento y la calidad del agua en una vivienda rural de ubicación dispersa típica en la zona de estudio; y finalmente se plantearon estrategias para mejorar el mecanismo de autoabastecimiento para la vivienda seleccionada teniendo en cuenta aspectos sociales, técnicos y económicos.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 AUTOABASTECIMIENTO DE AGUA

El autoabastecimiento se define como la mejora del suministro de agua del hogar o de la comunidad a través de la inversión del usuario en el tratamiento de agua, suministro, construcción y modernización [14]; y es identificado como un modelo de prestación de servicio alternativo que es potencialmente complementario al nivel comunitario [15]. A su vez, es un fenómeno mundial, en el cual las personas son capaces de responder a las insuficiencias del sector público [16], donde los más pobres de los pobres invierten millones de dólares en sus propios suministros de agua [17]. Cabe resaltar que en el autoabastecimiento se identifican cinco características clave que son importantes para los consumidores de agua y el desarrollo del servicio del agua, las cuales son: comodidad de acceso, calidad del agua, fiabilidad del suministro, costo y gestión. La cantidad de agua no se menciona explícitamente, ya que está implícita en las cuestiones de acceso y fiabilidad [18].

#### 1.1.1 ¿Por qué considerar el autoabastecimiento?

El autoabastecimiento es frecuente en los hogares que no cuentan con ningún servicio de agua, o que desean mejorar los servicios existentes que no satisfacen sus necesidades [8]; por ello, el autoabastecimiento responde a las insuficiencias del suministro de agua, especialmente en el caso de [6]:

- Pequeñas comunidades (menos de 200 personas)
- Comunidades con viviendas muy dispersas
- Comunidades con una gestión deficiente o fragmentada
- Áreas remotas donde hay difícil acceso a los servicios de operación y mantenimiento
- Zonas que carecen de agua potable y de fuentes superficiales

- Zonas dentro de las comunidades más grandes que son periféricas a los suministros colectivos, y que cuentan con acceso cercano a agua para el uso doméstico
- Hogares que no cuentan con recursos financieros suficientes pagar tarifas de agua
- Zonas donde hacen falta de conexiones de agua directamente en las viviendas

### **1.1.2 Principales limitaciones del autoabastecimiento**

Las barreras más comunes para la adopción de opciones de menor costo y la inversión privada en sistemas de autoabastecimiento en comparación con los enfoques convencionales son **[6]**:

- Falta de compromiso por parte de los políticos para invertir en tecnologías **[6]** y así reducir la brecha del sector urbano- rural **[2]**.
- Temores en relación con la mala calidad y confiabilidad del agua.
- Falta de conocimiento de los usuarios para buscar opciones o apoyo para la implementación y operación de los sistemas **[19]**.
- Falta de capacidad del sector privado para proporcionar un servicio o equipo necesario **[19]**.
- Falta de mecanismos de financiación para facilitar la inversión privada **[19]**.

### **1.1.3 ¿Cómo acelerar el autoabastecimiento?**

El enfoque de autoabastecimiento contribuye a la reducción de la pobreza, permitiendo a los propietarios avanzar de manera sostenible a través de soluciones domésticas, con seguridad y fiabilidad en función de la calidad del agua **[7]**. De allí nace la importancia de tomar acciones o pasos encaminados a acelerar el autoabastecimiento para brindar acceso a agua potable a las comunidades más vulnerables.

Algunos países como Uganda, Etiopía y Zambia, han impulsado el autoabastecimiento mediante un proceso que se puede resumir en una serie de pasos, ayuda a través de la Red de Abastecimiento de Agua Rural (RWSN), que actúa como un catalizador en el proceso, apoyando las iniciativas de los países a través del intercambio de información, propuestas de financiación y la investigación [14]:

- Evaluación del potencial: aquí se analiza la demanda del recurso natural (agua), teniendo en cuenta aspectos como los posibles conflictos que hay con las políticas gubernamentales, es decir, si hay o no intervención del estado, para ayudar a la comunidad.
- Implementación de proyectos piloto: se plantea las posibles soluciones al problema, teniendo un continuo seguimiento del impacto y, ante todo, supliendo las necesidades del usuario, para la satisfacción de este.
- Desarrollo de paquetes: desarrollo de modelos pertinentes a las condiciones geográficas, socioeconómicas y políticas de la comunidad rural.
- Políticas y planes: Integración del autoabastecimiento en las políticas y planes para la ampliación y cobertura del agua.
- Promoción/ alianzas: Proceso de promoción y comunicación continúa con los gobiernos, donantes y ONGs para fomentar la evaluación del autoabastecimiento y los efectos sobre las políticas, presupuestos y planes.

## **1.2 AUTOABASTECIMIENTO EN COMUNIDADES DE PARAMO EN COLOMBIA**

Poco se conoce sobre el autoabastecimiento en los páramos de Colombia; la mayoría de los documentos detallan la importancia de los páramos debido a su gran oferta hídrica, y las áreas de manejo integrado que se han establecido para la preservación y protección del ecosistema del páramo [20]- [21]; debido a que este por sus condiciones geográficas permite dar origen a las cuencas hídricas que nutren gran parte del país [20].

En las viviendas rurales dispersas del páramo de Berlín, la infraestructura para el abastecimiento de agua consiste generalmente en una manguera con accesorios inadecuados, la cual se encuentra desde la captación de un afluente hasta la conexión domiciliar; siendo evidente el enfoque de autoabastecimiento para una proporción de los usuarios, ya que los usuarios construyen y operan sus propios sistemas; a causa de la ausencia de servicios públicos de agua potable y saneamiento básico [21]. No obstante, no se encontraron estudios específicos sobre el auto-abastecimiento en esta zona.

## 2. METODOLOGÍA

El lugar de estudio fue en el páramo de Berlín (Santander- Colombia). La selección del lugar se llevó a cabo teniendo en cuenta que el páramo de Berlín ha sido objeto de estudio por parte de la gobernación de Santander, Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR), Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, y la asesoría de parques nacionales; con el fin de delimitar un área de manejo especial en el ecosistema de Páramo Berlín [22]. La información se obtuvo a partir del muestreo en campo por medio de encuestas a las viviendas rurales dispersas, entrevistas a líderes locales, inspección sanitaria y análisis de calidad del agua.

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

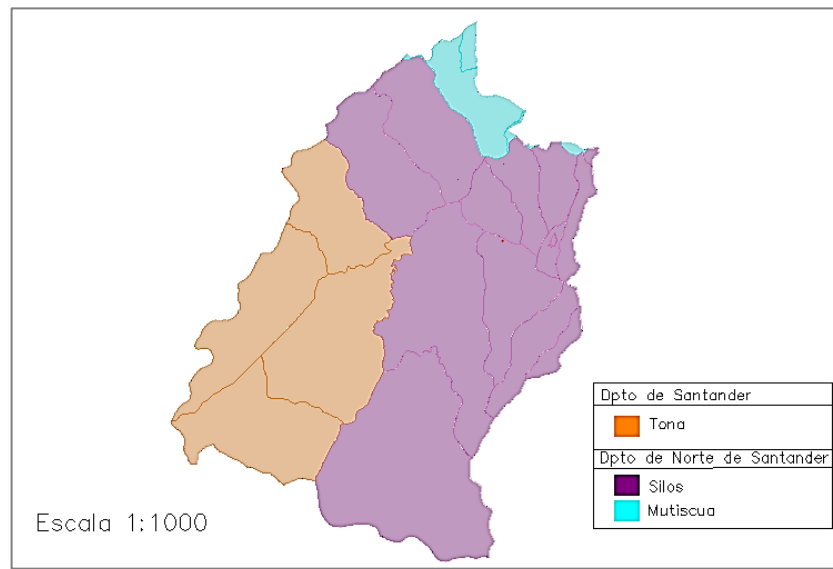
El Páramo de Berlín (**Figura 1**), ubicado al Nororiente de Colombia en los Departamentos de Santander y Norte de Santander, forma parte de la Unidad Biogeográfica de Santurbán, perteneciente a la Ecorregión Andes del Norte en la Cordillera Oriental. Es así mismo una serie de pequeños páramos (Arenales, Guariba, El Jordán, Mogorontoque, Lúcura y Pescadero.) situados entre planicies leves o moderadamente onduladas en los municipios de Tona (Santander), Mutiscua y Silos (Norte de Santander) [22].

En términos generales, el clima se considera muy frío, su ambiente atmosférico es ligeramente húmedo, con temperaturas altas en horas diurnas, dependiendo del brillo solar y de la época, y bajas en las horas nocturnas siempre. Sin embargo, el comportamiento se considera estable durante todo el año, con un promedio anual de 8.7°C. El régimen de precipitación es bimodal, con periodos de precipitación entre los meses de abril-junio; septiembre-noviembre y periodos secos entre los meses julio-agosto; diciembre-febrero [22].

El área de estudio comprende el municipio de Tona, que tiene una población rural de 1,817 habitantes que residen en 583 viviendas. La economía depende de las

actividades agrícolas, principalmente cultivos de cebolla junca y papa; y ganadería de pastoreo y comercial [22].

**Figura 1.** Páramo de Berlín



**Fuente:** Autores

## 2.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para tener un panorama general acerca de la situación actual del páramo de Berlín en cuanto a los sistemas de autoabastecimiento de agua utilizados y la percepción de las personas sobre la calidad del agua, se realizaron entrevistas a líderes locales y encuestas de hogares en las viviendas de ubicación dispersa de la zona de estudio. Para profundizar en aspectos del autoabastecimiento, se seleccionó una vivienda característica, y en ella se realizó una descripción del sistema de autoabastecimiento y una investigación sanitaria. A continuación, se detallan las estrategias de recolección de datos.

### **2.2.1 Entrevistas**

Se realizó una entrevista a líderes locales, la cual contenía tres secciones: información general acerca del acceso al agua, sistema de abastecimiento individual y calidad del agua.

Para la identificación de los líderes locales se empleó un método de muestreo de bola de nieve [3]; previamente se comunicó con un líder local conocido mediante el contacto establecido por medio de un funcionario de la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), que ha estudiado y ha llevado a cabo diferentes programas en la zona, manteniendo una relación constante y estrecha con los habitantes del páramo de Berlín. Debido a la disponibilidad de algunos líderes, se entrevistaron cinco líderes locales.

### **2.2.2 Encuesta de hogares**

Las viviendas a encuestar se obtuvieron por medio de la integración de dos fuentes diferentes de información:

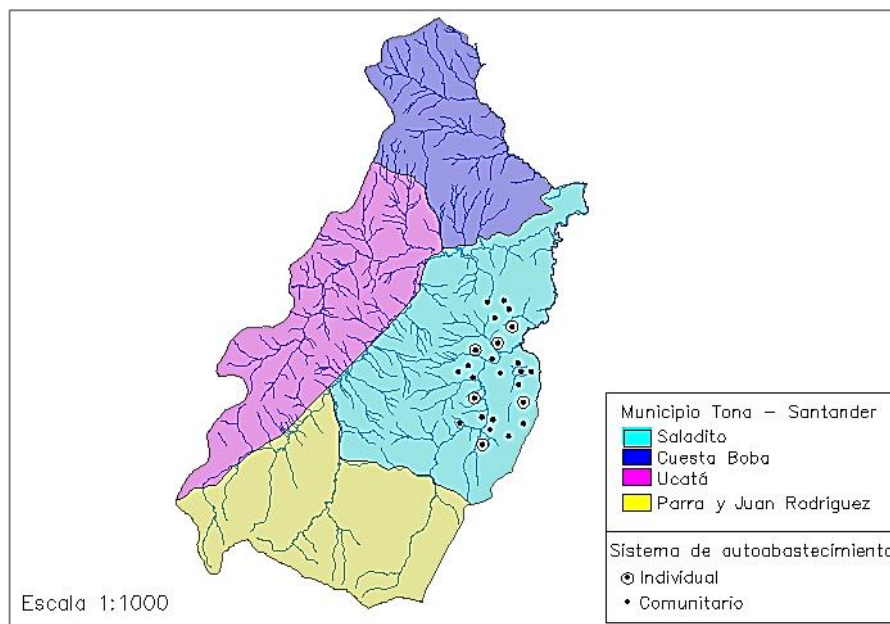
1. Registros de los estudios de la CDMB, en cuanto a los aspectos generales del páramo de Berlín, obtenidos a partir del documento e información soporte: “Delimitación, Síntesis Diagnóstica y Zonificación Ambiental del Área, páramo de Berlín” [22], suministrado por esta entidad.
2. Mapeo comunitario realizado en campo con la colaboración de los líderes locales, para identificar las viviendas rurales.

Se realizó una encuesta de hogares, la cual contenía cinco secciones: información sobre el abastecimiento de agua de la vivienda rural dispersa, financiación del mecanismo de abastecimiento de agua, calidad del agua, estimación de la percepción del mecanismo de abastecimiento y la calidad del agua, y la situación socioeconómica de la vivienda [2], [16]. Debido al difícil acceso a las viviendas rurales dispersas y al tiempo de viaje entre viviendas rurales dispersas, se encuestó

a 25 viviendas rurales de ubicación dispersa, que representan el 21.74% de las viviendas rurales dispersas del páramo de Berlín [22].

El mapa de la **Figura 2**, muestra la localización de las viviendas rurales de ubicación dispersa encuestadas en el área de estudio, que fueron geo-referenciadas con la ayuda de un líder local, y por medio de una aplicación de celular (GPS Estatus), que medía las coordenadas de latitud, longitud y altitud del lugar de estudio.

**Figura 2.** Viviendas encuestadas



**Fuente:** Autores

### 2.3 ESTUDIO EN PROFUNDIDAD DEL SISTEMA DE AUTOABASTECIMIENTO DE UNA VIVIENDA TÍPICA

Luego de realizar la encuesta de hogares y con el objeto de comprender mejor el proceso de abastecimiento de agua de la vivienda rural de ubicación dispersa, para identificar mejoras en el sistema de autoabastecimiento de agua actual, teniendo en cuenta las prácticas y las capacidades existentes [14], se seleccionó una vivienda típica del área de estudio. La selección tuvo en cuenta i) la distancia con respecto a

Bucaramanga, debido a que, para propósitos del análisis microbiológico a la calidad de agua, la muestra de agua se altera después de 4 horas de haber sido tomada en la vivienda [19]; y ii) que el sistema de autoabastecimiento de agua abasteciera solo a una vivienda.

En la vivienda seleccionada para el estudio en profundidad se recogió información relacionada con el sistema de autoabastecimiento, usando la estrategia de investigación sanitaria como se detalla a continuación:

- i. Descripción del sistema de autoabastecimiento, para lo cual se preparó un formato guía teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y ambientales, identificando así los aspectos positivos y las deficiencias del mecanismo existente; desde la captación hasta la conexión domiciliaria. Esta descripción se hizo con base en el enfoque de Planes de Seguridad del Agua propuesto por la OMS [23].
- ii. Inspección sanitaria, que comprende una inspección in situ del sistema de suministro de agua, para identificar posibles factores de riesgo que afectan la calidad del agua [18]. Los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos, brindaron un estimativo del peligro evidente al cual está expuesto el sistema de autoabastecimiento, para así tomar medidas preventivas que mitiguen la amenaza contra la salud pública [17], [24]. Para esto, se realizó un formato guía, teniendo en cuenta que el sistema se evaluó desde la captación hasta la conexión domiciliaria [23].
- iii. Para evaluar la calidad del agua en la vivienda seleccionada, se tomaron ocho muestras de agua, cuatro en tiempo lluvioso (20 - 30 de junio de 2016) y cuatro en tiempo seco (1 - 8 de julio de 2016) [14]; se analizaron los siguientes parámetros: pH, turbidez, cloro residual y Coliformes Termotolerantes como lo sugiere la OMS. Como un indicador más preciso de contaminación fecal en la calidad del agua, en este estudio se utilizó el E.

Coli, el cual es una bacteria perteneciente al grupo de los Coliformes Termotolerantes, que da una idea de la potencial contaminación fecal en el sistema de autoabastecimiento seleccionado [17].

De acuerdo a las indicaciones establecidas por el manual “Introduction To Drinking Water Quality Testing” (CAWST) [17] para la recolección, cuidado, transporte y análisis de la muestra de agua en función de sus necesidades; esta, se debe recoger en condiciones normales para garantizar el control de calidad, evitando todo tipo de contaminación en el recipiente y en la muestra de agua.

La muestra de agua se almacenó en un recipiente estéril PET de 375 ml, conservada en un refrigerador de poliestireno con hielo; se transportó hasta el laboratorio de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander (UIS) dentro de las 4 horas permitidas, donde se realizó el análisis microbiológico (E. Coli) por medio del método de Filtración por Membrana (Norma: SM 9222B); y el análisis físico (Turbidez) por medio del método Nefelométrico (Norma: SM 2130 B). Debido a que la vivienda no implementa cloro para el tratamiento de agua no fue necesario el análisis de cloro residual. Respecto al pH, se analizó la muestra de agua por medio de un pHmetro portable (HANNA Instruments).

Es relevante tener en cuenta que la inspección sanitaria se centra en las causas de contaminación, por ello, trabaja en conjunto con las tomas de muestras de agua, realizadas en tiempo seco y en tiempo lluvioso para determinar si la fuente es buena, aceptable o deficiente, para los habitantes de la vivienda dispersa en estudio.

### **2.3.1 Propuesta para la mejora del sistema de autoabastecimiento**

Se propusieron mejoras al sistema seleccionado teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos, que, de ser implementados, contribuyan a la protección del sistema y al control de procesos a escala del sistema individual [23]; de tal manera que se mitiguen las fuentes de contaminación dentro y fuera del sistema de autoabastecimiento. Adicionalmente se sugiere una alternativa adicional de captación para mejorar el acceso de agua en el sistema de abastecimiento existente en la vivienda de estudio, para así suplir las necesidades en periodos de sequía del año.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 PANORAMA GENERAL DEL AUTOABASTECIMIENTO EN EL PARAMO DE BERLIN

Todas las viviendas del páramo de Berlín, cuentan con acceso al agua. El abastecimiento en el casco urbano y en algunas viviendas periféricas, se da por medio del acueducto de Berlín, mientras las viviendas rurales dispersas se abastecen por medio de fuentes superficiales (algunas viviendas cuentan con dos fuentes superficiales diferentes para suplir las necesidades domésticas y para el riego de cultivos).

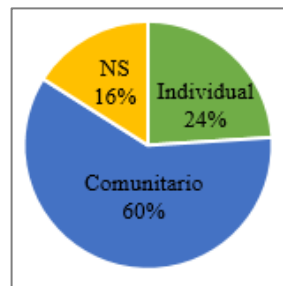
El mecanismo empleado para el abastecimiento de agua consiste en la captación de agua en una fuente superficial (quebrada o nacimiento) por medio de una manguera que conduce a un tanque de almacenamiento que posteriormente llega a la conexión domiciliaria de la vivienda; algunas viviendas cuentan con estanque o tanque de almacenamiento adicional para el riego de cultivos. En todas las regiones de montaña en los Andes, estos sistemas son comunes ya que las fuentes de agua son temporalmente y espacialmente heterogéneas [2]

Esto concuerda con la situación típica de viviendas rurales en muchos países en desarrollo, donde los sistemas de suministro de agua son usados para fines domésticos y productivos [25]. Por ejemplo, en otros países como Nicaragua y Zimbabue, el sistema de autoabastecimiento proporciona una oportunidad de usos múltiples del agua, incluyendo: usos domésticos, riego de cultivos y, actividades agrícolas y ganaderas [4], [26].

En la zona rural del páramo de Berlín, se encontró que el 24% de las viviendas utilizan un sistema de autoabastecimiento individual (**Figura 3**), de las cuales el 80 % utilizan una única fuente para suplir todas las necesidades. Todas las viviendas contaban con conexión domiciliaria. El 92% de la población encuestada no recibió ayuda o financiación para construir, operar y realizar el respectivo mantenimiento del sistema de autoabastecimiento de agua; todo fue realizado por ellos mismos,

sin ningún apoyo o financiación por parte del gobierno o de ONGs, como es la situación del autoabastecimiento en la mayor parte de los estudios reportados.

**Figura 3.** Tipos de sistema de autoabastecimiento



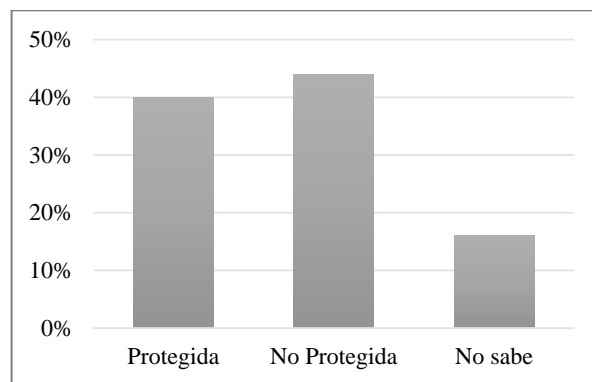
**Fuente:** Autores.

Los propietarios de las viviendas rurales se sienten conformes con el sistema de autoabastecimiento, sin embargo, consideran que se le deben realizar mejoras al mecanismo (mejoras que están dispuestos a realizar), ya sea por daños en la manguera, o por la construcción del tanque de almacenamiento. A su vez, manifiestan que debería existir más apoyo externo por parte del gobierno u otras entidades para ayudarlos a mejorar sus sistemas.

El 96% de las viviendas encuestadas tratan el agua; la hierven para hacerla consumible y mitigar los agentes patógenos. No obstante, los propietarios se sienten conformes con la calidad del agua, manifestando que es lo suficientemente clara y limpia para consumirla; sólo en temporada de lluvia consideran que el agua “*baja muy revuelta*”, debido a que la escorrentía transporta tierra y desechos sólidos que contaminan el agua. Mientras que, en épocas de sequía, a pesar de llegar pura y limpia, el agua escasea (específicamente en los meses de enero-diciembre), y en algunas viviendas no abastece completamente las necesidades, principalmente el riego de cultivos.

La percepción de las personas en cuanto al estado en que se encuentra el nacimiento de agua fue en su mayoría positiva, ya que algunas viviendas protegen la fuente superficial (**Figura 4**), con cercas para evitar el ingreso de animales, y limpian frecuentemente el nacimiento. Algunos usuarios no sabían el estado en que se encontraba la fuente superficial debido a que eran arrendatarios de la vivienda, y no frecuentaban la fuente.

**Figura 4.** Estado del punto de captación (n=25)



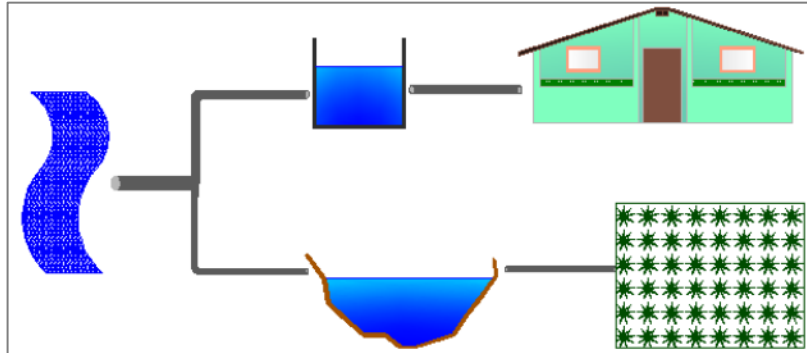
**Fuente:** Autores

En cuanto a los servicios públicos, todas las viviendas encuestadas cuentan con acceso a agua colectivo e individual, servicio de energía eléctrica, gas (se abastecen por medio de cilindros de gas, y sólo el 16% cocinan a leña), y respecto al servicio de saneamiento, el 80% de las viviendas encuestadas cuentan con pozo séptico, construido y operado por ellos mismos.

### **3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AUTOABASTECIMIENTO TÍPICO EN EL PARAMO DE BERLIN**

Un esquema de los componentes del sistema de autoabastecimiento empleado en la vivienda de estudio se ilustra en la **Figura 5**.

**Figura 5.** Esquema del sistema de autoabastecimiento empleado en la vivienda de estudio



**Fuente:** Autores

Se tomaron algunas fotografías de los componentes del mecanismo de autoabastecimiento existente de la vivienda de estudio. La descripción de los componentes del sistema de autoabastecimiento de la vivienda típica de estudio, se detallan en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Descripción de los componentes del sistema de autoabastecimiento

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Captación	El agua es captada desde la quebrada el Chochal por medio de una manguera de goma de 1 ½”, la cual no cuenta con una rejilla que impida el paso de desechos sólidos y animales (específicamente peces).

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Línea de conducción	Tiene una longitud estimada de 700 m, compuesta principalmente por una manguera de goma. Inicialmente el diámetro de la manguera es de 1 ½", cambia aproximadamente a 400 [m] del punto de captación, donde está instalada una T con diámetros de salida de 1" y ¾". La manguera con diámetro de 1" abastece al tanque de almacenamiento para posteriormente llegar a la conexión domiciliaria, y la otra con diámetro de ¾" llega a un estanque ubicado a 200 m de la vivienda rural, para el riego de cultivos principalmente el cultivo de cebolla junca.
Tanque de almacenamiento	Se encuentra ubicado a 60 metros de la vivienda. Sus dimensiones son: largo 3 [m] x ancho 3 [m] x alto 1,5 [m], con un borde de 20 [cm] a los lados. El material con el cual fue construido es de concreto, sin ningún tipo de recubrimiento o pared impermeable.
Conexión domiciliaria	La vivienda cuenta con una red de distribución de agua con tubería de ¾", que dan acceso al agua en cuatro puntos ubicados estratégicamente dentro de la vivienda (cocina, baño y patio).

**Fuente:** Autores

La situación del autoabastecimiento en Berlín contrasta con lo reportado en la literatura sobre los mecanismos de autoabastecimiento de agua utilizados en las zonas rurales en algunos países (**Tabla 2**), donde se ha encontrado que la mayoría de los hogares captan el agua por medio de fuentes subterráneas y aguas pluviales para el abastecimiento en sistemas individuales.

**Tabla 2.** Mecanismos de autoabastecimiento en algunos países

<b>PAÍS</b>	<b>MECANISMO DE AUTOABASTECIMIENTO DE AGUA</b>
Uganda	Recolección de aguas lluvias (Bolsa Bob) Pozos poco profundos
Reino Unido	Recolección de aguas lluvias con almacenamiento en depósitos enterrados
Nicaragua	Pozos con bombas de mecate
Zimbabue	Pozos con bombas manuales comunes Pozos poco profundos individuales con molinete y cubo Pozos poco profundos individuales con bombas de mecate
Etiopía	Sistema de tuberías comunales con muy pocas toma de agua
Sudáfrica	Sistema de tuberías comunales con grifos dispersos en la calle
India	Sistema de tuberías comunales con tomas de agua frecuente
Bolivia	Sistema de agua corriente con conexiones domiciliarias
Nepal	Sistemas de tubería comunales con columnas de columnas de soporte compartidos entre 2 y 3 casas
Colombia	Sistemas de tuberías comunales con conexión domiciliaria
Tailandia	Granjas con estanques y otras fuentes Granjas sin lagunas, con otras fuentes
Vietnam	Pozos familiares o individuales con bombas eléctricas
Ghana	Pozo privado con cuerda y cubo
Irlanda	Pozos

**Fuente:** Autores con base en la información de [3]- [4]- [6]- [7]- [9]- [27]- [28].

En la vivienda de estudio se evidencio el uso múltiple del agua; el sistema suplía las necesidades domésticas (en la vivienda habitan 6 personas) y algunas prácticas económicas como la agricultura (contaba con aproximadamente ¼ Ha para el cultivo de cebolla junca y papa), ovicultura (alrededor de 7 ovejas) y ganadería (alrededor

de 10 vacas). La dotación aproximada que establece el RAS 2000 en el Título J para el abastecimiento de agua en una vivienda rural dispersa no conectada a un acueducto es de 40-100 litros por persona al día (lpd) **[29]**.

Según los propietarios de la vivienda de estudio la construcción del sistema de autoabastecimiento de la vivienda típica fue hace aproximadamente 50 años con una inversión inicial estimada de \$ 10'000,000 a 20'000,000 hoy en día; también informaron que a la hora de realizar el mantenimiento del sistema, la inversión aproximada para el cambio de manguera en algunas secciones de la línea de conducción es de aproximadamente \$ 200,000 a 500,000. En países como Etiopía, la inversión en un pozo tradicional, en las zonas más pobres, con una protección mínima puede costar entre US \$ 10 a 40, con la mayor parte del trabajo realizada por mano de obra no calificada **[14]**.

El mecanismo de autoabastecimiento ha sido financiado por los usuarios de cada vivienda ya que no han contado con apoyo externo por parte del estado u ONGs. Esta misma situación se ha presentado en algunos países de África subsahariana, donde los hogares y las comunidades han tomado sus propias iniciativas para mejorar los servicios de abastecimiento de agua **[3]**. No obstante, en países como Uganda, el gobierno apoya el principio de autoabastecimiento y de esta manera ha promovido sistemas para la recolección de aguas lluvias para mejorar el suministro de agua en zonas rurales **[27]**.

El enfoque de autoabastecimiento promueve que el gobierno y las ONGs desarrollen programas a través de los cuales se generen mejoras incrementales en los sistemas, de tal forma que las fuentes de agua inseguras, incómodas, poco fiables, distantes y contaminadas, puedan transformarse por etapas en fuentes seguras, cómodas y fiables, cercanas, y no contaminadas **[3]**.

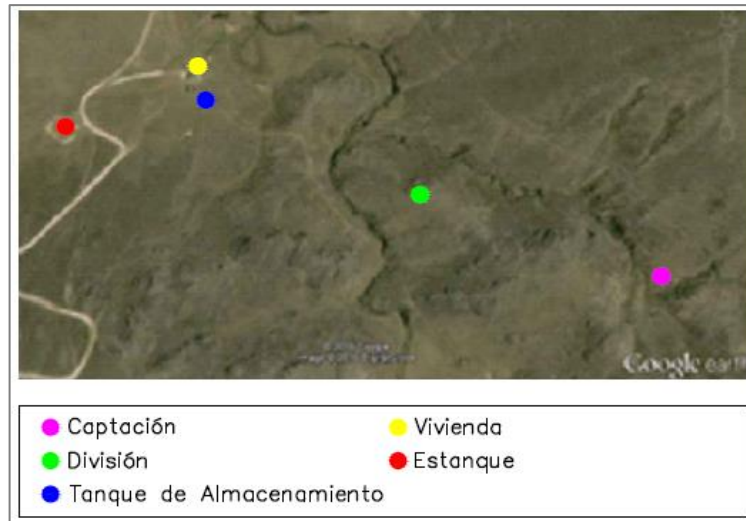
### 3.3 RIESGOS A LA CALIDAD DEL AGUA

#### 3.3.1 Infraestructura

La **Figura 6** muestra la ubicación de las partes del sistema de autoabastecimiento de agua del caso de estudio. Los resultados de la inspección sanitaria del sistema de autoabastecimiento desde la captación hasta la conexión domiciliar se vieron afectados por algunos factores [24], entre ellos:

- i. Fuentes de materias fecales; por ejemplo, presencia de heces en el punto de captación.
- ii. Posibles vías por las que la contaminación puede entrar en el suministro de agua; por ejemplo, daños y enmendaduras en la línea de conducción (manguera).
- iii. Factores que facilitan el desarrollo de las vías de contaminación; por ejemplo, ausencia de cercas para la protección de la fuente superficial, y ausencia de protección en algunas secciones de la línea de conducción, donde la manguera se encuentra al aire libre.

**Figura 6.** Ubicación de los componentes del sistema



**Fuente:** Autores.

En el caso de estudio, se evidencia la ausencia de programas o entidades gubernamentales y no gubernamentales que apoyen y capaciten a los usuarios de los sistemas de autoabastecimiento de agua en el adecuado uso de las prácticas de higiene y protección del sistema; mientras en países como Zimbabue, se han desarrollado programas enfocados en la protección y el uso higiénico de los pozos de sistemas de autoabastecimiento, capacitando a los usuarios de tal manera que tomen medidas simples como el revestimiento de la parte inferior del pozo y cubrir el pozo cuando este no estuviera en uso [4].

### 3.3.2 Operación y mantenimiento

Se encontró que en el sistema de autoabastecimiento de la vivienda típica los propietarios no realizan con frecuencia ningún tipo de operación y mantenimiento al sistema, exceptuando el tanque de almacenamiento, en el cual realizan mantenimiento cada vez que lo consideran sucio, utilizando escobas y cepillos para la limpieza, sin aplicar ningún tipo de químico o líquido; mientras en Etiopia, para el mantenimiento de los pozos familiares, la limpieza se realiza cada temporada de

lluvias; y los propietarios contratan una persona para realizar esto o lo hacen ellos mismos [30].

### 3.3.3 Calidad del agua

En el caso de estudio, los recuentos de E. Coli en el sistema de autoabastecimiento en promedio fueron más altos en época de lluvia (7 UFC/ 100 ml) que en época seca (0 UFC/ 100 ml) (Tabla 3) [17].

**Tabla 3.** Estadística descriptiva del E. Coli en las muestras de agua

ÉPOCA	E.COLI (UFC/100 ml)			DESVIACIÓN ESTÁNDAR
	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	
LLUVIA	0	23	7	11
SECA	0	1	0	1

**Fuente:** Autores

La OMS reconoce que llegar a 0 UFC/100 ml (E.Coli) puede ser difícil de lograr, principalmente en países en vías de desarrollo, donde muchas personas dependen de pequeños sistemas de abastecimiento de agua. Sin embargo, en la vivienda típica de estudio se evidencia la calidad razonable (E.Coli valores entre 0-10 UFC/ 100 ml) que presenta el sistema individual, por consiguiente se refleja que los sistemas de autoabastecimiento en el páramo de Berlín pueden brindar valores insignificantes de contaminación fecal, tomando claramente medidas preventivas para evitar la contaminación del agua en los componentes del sistema. Así mismo, en países como Sudáfrica las normas nacionales plantean que al menos el 95% de las muestras de control de calidad del agua no deben presentar Coliformes Termotolerantes; sin embargo, el 4% puede tener 1 UFC/ 100 ml, y el 1% puede tener hasta 10 UFC/ 100 ml.

En la **Tabla 4** se puede evidenciar los valores de pH presentes en las muestras de agua. Aunque el pH no es un problema de salud en el agua potable [17], la OMS señala que este es un parámetro importante en el funcionamiento de la calidad del agua, ya que puede influir en la eficiencia de la desinfección y la supervivencia microbiana [24].

**Tabla 4.** Estadística descriptiva del pH en las muestras de agua

ÉPOCA	pH (unidades)			VALOR ESTÁNDAR OMS
	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	
LLUVIA	8.77	9.13	9	6.5 - 8
SECA	8.68	8.86	9	

**Fuente:** Autores

Los resultados de pH, demuestran la alcalinidad de la fuente superficial, esto se puede deber a las condiciones en que se encuentra el nacimiento ya sea por el tipo de suelo, la vegetación, por los tipos de contaminantes que se encuentra el agua en su camino y por la aireación del agua debido a la turbulencia en el flujo [24].

En temporada lluviosa se encontró que el 75% de las muestras de agua cumplían con el estándar de turbiedad para el consumo humano establecido por la OMS ( $\leq 5$  Unidades Nefelométricas de turbidez -UNT); así mismo en Afganistán y Etiopia se sugiere el mismo valor estándar de turbidez ( $\leq 5$  UNT), a diferencia de Zambia que es ( $\leq 10$  UNT) [17].

### 3.4 PROPUESTA PARA MEJORAR EL SISTEMA DE AUTOABASTECIMIENTO

Las propuestas para la mejora del sistema de autoabastecimiento están orientadas a la reducción del riesgo que afecta la calidad del agua, conforme a los resultados obtenidos en la inspección sanitaria; por ello, van encaminadas a que los usuarios realicen acciones a partir de las capacidades existentes. Las mejoras que se proponen se sintetizan en la **Tabla 5**.

**Tabla 5.** *Propuestas para mejorar el sistema de autoabastecimiento de la vivienda típica de estudio*

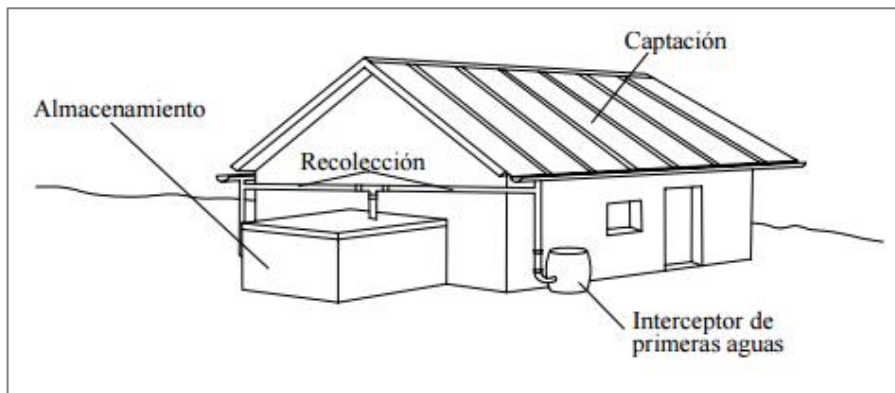
COMPONENTES	PROPUESTAS
Captación	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cercado en madera con alambre de púas.</li><li>- Rejilla en pulgada (diámetro de 1 ½", marca Colrejillas) en el punto de acceso.</li></ul>
Línea de conducción	<ul style="list-style-type: none"><li>- Material en tubería PVC.</li><li>- Implementar accesorios adecuados en PVC (codos y uniones).</li><li>- Cercado en madera con alambre de púas, en las secciones donde la línea de conducción se encuentra expuesta.</li><li>- Estructura de apoyo para el cruce aéreo.</li><li>- Válvula de control en la entrada y salida de la línea de conducción.</li></ul>
Tanque de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cercado en madera con alambre de púas.</li><li>- Impermeabilizar las paredes o cambiar el material a tanque de almacenamiento de 10,000 Lts Colempaques en material PVC.</li></ul>
Conexión domiciliaria	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cercado en madera con alambre de púas en el punto de acceso a la red de distribución de la vivienda.</li></ul>

COMPONENTES	PROPUESTAS
	- Filtro purificador de agua Bioenergético de 14 Lts.

**Fuente:** Autores.

Para avanzar hacia el crecimiento del sistema de autoabastecimiento proponemos implementar la recolección de aguas pluviales en techos, para abastecer específicamente esos periodos del año en donde hay escases del recurso hídrico y bajas precipitaciones. En la **Figura 7** se pueden observar los componentes del sistema de recolección de aguas pluviales, recomendado por la Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento del Área Rural (UNATSABAR), como una alternativa para el acceso del agua [31].

**Figura 7.** Componentes del sistema de recolección de aguas pluviales



**Fuente:** Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento del Área Rural (UNATSABAR).

Un valor estimado para la implementación de las propuestas para la mejora del sistema de autoabastecimiento de agua de la vivienda de estudio, es de \$ 135'000,000. Según los resultados de la calidad del agua (Parámetro E. Coli) y la inspección sanitaria (riesgo cuantitativo de cada componente) se puede establecer

la prioridad para la acción de la mejora según la OMS, se pueden observar en la **Tabla 6.**

**Tabla 6.** *Prioridad de la acción en el sistema de autoabastecimiento*

<b>COMPONENTES</b>	<b>PRIORIDAD DE LA ACCIÓN</b>
Captación	Baja
Línea de conducción	Alta
Tanque de almacenamiento	Alta
Conexión domiciliaria	Baja

**Fuente:** Autores.

Las propuestas para la mejora al sistema de autoabastecimiento fomentan de manera incremental, que el mecanismo avance de escalón a escalón (con pasos fáciles de reproducir y con tecnologías asequibles a los usuarios) [6].

La sostenibilidad de la infraestructura de agua en las zonas rurales en los países en desarrollo se ve afectada en gran medida por las interacciones dinámicas, sistémicas y de factores técnicos, sociales, económicos, institucionales y ambientales que pueden conducir a un fallo prematuro del sistema de agua [32]. Así mismo, en la vivienda de estudio se evidenció que la sostenibilidad del mecanismo de autoabastecimiento de agua se debe a la operación y mantenimiento por parte de los propietarios de la vivienda, el cual es nulo; sólo realizan el mantenimiento cada vez que se daña algún componente o cada vez que consideran que el estado de los componentes del sistema está sucio.

## 4. CONCLUSIONES

Todas las viviendas encuestadas del páramo de Berlín emplean el agua para suplir las necesidades domésticas, el riego de cultivos, actividades ganaderas y de ovicultura; por consiguiente, se evidencia el enfoque de usos múltiples del agua en las viviendas rurales del páramo de Berlín (Santander). Las múltiples actividades en la que se usa el agua afecta de una u otra manera los recursos hídricos, es necesario la intervención de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) para proponer practicas sostenibles que no tenga impactos inaceptables sobre los recursos hídricos.

El sistema de abastecimiento de la vivienda proporciona recuentos con 0 UFC/100 ml (E. Coli), aunque la fuente superficial es considerada por la Organización Mundial de la Salud como “fuentes no mejoradas”.

La propuesta para la mejora del sistema de autoabastecimiento individual fue encaminada en tomar acciones que eliminaran fuentes de contaminación del agua encontrado fuera y dentro del sistema, en el estudio de la investigación sanitaria; se propusieron con el fin de que fueran implementadas a partir de tecnologías de bajo costo, que proporcionarán un avance incremental en el acceso de agua potable.

En la literatura existe poca información sobre el autoabastecimiento en las zonas rurales de los páramos colombianos. Por ello, con este estudio se busca contribuir al estado del conocimiento en este tema, de tal forma que se pueda considerar este enfoque como una alternativa de suministro de agua reconocida y apoyada en lugares donde existe la ausencia de sistemas convencionales.

Es necesario estudiar a fondo los sistemas de autoabastecimiento empleados en las viviendas rurales en otros páramos de Colombia, para identificar los sistemas de abastecimiento que se emplean para el acceso de agua segura; y verificar si estos mecanismos, cumplen la función de Múltiples Usos del Agua que se evidenció en

los resultados obtenidos de este estudio, a fin de desarrollar estrategias que armonicen estas prácticas con la necesidad de protección de los páramos andinos, al tiempo que se garantiza el bienestar de las comunidades que los habitan.

## REFERENCIAS

- [1]. Organización Mundial de la Salud (OMS). *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible* [web en línea]. <<http://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgooverview/post-2015-development-agenda.html>>. [Consulta: 23-07-2016].
- [2]. Domínguez, W. Torres-López, I. Restrepo-Tarquino, C. Paterson, and J. Gowing, "Self-supply as an alternative approach to water access in rural scattered regions: evidence from a rural microcatchment in Colombia", *Ing. Univ.*, vol. 20, no. 1, pp. 107-126, 2016. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.iyu20-1.ssa>.
- [3]. Carter, R. C. *Investigating Options for Self-help Water Supply, from field research to pilot interventions in Uganda* [web en línea]. RWSN, 2006. <[http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/326200793645\\_UgandaSelfSupply.pdf](http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/326200793645_UgandaSelfSupply.pdf)>. [Consulta: 04-01-2016].
- [4]. Adank M.D., *Linking multiple use services and Self-Supply principles* [web en línea], IRC International Water and Sanitation Centre, 5 p.: 1 fig, 2006. <<http://www.ircwash.org/resources/linking-multiple-use-services-and-self-supply-principles-paper-prepared-5th-rural-water>>. [Consulta: 30-07-2016].
- [5]. JMP/UNICEF. [web en línea]. <<http://www.wssinfo.org/data-estimates/graphs/>>. [Consulta: 11-05-2016].
- [6]. Sutton, S., *An Introduction to Self-Supply: Putting the User First, Incremental improvements and private investment in rural water supply* [web en línea]. RWSN, 2008. < [http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/Af\\_SelfSupply\\_1.pdf](http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/Af_SelfSupply_1.pdf)>. [Consulta: 05-01-2016].
- [7]. Smits, S., Atengdem, J.A., Darteh, B., Moriarty, P., Koppen, B. van, Nyarko, K., Obuoubisa-Darko, A., Ofosu, E., Venot, J.-P., Williams, T., *Multiple Use Water Services in Ghana Scoping Study* [web en línea]. International Water Management

Institute (IWMI), 2011. < <http://www.ircwash.org/resources/multiple-use-water-services-ghana-scoping-study>>. [Consulta: 07-05-2016].

**[8].** Smits, S, Sutton, S., *Self-supply: the case for leveraging greater household investment in water supply* [web en línea]. IRC, 2015. < <http://www.ircwash.org/resources/self-supply-triple-s-briefing-note>>. [Consulta: 07-01-2016].

**[9].** Ministry of Water and Environment. *Self-Supply Experiences in Uganda, a compilation at the 3<sup>rd</sup> National Learning Forum-City Royal Hotel, December 5-6, 2011* [web en línea]. Ministry of Water and Environment, 2012. < [http://www.rural-water-supply.net/\\_ressources/documents/default/1-429-3-1354289088.pdf](http://www.rural-water-supply.net/_ressources/documents/default/1-429-3-1354289088.pdf)>. [Consulta: 04-01-2016].

**[10].** Sutton, S., *Preliminary desk study of potential for self-supply in sub-saharan Africa* [web en línea]. WATERAID and the Rural Water Supply Network, Octubre, 2004. < [http://www.rural-water-supply.net/\\_ressources/documents/default/264.pdf](http://www.rural-water-supply.net/_ressources/documents/default/264.pdf)>. [Consulta: 07-01-2016].

**[11].** Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes). *Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural*, Julio 13, 2014 [web en línea]. <<http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3810%20-%202014.pdf>>. [Consulta: 27-01-2016].

**[12].** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, <[https://www.minambiente.gov.co/images/sala-de-prensa/Documentos/2014/diciembre/191214\\_infografia\\_santurban.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/sala-de-prensa/Documentos/2014/diciembre/191214_infografia_santurban.pdf)>. [Consulta: 20-1-2016].

**[13].** De Bièvre, B.; Iñiguez, v.; Buytaert, W. *Hidrología del páramo: importancia, propiedades y vulnerabilidad, conocer para conservar* [web en línea]. <<http://paramo.cc.ic.ac.uk/pubs/ES/Hidroparamo.pdf>>. [Consulta: 28-1-2016].

- [14]. Butterworth, J.; Sutton, S. and Mekonta, L., *Self-Supply as a Complementary Water Services Delivery Model in Ethiopia* [web en línea]. *Water Alternatives* 6(3): 405-423, 2013. < <http://www.sswm.info/library/7985>>. [Consulta: 5-1-2016].
- [15]. Sutton, S., *Water, Sanitation and Hygiene: Sustainable Development and Multisectoral Approaches: Integrating a new approach – the example of Self Supply*. 34th WEDC International Conference, Addis Ababa, Ethiopia, 2009, paper 293.
- [16]. OMS, UNICEF, JMP. *Principales preguntas sobre agua de bebida y saneamiento para encuestas de hogares* [web en línea]. Abril, 2006. [Consulta: 12-04-2016].
- [17]. CAWST. *Introduction to Drinking Water Quality Testing* [web en línea]. Octubre, 2013. < [http://www.pseau.org/outils/ouvrages/cawst\\_introduction\\_to\\_drinking\\_water\\_quality\\_testing\\_2013.pdf](http://www.pseau.org/outils/ouvrages/cawst_introduction_to_drinking_water_quality_testing_2013.pdf) >. [Consulta: 10-06-2016]
- [18]. Robens Institute -Guildford, GB. *Oxfam-DelAgua water testing kit: User's manual*, [web en línea]. University of Surrey, Robens Institute, 1993, rev.+upd. 3rd ed. < <http://www.ircwash.org/resources/oxfamdelagua-portable-water-testing-kit-users-manual>>. [Consulta: 09-06-2016]
- [19]. Sutton, S. *Self-Supply: incremental improvement and personal investment in rural water supply* [web en línea]. 5<sup>th</sup> RWSN FORUM, Accra, Ghana, 2006. <<http://www.musgroup.net/page/703>>. [Consulta: 07-05-2016].
- [20]. GREENPEACE. *Páramos en peligro. El caso de la minería de carbón en Lisba* [web en línea]. Diciembre, 2013. <<http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/images/2013/paramos/12/Informe%20P%C3%A1ramos%20en%20peligro.pdf>>. [Consulta: 29-07-2016].
- [21]. EPM. *Panorama del agua en Colombia, fábricas de agua y demanda del recurso* [web en línea]. [Consulta: 29-07-2016].

[22]. CDMB. *Delimitación, Síntesis Diagnóstica y Zonificación Ambiental Del Área, páramo de Berlín (departamentos de Santander y Norte de Santander)*. Enero, 2007. [Consulta: 02-05-2016].

[23]. Bartram J, Corrales L, Davison A, Deere D, Drury D, Gordon B, Howard G, Rinehold A, Stevens M. *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo* [web en línea]. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 2009. < [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publication\\_9789241562638/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publication_9789241562638/es/) >. [Consulta: 08-06-2016].

[24]. OMS, UNICEF. *Rapid assessment of Drinking-Water Quality: A handbook for Implementation* [web en línea]. Octubre, 2012. < [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publication\\_9789241562638/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publication_9789241562638/es/) >. [Consulta: 09-06-2016].

[25]. Domínguez, Isabel; Torres-López, Wilmar; Restrepo-Tarquino, Inés; Oviedo-Ocaña, Ricardo; Smout, “Ilan Livelihood Factors, Explaining Water Consumption in a (de facto) Multiple Uses Water System in Colombia Ingeniería y Universidad”, vol. 18, núm. 1, Enero-Junio, 2014, pp. 7-25 Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia.

[26]. RWSN. *Investment in rural water supply delivers results* [web en línea]. Julio, 2015. < [http://www.rural-water-supply.net/\\_ressources/documents/default/1-674-2-1435935827.pdf](http://www.rural-water-supply.net/_ressources/documents/default/1-674-2-1435935827.pdf) >. [Consulta: 10-05-2016].

[27]. Jonathan Naugle. *A MARKET-BASED APPROACH TO FACILITATE Self Supply for Rainwater Harvesting in Uganda* [web en línea]. RWSN, Uganda, 2011. < <http://www.ircwash.org/sites/default/files/Naugle-2011-Market.pdf> >. [Consulta: 07-01-2016].

[28]. S. Smits, B. van Koppen and P. Moriarty [Netherlands]. *Characterising the multiple use approach at community level: findings from case studies in 8 countries* [web en línea]. Noviembre, 2008. [Consulta: 19-06-2016].

[29]. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, TÍTULO J: Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural* [web en línea]. República de Colombia. < <http://camacol.co/sites/default/files/IT-Reglamentos/Anexo%20T%C3%A9cnico%20RAS-2000%20T%C3%ADtulo%20J.pdf> >. [Consulta: 24-08-2016].

[30]. IRC. *Self-supply family wells for Multiple Use water Services* [web en línea]. Diciembre, 2013. < [http://www.ircwash.org/sites/default/files/mustrain\\_case\\_2\\_self\\_supply\\_family\\_wells.pdf](http://www.ircwash.org/sites/default/files/mustrain_case_2_self_supply_family_wells.pdf) >. [Consulta: 07-05-2016].

[31]. UNATSABAR. *Especificaciones técnicas, captación de agua lluvia para consumo humano* [web en línea]. Lima, 2003. < [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/046\\_captacion\\_lluvia/Captacion\\_lluvia.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/046_captacion_lluvia/Captacion_lluvia.pdf) >. [Consulta: 25-08-2016].

[32]. Jeffrey Walters; Amy Javernick-Will. *Long-term Functionality of Rural Water Services in Developing Countries: A System Dynamics Approach to Understanding the Dynamic Interaction of Factors* [web en línea]. *Environ. Sci. Technol.*, 2015, 49 (8), pp 5035–5043. <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es505975h>>. [Consulta: 25-07-2016].

## BIBLIOGRAFÍA

- Domínguez, W. Torres-López, I. Restrepo-Tarquino, C. Paterson, and J. Gowing, "Self-supply as an alternative approach to water access in rural scattered regions: evidence from a rural microcatchment in Colombia", *Ing. Univ.*, vol. 20, no. 1, pp. 107-126, 2016. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.iyu20-1.ssaa>.
- CAWST. *Introduction to Drinking Water Quality Testing* [web en línea]. Octubre, 2013. < [http://www.pseau.org/outils/ouvrages/cawst\\_introduction\\_to\\_drinking\\_water\\_quality\\_testing\\_2013.pdf](http://www.pseau.org/outils/ouvrages/cawst_introduction_to_drinking_water_quality_testing_2013.pdf) >. [Consulta: 10-06-2016]
- CDMB. *Delimitación, Síntesis Diagnóstica y Zonificación Ambiental Del Área, páramo de Berlín (departamentos de Santander y Norte de Santander)*. Enero, 2007. [Consulta: 02-05-2016].
- Bartram J, Corrales L, Davison A, Deere D, Drury D, Gordon B, Howard G, Rinehold A, Stevens M. *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo* [web en línea]. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 2009. < [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publication\\_9789241562638/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publication_9789241562638/es/) >. [Consulta: 08-06-2016].
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, TÍTULO J: Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural* [web en línea]. República de Colombia. < <http://camacol.co/sites/default/files/IT-Reglamentos/Anexo%20T%C3%A9cnico%20RAS-2000%20T%C3%ADtulo%20J.pdf> >. [Consulta: 24-08-2016].

