

**EVALUACIÓN DE LA DIMENSIÓN TÉCNICA DE LA SOSTENIBILIDAD DE
ABASTECIMIENTOS DE AGUA COLECTIVOS RURALES EN ECOSISTEMAS
DE PÁRAMO**

ANDRÉS GABRIEL BARÓN BOTERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

**EVALUACIÓN DE LA DIMENSIÓN TÉCNICA DE LA SOSTENIBILIDAD DE
ABASTECIMIENTOS DE AGUA COLECTIVOS RURALES EN ECOSISTEMAS
DE PÁRAMO**

ANDRÉS GABRIEL BARÓN BOTERO

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Directora:

ISABEL CRISTINA DOMÍNGUEZ RIVERA

PhD. en Desarrollo Rural con Énfasis en Gestión de Recursos Hídricos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. METODOLOGÍA	17
1.1 REVISIÓN DE MARCOS CONCEPTUALES, INDICADORES Y METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO COLECTIVOS RURALES	17
1.2 EVALUACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO CON ÉNFASIS EN LA DIMENSIÓN TÉCNICA	18
1.2.1 Selección del sistema de abastecimiento caso de estudio	18
1.2.2 Organización de un grupo de apoyo	18
1.2.3 Mapa Social	19
1.2.4 Inspección al sistema.....	19
1.2.5 Encuesta de hogares	20
1.3 FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA.....	21
1.3.1 Identificación de amenazas.....	21
1.3.2 Priorización de amenazas.....	21
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
2.1 EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN ACUEDUCTOS RURALES	22
2.1.1 Marcos conceptuales	22
2.1.2 Herramientas	23

2.1.3 Dimensiones de la sostenibilidad.....	25
2.1.4 Indicadores	26
2.2 EVALUACIÓN DE LA DIMENSIÓN TÉCNICA DE LA SOSTENIBILIDAD EN UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO RURAL EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO	29
2.2.1 Características generales del caso de estudio.....	29
2.2.2 Tamaño del proyecto	30
2.2.3 Distancia a la fuente	30
2.2.4 Disponibilidad de tecnología y uso de partes locales en el sistema.....	31
2.2.5 Presencia de partes complejas en el sistema	33
2.2.6 Caudal mínimo.....	33
2.2.7 Cantidad de beneficiarios por fuente	33
2.2.8 Tiempo de vida del sistema	34
2.2.9 Soporte externo	35
2.2.10 Crecimiento poblacional.....	36
2.2.11 Capacidad de expansión cuando la población aumente.....	36
2.2.12 Compatibilidad con características geográficas	37
2.2.13 Suministro del recurso de forma continua.....	38
2.2.14 Actividades de operación y mantenimiento continuas	39
2.2.15 Entrenamiento de funcionarios	41
2.3 FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA.....	41
2.3.1 Identificación de amenazas.....	42
2.3.2 Priorización de amenazas.....	47
3. CONCLUSIONES	50

CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de captación	31
Figura 2. Conexión adicional.....	32
Figura 3. Uniones artesanales	32
Figura 4. Ventosa artesanal.....	32
Figura 5. Desarenador	37
Figura 6. Paso aéreo	38
Figura 7. Red sobre talud	38

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Fuentes de agua usadas	35
Gráfica 2. Nombre del sistema de abastecimiento.....	35
Gráfica 3. Disponibilidad de agua en temporada seca y de lluvias	39
Gráfica 4. Fallas en el sistema.....	40

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Marcos conceptuales para evaluación de la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua.....	23
Tabla 2. Herramientas empleadas para la evaluación de la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua rurales.....	24
Tabla 3. Indicadores relacionados con la dimensión técnica de la sostenibilidad en acueductos rurales.....	28
Tabla 4. Comparativa entre el estado actual del sistema de abastecimiento y la normativa vigente.....	42
Tabla 5. Eventos de riesgo	47
Tabla 6. Propuesta de estrategias de mejora	48

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: Formato de ficha de resumen	68
ANEXO B: Formatos de inspección técnica.....	69
ANEXOC: Formatos de encuesta	74
ANEXO D: Fichas de resumen de artículos revisados sobre metodologías y herramientas en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales.....	79
ANEXO E: Dimensiones de sostenibilidad.....	105
ANEXO F: Indicadores de sostenibilidad	109
ANEXO G: Ubicación del DMI Páramo de Berlín.....	112
ANEXO H: Mapa Social	113
ANEXO I: Formatos de la OMS diligenciados.....	114
ANEXO J: Justificación del nivel de riesgo	120

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DE LA DIMENSIÓN TÉCNICA DE LA SOSTENIBILIDAD DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA COLECTIVOS RURALES EN ECOSISTEMAS DE PÁRAMO*

AUTOR: ANDRÉS GABRIEL BARÓN BOTERO**

PALABRAS CLAVE: sostenibilidad; páramo, sistema de abastecimiento de agua colectivo rural; uso múltiple del agua; países en vía de desarrollo

La Organización de las Naciones Unidas busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para todos. Para lograrlo, es necesario reducir la brecha existente entre zonas urbanas y rurales, especialmente en países en vía de desarrollo. Varios autores han propuesto marcos conceptuales, herramientas e indicadores que permiten evaluar la sostenibilidad de abastecimientos de agua rurales. Sin embargo, no existe evidencia de una evaluación realizada a este tipo de sistemas en ecosistemas de páramo. El objetivo de este trabajo fue evaluar la dimensión técnica de la sostenibilidad de un sistema de abastecimiento de agua colectivo rural ubicado en el páramo de Berlín, que se caracteriza por la práctica de actividades agrícolas sobre áreas de zonificación ambiental. Se realizó una revisión de literatura que sirvió para generar instrumentos de recolección de información adaptados al caso de estudio, tales como la elaboración de un mapa social, encuestas a la comunidad e inspecciones técnicas en el sistema de abastecimiento. A través de estos instrumentos se encontraron diversas falencias en el diseño de los componentes del sistema, así como evidencia del uso múltiple del agua propio de abastecimientos de zonas rurales. Finalmente, se recopilieron las falencias encontradas, se realizó una evaluación del riesgo y se propusieron algunas estrategias de mejora, como cercar las estructuras del sistema de abastecimiento, realizar movimientos de tierra alrededor del desarenador y reconocer los usos múltiples del agua. Los resultados de esta investigación son la base para plantear soluciones locales, así como soluciones más complejas a largo plazo que requieren de apoyo externo a la comunidad. Así mismo, la metodología planteada resulta de utilidad para evaluar la sostenibilidad de otros proyectos con características similares.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Isabel Cristina Domínguez Rivera, Ingeniera Sanitaria.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE TECHNICAL DIMENSION OF THE SUSTAINABILITY OF COMMUNITY-BASED RURAL WATER SUPPLY SYSTEMS IN PARAMO ECOSYSTEMS *

AUTHOR: ANDRÉS GABRIEL BARÓN BOTERO **

KEY WORDS: sustainability; paramo, community-based rural water supply system; multiple uses of water; developing countries.

The World Health Organization aims to ensure the availability of water and its sustainable management for all. To achieve this, it is necessary to reduce the gap between urban and rural areas, especially in developing countries. Several authors have proposed a set of frameworks, tools and indicators to assess the sustainability of rural water supply systems. However, there is no evidence of an evaluation of this type on paramo ecosystems. The aim of this work was to evaluate the technical dimension of the sustainability in a community-based rural water supply system located in the Berlín paramo, characterized by the practice of agricultural activities on areas of environmental zoning. A literature review was carried out to generate assessment tools and instruments, such as a social map, a community survey and a sanitary inspection in the water supply system. The assessment allowed identifying failures in the system design, as well as evidence of multiple uses of water, which are characteristic of rural water supply systems. Finally, a compilation of the identified failures was made, a risk assessment was carried out and some improvement strategies were proposed, such as fencing the structures of the water supply system, excavating around the grit chamber and recognizing the multiple uses of water. The results from this research are the basis for proposing local solutions together with complex and long-term solutions that require external support to the community. Likewise, the methodology is useful to evaluate the sustainability of other projects with similar characteristics.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Isabel Cristina Domínguez Rivera, Ingeniera Sanitaria.

INTRODUCCIÓN

Uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos [1]. Para el año 2010, la proporción de población sin acceso a una fuente de abastecimiento sostenible se redujo a la mitad [2], sin embargo, aún existen inequidades en el suministro de agua entre zonas urbanas y rurales [3]. Debido a las dificultades de acceso en lugares remotos, en Colombia es común el uso de sistemas de abastecimiento colectivo en zonas rurales [4]. En estos, el servicio de abastecimiento está a cargo de algunos de los miembros que conforman la comunidad, es decir, son estos los encargados de la toma de decisiones, control y administración del sistema [5]. Los sistemas colectivos rurales alrededor del mundo, especialmente aquellos en países en desarrollo, se caracterizan por el déficit en infraestructura, tecnología, y falta de conocimiento adecuado por parte de la comunidad para la toma de decisiones [6]. Según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), aproximadamente el 50% de la población rural colombiana, se abastece por medio de sistemas colectivos manejados por organizaciones comunitarias [7].

Aunque los sistemas colectivos han sido ampliamente usados durante las últimas décadas en el país, fue en el año 1994 cuando se incluyó por primera vez una normativa encargada de regular la prestación de este servicio en Colombia [8]. No obstante, según un informe de la Procuraduría General de la Nación, un alto porcentaje de municipios no incluye la cobertura del servicio de acueducto en sus planes de desarrollo, además, la minoría de municipios rurales que reportan información relacionada con el servicio de acueducto suele omitir aspectos de importancia, como estudios de calidad de agua e información de la organización prestadora del servicio [9]. Los registros existentes de diferentes estudios realizados en sistemas colectivos rurales indican que un gran porcentaje de proyectos terminan

en fracaso o de forma prematura [10]. Diferentes autores sugieren que la causa de que estos proyectos no terminen exitosamente es la indebida interpretación de la sostenibilidad, pues generalmente se suelen excluir fases posteriores a la construcción de los proyectos y las comunidades que usan los sistemas no siempre son tenidas en cuenta para la toma de decisiones [11], [12].

El páramo de Berlín está ubicado al norte de la Cordillera Oriental de Colombia, en la Unidad biogeográfica de Santurbán. En el área, las talas, quemas, la presencia de viviendas rurales sobre espacios de importancia ambiental, y la práctica de actividades agrícolas sobre áreas protegidas, productos de la falta de organización y control adecuado en el uso del recurso hídrico, propician el deterioro de las fuentes de abastecimiento [13]. Adicionalmente, hay presencia de acueductos en condiciones técnicas deficientes, producto de la falta de organización y control adecuado en el uso del recurso hídrico [14]. El suministro de agua a las viviendas presenta mayores dificultades en la captación, conducción y distribución a los hogares, pues se evidencian falencias técnicas que ocasionan pérdidas y el mal uso del agua [13]. Como respuesta a estos problemas, se han desarrollado diferentes políticas, reglamentos y directrices que buscan identificar los principales problemas y promover la recuperación, protección y uso sostenible de las fuentes hídricas de la región, como por ejemplo, la creación de un “Distrito de manejo integrado de los recursos naturales renovables DMI” [8], [13]. El DMI Páramo de Berlín comprende los municipios de Tona (Santander), Silos y Mutiscua (Norte de Santander); fue creado por un acuerdo mutuo entre la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR).

Ante el contexto presentado anteriormente, el grupo de investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) adelanta una investigación financiada por la CDMB en el DMI del páramo de Berlín. En esta investigación se busca evaluar aspectos técnicos, sociales y

ambientales de la sostenibilidad en un sistema de abastecimiento de agua colectivo ubicado en esta zona. El presente trabajo se desarrolló en el marco de este proyecto, bajo la modalidad de pasantía de investigación en el grupo GPH, y estuvo enfocado en la evaluación de la dimensión técnica de la sostenibilidad de un sistema de abastecimiento rural colectivo en el DMI. Para ello, se desarrollaron tres objetivos específicos: i) identificar indicadores que permitan simplificar y cuantificar información para la construcción de un marco conceptual que facilite la evaluación de la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento de agua colectivos en comunidades de páramo; ii) medir algunos de indicadores identificados en el caso de estudio del DMI Páramo de Berlín para emitir un juicio sobre la sostenibilidad de dicho sistema con énfasis en la dimensión técnica; y iii) proponer algunas estrategias para mejorar la sostenibilidad del sistema analizado respecto a los aspectos técnicos.

1. METODOLOGÍA

1.1 REVISIÓN DE MARCOS CONCEPTUALES, INDICADORES Y METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO COLECTIVOS RURALES

El fin del primer objetivo fue encontrar marcos conceptuales, indicadores y metodologías que permitieran medir diferentes aspectos de la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento colectivo rurales. Se realizó una revisión de literatura que comprendía temas relacionados con la sostenibilidad en acueductos rurales. Se acudió a bases de datos como Sciencedirect ®, Researchgate ® y Springer ®. Adicionalmente se consultaron diferentes publicaciones de instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el International Water and Sanitation Centre (IRC). Se realizó una búsqueda por palabras clave, tales como “rural water supply”, “community based water projects”, “framework”, “monitoring water” y “sustainability”. Es importante mencionar que se incluyeron ciertos artículos enfocados en la evaluación en zonas urbanas que contenían información de interés con potencial de ser adaptada al caso de estudio [15]–[17]. La información encontrada en los artículos se sintetizó a través de fichas que resumen los aspectos relevantes de cada artículo (Anexo 1). El análisis de los artículos se orientó en responder las siguientes preguntas de investigación: i) ¿qué marcos conceptuales o herramientas existen para evaluar la sostenibilidad de abastecimientos de agua rurales?; ii) ¿qué indicadores utilizan estos marcos conceptuales o herramientas?; iii) ¿cómo se miden estos indicadores.

1.2 EVALUACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO CON ÉNFASIS EN LA DIMENSIÓN TÉCNICA

A partir de la lectura y respuesta de las preguntas de investigación, se eligieron y adaptaron los indicadores y métodos más convenientes para ser aplicados en el contexto del proyecto y generar instrumentos de recolección de información pertinentes. Para evaluar la dimensión técnica se realizaron inspecciones al sistema de abastecimiento acompañadas por una encuesta, que tenía el fin de ampliar el conocimiento e información existente sobre el sistema. El propósito de estas actividades fue reunir información que permitiera realizar una valoración de los indicadores encontrados a través de la revisión de literatura.

1.2.1 Selección del sistema de abastecimiento caso de estudio Debido a su cercanía y por interés de la CDMB, se optó por estudiar un sistema de abastecimiento ubicado en el DMI Páramo de Berlín, concretamente, aquel encargado de suministrar el recurso a los habitantes de la vereda “El Progreso”, ubicada sobre el kilómetro 54 en la vía Bucaramanga-Pamplona. El primer contacto con la comunidad se realizó a través de funcionarios de la CDMB, encargados de varios proyectos en el DMI, teniendo en cuenta que en esta vereda se había identificado recientemente interés en soluciones sostenibles para los diferentes problemas que se presentan en la región. Con el objetivo de acercarse a la comunidad de manera adecuada y generar un nivel de confianza alto que garantice la honestidad y el compromiso de los usuarios [18], se socializó el proyecto con los habitantes del sector por medio de reuniones y presentaciones que permitieron la libre expresión y la aclaración de inquietudes sobre las diferentes fases del desarrollo del proyecto.

1.2.2 Organización de un grupo de apoyo Con ayuda de un líder de la comunidad, designado por la misma para este proyecto de investigación, se conformó un equipo

de trabajo compuesto por cinco miembros de la comunidad, dos profesores y tres estudiantes de la escuela de Ingeniería Civil de la UIS. Los miembros de la comunidad que participaron en el proceso fueron aquellos que demostraron interés en el proyecto de investigación y estuvieron dispuestos a participar en el diagnóstico del sistema. Además, estos miembros suelen estar involucrados en las diferentes actividades realizadas por la comunidad relacionadas con el acueducto. El grupo estuvo presente en la elaboración del mapa social, la inspección técnica al sistema de abastecimiento y aprobó las preguntas seleccionadas para aplicar la encuesta a la comunidad posteriormente.

1.2.3 Mapa Social Por medio de una reunión con el grupo de trabajo organizado previamente, se logró generar un mapa en el que podían observarse propiedades de la vereda, tales como número de usuarios del acueducto con sus respectivos propietarios, localización de fuentes hídricas, ubicación de los componentes del sistema de acueducto y propiedades de la red de conducción. Este tipo de herramienta participativa es particularmente útil para generar un diagnóstico, usado para identificar los problemas existentes y en este caso, como un punto de partida para organizar la logística de la aplicación de las encuestas [18].

1.2.4 Inspección al sistema Las inspecciones técnicas consisten de visitas al sitio y entrevistas con personal encargado. Involucran aspectos técnicos, operacionales y ambientales que puedan generar amenazas en el sistema de abastecimiento [19]. Adicionalmente, cumplen la función de explicar a los usuarios los defectos del sistema de una manera sencilla y fácil de entender, así como una guía que permita identificar pasos a seguir para dar solución a los problemas encontrados [20]. Es importante resaltar que no se limitan a identificar falencias técnicas, también pueden ser usadas para identificar problemas de cobertura, costos, cantidad y calidad del recurso. Para este caso de estudio se adaptaron formatos de inspecciones técnicas propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los cuales pueden ser encontrados en el Anexo 2.

1.2.5 Encuesta de hogares Las encuestas son usadas para entender el funcionamiento del sistema y poder realizar una descripción de este. Generalmente, son de carácter subjetivo, pues los resultados obtenidos varían según la percepción que la comunidad tenga del sistema [11]. La primera parte de la encuesta estuvo enfocada en hacer una identificación de los habitantes que se abastecían del sistema de agua comunitario, continuando con la percepción y conocimiento que los usuarios tenían del agua del acueducto. Posteriormente se indagó sobre los usos del agua y el suelo, la participación de la comunidad en proyectos del acueducto, temas relacionados con higiene y salud y finalmente, el conocimiento de la comunidad en temas administrativos.

Con el mapa social fue posible identificar 85 usuarios (referentes a conexiones domiciliarias) del sistema de abastecimiento de agua colectivo, distribuidos a lo largo de cuatro sectores. Para informar sobre la realización de la encuesta se ubicaron carteles informativos en puntos específicos (tiendas y otros lugares frecuentados por la comunidad) que indicaban la fecha y el motivo de realización de las encuestas. Las encuestas fueron aplicadas por los tres estudiantes vinculados al proyecto, durante tres días, en jornadas de 8:00 a 12:00 y de 14:00 hasta las 17:00. Además, se contó con el acompañamiento de un miembro de la comunidad, que ayudó a identificar cada uno de los usuarios del sistema de abastecimiento a lo largo del recorrido. Se obtuvo una tasa de respuesta del 76% (65 usuarios). Se encuestó a habitantes de las viviendas usuarias en el sistema, mayores de edad, después de solicitar consentimiento informado. No fue posible encuestar a la totalidad de los usuarios, pues algunos no se encontraban en las viviendas al momento de la encuesta, mientras que otros no hacían uso del punto de abastecimiento en el momento.

El formato de la encuesta aplicada puede ser encontrado en el Anexo 3. La información recolectada fue procesada y analizada en el software Microsoft Excel,

con el fin de identificar tendencias y comportamientos que permitieron generar un diagnóstico de la comunidad.

1.3 FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA

1.3.1 Identificación de amenazas Con el fin de identificar las falencias en el sistema de abastecimiento se realizó una comparación entre el estado actual de los diferentes componentes del sistema de abastecimiento con los parámetros de diseño estipulados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS, Título J, referente a alternativas tecnológicas para el sector rural [7]. Generalmente el Título J tomaba como referencia los parámetros estipulados en el Título B, referente a sistemas de acueducto, debido a que no existen en la normatividad parámetros propios de diseño para el sector rural. También se tuvo en cuenta la literatura de López Cualla [21] y el puntaje de riesgo obtenido por medio de la inspección técnica, las visitas a la comunidad y el registro fotográfico existente.

1.3.2 Priorización de amenazas Con las falencias identificadas anteriormente, se consideraron posibles eventos de riesgo (según el criterio del autor) que podrían afectar el correcto funcionamiento del sistema de abastecimiento. Posteriormente se realizó una valoración subjetiva del riesgo de cada uno de estos eventos para determinar cuáles de ellos requerían intervención de manera inmediata y la factibilidad de hacerlo. Se seleccionaron aquellos eventos que resultaron más viables para atender por parte de la comunidad y se propuso una estrategia que detallaba la acción a realizar, el sujeto, los recursos necesarios y su respectivo plazo de ejecución. Este procedimiento fue adaptado de la propuesta de priorización de los planes de seguridad del agua de la OMS [22].

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN ACUEDUCTOS RURALES

Un sistema de abastecimiento es sostenible si cumple con la demanda del recurso hídrico para toda la población, y en condiciones aceptables, sin comprometerlo en el futuro [23]. A pesar de la intención por parte de diferentes organizaciones y entidades públicas de generar sistemas de abastecimiento seguros en países en vía de desarrollo, la situación actual sigue siendo crítica [24]. Esto ha despertado el interés en la comunidad académica por comprender aquellos factores que afectan la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales [25]. Como respuesta a esta problemática diferentes autores han empleado distintos marcos conceptuales y herramientas que permitan evaluar y replicar sistemas de abastecimiento rurales sostenibles. A continuación, se describen brevemente algunos de estos marcos conceptuales y herramientas.

2.1.1 Marcos conceptuales En la evaluación de la sostenibilidad, marcos conceptuales ampliamente utilizados incluyen el marco presión-estado-respuesta (PSR) [26], el marco fuerza motriz-presión-estado-impacto-respuesta (DPSIR) [27], y el marco para el análisis de sistemas socioecológicos (SES) [28]. La Tabla 1 presenta una descripción de estos marcos conceptuales, así como referencias a publicaciones donde se da cuenta de la aplicación de estos marcos en diferentes proyectos de abastecimiento de agua.

Tabla 1. Marcos conceptuales para evaluación de la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua

Marco conceptual	Descripción	Referencias
PSR	Considera que las actividades humanas ejercen presiones en el ambiente y afectan su calidad, por ende, la sociedad responde ante estos cambios a través de políticas ambientales y económicas que buscan generar conciencia y mejorar el comportamiento de la población [26]. Divide las presiones en dos: las presiones indirectas, generadas debido a las actividades que el ser humano ejerce para su desarrollo (transporte, agricultura, etc.), y las presiones directas, asociadas a la contaminación y a la generación de residuos.	[29],[30],[31],[32]
DPSIR	Se deriva del PSR. Considera unas fuerzas motrices (conocidas como presiones indirectas en el PSR) y ciertos indicadores de impacto, que reflejan los efectos sobre la salud humana y los ecosistemas [27].	[33],[34],[35],[36],[37],[38]
SES	Considera que los sistemas socioecológicos están compuestos por cuatro subsistemas (unidades de recurso, sistemas de recurso, sistemas de gobierno y usuarios). El marco conceptual estudia la relación de estos subsistemas, así como la interacción de las variables de segundo orden, que dependen específicamente del tipo de investigación que se esté realizando [28].	[39],[40],[12],[41]

2.1.2 Herramientas Los artículos analizados hacen uso de un marco conceptual que se basa en el análisis de múltiples dimensiones de la sostenibilidad que son propuestas para evaluar el estado de un sistema de abastecimiento rural. Por lo general, se suele plantear un objetivo, así como una definición y características de la sostenibilidad. Con base en esta información se identifican factores que afectan

la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua colectivos en entornos rurales y según las características de la zona estudiada, se emplean diferentes criterios para hacer una evaluación y poder generar un diagnóstico de la situación. El Anexo 4 incluye un resumen de los artículos analizados en la revisión de literatura con el fin de encontrar diferentes metodologías y herramientas en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales. La Tabla 2 resume las herramientas más empleadas para la evaluación de la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua rurales, así como ejemplos de aplicaciones.

Es importante tener en cuenta que cada caso de estudio es único, algunas dimensiones de la sostenibilidad pueden tener más jerarquía o peso según el objetivo planteado y por lo tanto el marco conceptual empleado debe ser flexible y abierto a la interpretación. Así mismo, la evaluación de los indicadores puede realizarse de la manera que se considere más adecuada según los recursos y el tiempo disponible. Como resultado de la evaluación, se obtendrá una idea general del estado del sistema, así como de las áreas o factores de la sostenibilidad que requieran de una mayor atención.

Tabla 2. Herramientas empleadas para la evaluación de la sostenibilidad en sistemas de abastecimiento de agua rurales

Herramienta	Descripción	Referencias
Análisis de ciclo de vida	Herramienta que evalúa la forma en la que la sostenibilidad de un proyecto puede ser optimizada a lo largo del ciclo de vida de este. Las cinco etapas del ciclo de vida son: i) evaluación de necesidades; ii) evaluación de factibilidad y diseños conceptuales; iii) planeación y diseño; iv) implementación; v) operación y mantenimiento [42].	[42],[43], [17]
Análisis multicriterio	Herramientas para la toma de decisiones con potencial de ser empleadas en la evaluación ambiental de un sistema. Busca garantizar	[44], [45], [46], [16], [47],[48]

Herramienta	Descripción	Referencias
	que todos los aspectos que afectan el desarrollo del ser humano sean incluidos en planes y estrategias de mejora, teniendo en cuenta el grado de importancia de cada uno de estos aspectos [11].	
Dinámica de sistemas	Relaciona distintos factores involucrados en el comportamiento de un sistema por medio de bucles de realimentación. Estos bucles suelen ser de refuerzo o de balance, y buscan representar la influencia y las consecuencias que el cambio de una variable tendrá sobre las otras [49].	[49],[50], [51]
Análisis de riesgo	Relaciona la probabilidad de ocurrencia de ciertas amenazas con el impacto que puedan tener en el sistema. Busca identificar aquellos problemas que requieren una mayor prioridad con el fin de minimizar los riesgos [19].	[17], [19].

2.1.3 Dimensiones de la sostenibilidad Mediante la revisión de los artículos, fue posible identificar cuatro dimensiones de la sostenibilidad que se consideran en la mayoría de las evaluaciones realizadas aplicadas a casos de estudio específicos: técnica, social, ambiental y económica.

La dimensión técnica busca determinar si la tecnología empleada en el sistema es la más conveniente y si esta funciona de manera adecuada. El uso de partes complejas y costosas implica mayores gastos y esfuerzos en actividades de capacitación, que en muchas ocasiones las comunidades rurales no pueden permitirse. También abarca todos aquellos procesos llevados a cabo para que el suministro del recurso hídrico sea constante, como actividades de operación y mantenimiento, entrenamiento de funcionarios y apoyo externo.

La dimensión social tiene como objetivo evaluar si el sistema de abastecimiento tiene un impacto positivo en la comunidad. Busca que toda la comunidad se

involucre en todas las fases del proyecto y esté al tanto de las decisiones que se toman para optimizar el sistema de abastecimiento. Una comunidad que no esté satisfecha con el sistema perderá el interés por sostenerse en el tiempo y optará por buscar otras alternativas no sostenibles.

La dimensión ambiental promueve el uso del recurso hídrico de tal manera que otros componentes del ecosistema como el suelo, aire y la vegetación no se vean deteriorados. También vela por evitar la contaminación del agua dentro del sistema de abastecimiento, pues el consumo de agua en condiciones no favorables está asociado con enfermedades e infecciones en el hombre.

La dimensión económica busca establecer si la comunidad tiene capacidad para costear los gastos que involucran el correcto funcionamiento del sistema de acueducto. También indaga si la comunidad realiza las prácticas administrativas adecuadas y si estas son conocidas por todos los miembros. Adicionalmente, abarca temas legales relacionados con la propiedad del territorio y la intervención de otras entidades, ya sean públicas o privadas.

A pesar de que otras dimensiones, tales como: operación y mantenimiento ([52], [53]), entrenamiento de los operarios ([54]), tecnología empleada ([55]), etc., sean usadas en ciertos casos, es posible considerarlas como indicadores o sub-indicadores de las dimensiones ya mencionadas anteriormente. En el Anexo 5 se presenta una síntesis de los artículos analizados en relación con las dimensiones de sostenibilidad que se tienen en cuenta en marcos conceptuales y evaluaciones propuestas para casos específicos.

2.1.4 Indicadores Debido a que hay varias interpretaciones de la palabra, resulta necesario establecer qué es un indicador. Los indicadores de sostenibilidad categorizan y cuantifican el impacto positivo o negativo de las acciones humanas sobre un sistema [56]. Tienen la capacidad de sintetizar, enfocar y condensar una

gran cantidad de información; medidos de manera continua permiten emitir un juicio del grado de sostenibilidad presente en un sistema [57].

En el contexto de esta investigación, se consideró como un indicador a cada una de las variables que se pueden evaluar para conocer la sostenibilidad de un sistema de abastecimiento rural. Los indicadores provienen del estudio de cada caso, de igual forma, se derivan de las dimensiones o factores de la sostenibilidad. Así mismo, cada indicador puede estar compuesto por sub-indicadores o criterios. Es importante resaltar que los criterios evaluados pueden variar en función de los objetivos planteados. Cada uno de los sub-indicadores o criterios es evaluado por medio de distintos instrumentos de recolección de información.

Como resultado de la revisión de literatura fue posible seleccionar indicadores relevantes para considerar en una valoración de la dimensión técnica de la sostenibilidad en acueductos rurales. La Tabla 3 presenta una compilación de estos indicadores.

Tabla 3. Indicadores relacionados con la dimensión técnica de la sostenibilidad en acueductos rurales

Indicador	Referencias
Disponibilidad de tecnología	[10],[53],[45],[16],[49],[47],[42],[51], [55]
Uso de partes locales en el sistema	[44],[53],[51],[55]
Tamaño del proyecto	[44],[46]
Presencia de partes complejas en el sistema	[10],[53]
Capacidad de expansión cuando la población aumente	[10],[43], [55]
Suministro del recurso de forma continua	[10],[11],[52],[53],[45],[43],[46],[49], [47],[48], [51],[55]
Entrenamiento de funcionarios	[12],[44],[52],[53],[48]
Soporte externo	[12],[52],[53],
Actividades de operación y mantenimiento continuas	[12],[44],[11],[52],[53],[43],[51],[55]
Compatibilidad con características geográficas	[11]
Cantidad de beneficiarios por fuente	[11]
Implementación según el diseño	[53]
Tiempo de vida del sistema	[42],[43]
Crecimiento poblacional	[46]
Distancia a la fuente	[47]
Caudal mínimo	[47]

Una síntesis de los indicadores encontrados por medio de la revisión de literatura para las otras dimensiones de la sostenibilidad puede ser encontrada en el Anexo 6.

2.2 EVALUACIÓN DE LA DIMENSIÓN TÉCNICA DE LA SOSTENIBILIDAD EN UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO RURAL EN ECOSISTEMA DE PÁRAMO

Con el fin de realizar una valoración de la dimensión técnica de la sostenibilidad en ecosistemas de páramo, se relacionó la información adquirida por medio de cada uno de los instrumentos de recolección de información empleados con los indicadores seleccionados a través de la revisión de literatura. A continuación, se describen los resultados de este análisis.

2.2.1 Características generales del caso de estudio La evaluación de la dimensión técnica de la sostenibilidad de un acueducto rural en ecosistema de páramo fue aplicada al caso de estudio del Acueducto Andes-El Progreso, localizado en el DMI Páramo de Berlín. El DMI Páramo de Berlín está ubicado al norte de la Cordillera Oriental de Colombia, comprende los departamentos de Santander (33.6%, municipio de Tona) y Norte de Santander (66.4%, municipios de Silos y Mutiscua). El municipio de Tona comprende el 33.57% del DMI, con una extensión de 14860 has. y una población de 2507 habitantes en el corregimiento de Berlín [58]. La comunidad beneficiaria del sistema en estudio está ubicada en el municipio de Tona, al sur del DMI como se muestra en el Anexo 7. El cultivo de la cebolla es la principal fuente de ingresos económicos para la población [13], y la región tiene dos temporadas lluviosas y dos temporadas secas. Los meses de mayor precipitación son mayo y octubre, mientras que la época más seca comprende los meses de diciembre y enero [59]. Se encontró que el 49% de los encuestados residía en viviendas propias, mientras que el 43% lo hacía en arriendo. Por lo general, los ocupantes de las viviendas arrendadas se encargan del cultivo de la cebolla y al final de cada periodo de cosecha las ganancias son divididas entre el propietario y el arrendatario. El 62% de los encuestados ha residido en el sector por más de 10 años, por lo que la gran mayoría pudo brindar información referente a la percepción que se tiene del recurso hídrico.

Es común suponer que aquel porcentaje de la población que vive en calidad de arrendatario se encuentra distante de los proyectos relacionados con el acueducto, pero en este caso no se puede demostrar un impacto negativo, pues el porcentaje de usuarios que no participa en este tipo de proyectos es igual tanto en propietarios como en arrendatarios. El bajo número de usuarios, si bien disminuye la presión sobre los recursos hídricos disponibles, es un desafío en términos de las economías de escala necesarias para mantener un sistema de este tipo.

A continuación, se presenta la clasificación de la información recolectada sobre el sistema Los Andes-El Progreso, en relación con cada uno de los indicadores de sostenibilidad para la dimensión técnica expuestos en la sección 3.1.4.

2.2.2 Tamaño del proyecto Tal como puede observarse en el mapa social construido con la comunidad en el Anexo 8, el sistema abastece aproximadamente a 85 usuarios, distribuidos en cuatro sectores a lo largo del territorio. La zona cuenta con una densidad poblacional de 4 habitantes por vivienda, indicando un número aproximado de 340 habitantes actualmente.

2.2.3 Distancia a la fuente La estructura de captación se encuentra ubicada sobre las coordenadas $7^{\circ}6.456'$ N y $72^{\circ}55.848'$ O. Consiste en una bocatoma de fondo con un muro La Figura 1 ilustra la estructura de captación existente en la vereda “El Progreso”.

Para llegar al sitio de captación es necesario caminar desde el sector 4 (señalado en el Mapa social) una distancia de aproximadamente 3km. Durante el recorrido es necesario atravesar diferentes predios, taludes con inclinaciones considerables y fuentes de agua como nacimientos y pozos. Adicionalmente existe una manguera de 2” instalada artesanalmente que capta agua directamente del nacimiento (unos metros más arriba de la estructura de captación) hasta el tanque, sin pasar por el desarenador.

Figura 1. Estructura de captación



Debido a que cada vivienda cuenta con su propia conexión al sistema de abastecimiento y sólo es necesario desplazarse a la estructura de captación con el fin de realizar actividades de mantenimiento, la distancia a la fuente no representa un problema para la comunidad. Además, un gran porcentaje de la comunidad se encuentra en condiciones de realizar este recorrido.

2.2.4 Disponibilidad de tecnología y uso de partes locales en el sistema Debido a que la comunidad optó por trabajar por su propia cuenta, es posible observar obras artesanales presentes a lo largo del sistema de abastecimiento, las cuales se describen a continuación. Como se mencionó anteriormente, la comunidad realizó una conexión adicional unos metros más arriba de la estructura de captación. Esta consiste en una manguera de 2" que capta agua directamente desde el nacimiento. Esta conexión fue necesaria debido a que el caudal captado por medio de la estructura de captación (1.25 L/s) no era suficiente para suplir la demanda de la comunidad. La fotografía de la conexión adicional puede ser observada en la Figura 2. Las fugas existentes en el sistema de conducción son controladas por medio de uniones con nudos artesanales realizados con un material elástico, tal como puede observarse en la Figura 3.

El 43% de los encuestados afirmó que la rotura o desconexión de la tubería es el problema más frecuente en el sistema de abastecimiento, por lo que es común

encontrar este tipo de arreglos a lo largo del sistema de distribución. El sistema cuenta con una válvula de ventosa usada para evacuar aire; esta se encuentra en las coordenadas 7°6.912'O y 72°55.827'O. La válvula está cubierta con una roca como medida de protección. Adicionalmente, la comunidad usa fragmentos de ramas para cubrir orificios usados para la evacuación de aire en las coordenadas 7°6.563'N y 72°55.821'O. El funcionamiento de las válvulas de ventosa de fabricación artesanal puede ser observado en la Figura 4.

Figura 2. Conexión adicional



Figura 3. Uniones artesanales



Figura 4. Ventosa artesanal



Efectivamente, la comunidad dispone de tecnología local que facilita la operación del sistema y reduce los costos necesarios para su O&M. Sin embargo, al mismo tiempo se expone a fallas técnicas y problemas de salud, pues no cuentan con un nivel de protección adecuado.

2.2.5 Presencia de partes complejas en el sistema Durante a la visita a la comunidad y la inspección técnica realizada no se evidenció la presencia de partes tecnológicas complejas en el sistema que puedan suponer mayores esfuerzos en actividades relacionadas con capacitación de funcionarios y O&M.

2.2.6 Caudal mínimo La estructura de captación no cuenta con un mecanismo que permita la regulación o medición del caudal captado, tales como vertederos, canaletas o caudalímetros. Tampoco existen registros hidrológicos, aforos o monitoreos realizados en la quebrada “Las Puentes”. La falta de infraestructura que permita hacer seguimiento a las condiciones de la oferta hídrica por parte de la comunidad limita la disponibilidad de información para la toma de decisiones asociadas al manejo del recurso.

2.2.7 Cantidad de beneficiarios por fuente La mayoría de los habitantes de la vereda “El Progreso” se abastece de la quebrada denominada “Las Puentes”. El sistema está compuesto por una estructura de captación, un desarenador y una red de tuberías de PVC y manguera que se encargan de suministrar el recurso hasta las viviendas. Anteriormente, cuando el sistema de acueducto no se encontraba en funcionamiento, los usuarios poseían conexiones individuales por medio de manguera, provenientes de diversas fuentes (quebradas, nacimientos y pozos). Estas conexiones aún son conservadas por los usuarios y suelen ser usadas junto con el agua proveniente del sistema de acueducto. La existencia de diversas fuentes de abastecimiento y el pequeño tamaño de la población no suponen un problema relacionado con la escasez del recurso, que si puede ser asociada con problemas técnicos en los componentes del sistema.

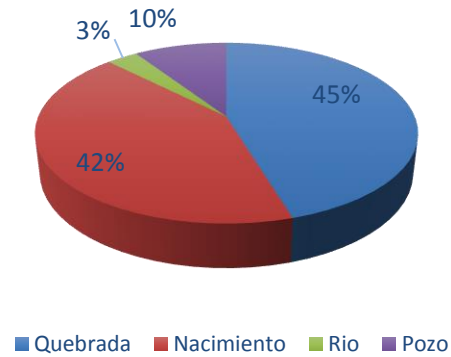
La Gráfica 1 muestra la proporción en la que otras fuentes de agua son usadas por los habitantes del sector. Al preguntar a los encuestados por los usos del agua y su respectiva fuente, se evidenció que el sistema de acueducto predominaba en las labores domésticas, mientras que otras fuentes como la quebrada o nacimientos predominaban en el sector agropecuario. Vale la pena resaltar que ningún usuario afirmó usar el agua proveniente del acueducto con fines agrícolas, pero sí que otros residentes del sector lo hacían. Se entiende que la falta de aceptación de los usos productivos del acueducto se debe a que estos generalmente no son aceptados por la reglamentación o las instituciones. Sin embargo, esta falta de reconocimiento por parte de la propia comunidad usuaria y administradora del sistema puede conllevar a problemas de índole técnica (subdimensionamiento de la infraestructura); administrativa (falta de acuerdo y regulación interna sobre los usos aceptados del recurso); y ambiental (uso del recurso más allá de la oferta disponible); entre otros.

2.2.8 Tiempo de vida del sistema El sistema lleva en funcionamiento aproximadamente 5 años, y según miembros que suelen participar en proyectos relacionados con el agua, las estructuras fueron construidas por el municipio, más nunca se entregó a la comunidad un sistema funcional con conexiones individuales a los usuarios. Fueron los habitantes del sector los encargados de terminar la construcción y la puesta en marcha del sistema. Durante la inspección técnica realizada se evidenció deterioro de varios componentes del sistema de abastecimiento, como el desarenador y el tanque de abastecimiento. Esto aunado al hecho de que el sistema se encuentra subdimensionado indica que es muy probable que los componentes no cumplan con el periodo de diseño estipulado en la normativa colombiana.

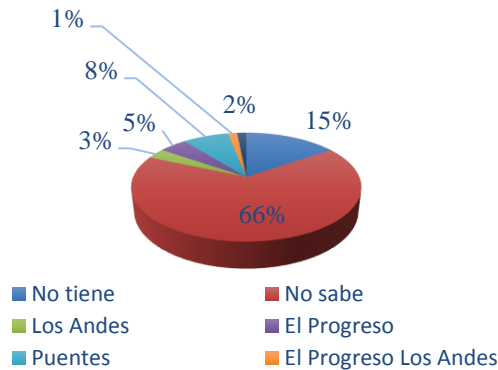
El 66% de los encuestados desconoce el nombre del sistema de abastecimiento, tal como se puede observar en la Gráfica 2, mientras que el 77% no sabe quién definió las características (ubicación, diseño, etc.) del mismo. Como se mencionó en 3.2.2,

es posible asociar el poco conocimiento sobre el origen del acueducto con el hecho de que una gran cantidad de habitantes del sector no es propietaria de los predios.

Gráfica 1. Fuentes de agua usadas



Gráfica 2. Nombre del sistema de abastecimiento



2.2.9 Soporte externo Como se mencionó en la sección anterior, la comunidad fue la encargada de realizar las conexiones domiciliarias sin ningún tipo de apoyo externo por parte de una entidad pública o privada. Al preguntar a los encuestados si creían que podrían mejorar las características del sistema de abastecimiento, únicamente el 37% se mostró a favor de trabajar con la ayuda de una institución externa. El motivo del poco interés por la mayoría de los miembros de la comunidad en trabajar con ayuda de una institución se debe a malas experiencias en la realización de proyectos en el pasado, generalmente, por incumplimiento de los

acuerdos pactados. Este hecho ha generado cierta desconfianza con las entidades gubernamentales y por tal motivo la comunidad prefiere trabajar sin este tipo de apoyo.

Para poder dar solución a varios de los problemas identificados en la inspección técnica se requiere la intervención de una entidad que financie el proyecto y suministre asistencia técnica, pues la comunidad no dispone del conocimiento ni del capital económico necesario para asumir los gastos. Por ende, la ausencia del soporte externo tiene un impacto negativo en la dimensión técnica de la sostenibilidad.

2.2.10 Crecimiento poblacional No se encontraron registros de censo en el corregimiento de Berlín, por lo que se optó por usar las proyecciones del DANE para la población rural del municipio de Tona [60]. Por medio del método geométrico [61] se logró estimar una tasa de crecimiento anual de 0.53%, que representa un incremento a 399 habitantes para el 2042, teniendo en cuenta un periodo de 25 años que corresponde al nivel de complejidad bajo.

2.2.11 Capacidad de expansión cuando la población aumente Al momento de realizar la inspección técnica, la estructura de captación tomaba un caudal de 1.25 L/s. Sin embargo, este caudal no resultó suficiente para las necesidades de la comunidad, por lo que se optó por captar 1.18 L/s adicionales por medio de la manguera instalada directamente en el nacimiento de agua. Es posible deducir que la infraestructura se encuentra subdimensionada para los usos actuales debido a que la lámina de agua rebosa constantemente por el muro superior del desarenador. Por lo tanto, el sistema actual no cuenta con la capacidad para expandirse cuando la población aumente.

Debido a que no existe un canal de excesos que se encargue de distribuir nuevamente el caudal sobrante a la fuente, la lámina de agua rebosa sobre el muro

superior de la cámara de salida. Como puede apreciarse en la Figura 5, el flujo constante de agua sobre el desarenador produce daños en la cimentación de la estructura.

2.2.12 Compatibilidad con características geográficas Durante el recorrido se evidenció que la mayor parte de la red estaba ubicada sobre el nivel de la rasante. En algunos tramos la comunidad decidió levantar la tubería, de tal forma que existen pasos aéreos de aproximadamente 10m de longitud en los que la tubería no cuenta con ningún apoyo o algún mecanismo para garantizar su estabilidad. Según miembros de la comunidad, estas medidas fueron necesarias ya que originalmente existían errores en el diseño que no permitían la distribución del agua. Uno de estos pasos aéreos puede ser observado en la Figura 6. De igual forma es posible observar en la Figura 7 que la red pasa por el pie de taludes, que, aunque no han sido previamente analizados para conocer su estabilidad, suponen un riesgo en temporada de lluvia, ya que la tubería está expuesta a deslizamientos y a la caída de material rocoso.

Figura 5. Desarenador



Figura 6. Paso aéreo



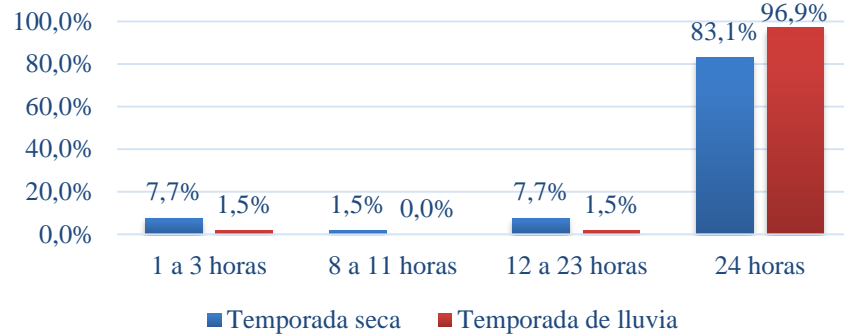
Figura 7. Red sobre talud



Se puede evidenciar a simple vista que el trazado de la red no es compatible con las características geográficas. El colapso de una tubería puede ocasionar la suspensión del suministro por un periodo considerable de tiempo y esto también involucraría la inversión de capital en reparaciones, poniendo en peligro la sostenibilidad del sistema.

2.2.13 Suministro del recurso de forma continua El 89% de los encuestados afirmó que recibía el servicio de acueducto de manera continua durante todo el año. Sin embargo, existen diferencias en la temporada seca y la temporada de lluvia, tal como puede apreciarse en la Gráfica 3.

Gráfica 3. Disponibilidad de agua en temporada seca y de lluvias



A pesar de que el caudal captado por la comunidad sea mucho mayor al establecido en el RAS, existe una disminución en el porcentaje de usuarios que cuenta con el servicio de acueducto durante las 24 horas en temporada seca en comparación con la temporada de lluvia.

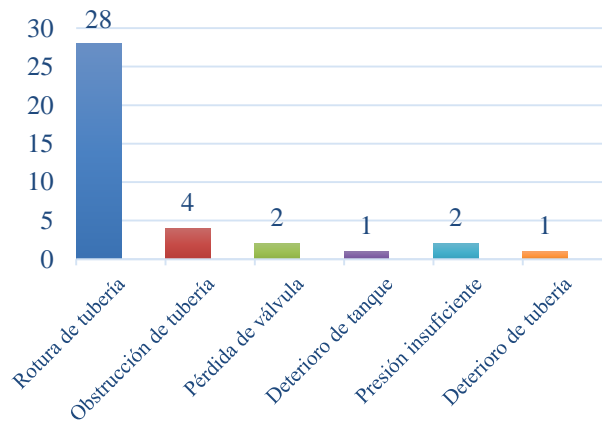
De igual manera, el 17% de los encuestados manifestó que la cantidad de agua proveniente del acueducto no era suficiente para satisfacer sus necesidades. Este porcentaje corresponde a usuarios que tienen problemas debido a la temporada seca o ubicación de sus viviendas. Como consecuencia de este déficit, estos usuarios recurren a usar otras fuentes de agua (quebradas o nacimientos en la mayoría de los casos) para satisfacer sus necesidades.

2.2.14 Actividades de operación y mantenimiento continuas El 34% de los encuestados manifestó que no conocía que tipo de actividades de O&M necesarias para mantener el sistema en un estado óptimo, y, por lo tanto, tampoco estaban pendientes de quién realizaba estas actividades. Miembros de la comunidad interesados en proyectos relacionados con el acueducto aseguraron que se realiza lavado del tanque y desarenador generalmente una vez al mes, aunque la frecuencia puede variar según la intensidad de las lluvias. Estas actividades son realizadas por varios miembros de la comunidad, según su disponibilidad de tiempo, es decir, no existe una única persona o grupo encargado de la operación y el

mantenimiento del sistema. Todos los encuestados se encuentran a favor de la participación de las mujeres en proyectos relacionados con el acueducto, según estos, las mujeres se encargan de divulgar información, recaudar fondos, participar en reuniones y realizar inspección en la red de distribución.

Al preguntar por las fallas más frecuentes en el sistema de abastecimiento, 28 usuarios reportaron daños y rotura de tubería. Este tipo de problema puede asociarse con el hecho de que la tubería se encuentra sobre el nivel de la rasante, expuesta al paso de animales, el trabajo de los agricultores y el medio ambiente. Adicionalmente, el 31% de los encuestados afirmó tener problemas con la presión del agua en sus viviendas, generalmente en temporada seca, manifestando que esta era insuficiente para sus necesidades.

Gráfica 4. Fallas en el sistema



La Gráfica 4 expone el número de veces que diferentes problemas fueron reportados por los usuarios al preguntar si existían fallas en el sistema de abastecimiento.

A pesar de los problemas existentes, el 60% de los usuarios que reportaron fallas manifestó que generalmente no hay que esperar más de un día para que el

problema se solucione y el sistema vuelva a funcionar en condiciones adecuadas. Esto supone un impacto positivo para la comunidad.

2.2.15 Entrenamiento de funcionarios Como se mencionó anteriormente, las actividades de O&M están a cargo de los miembros de la comunidad, quienes no reciben capacitación por parte de una institución, ya sea pública o privada. Tan solo el 20% de los encuestados no estaría dispuesto a realizar actividades de O&M en caso de que sea necesario. Generalmente, este porcentaje de la comunidad argumenta que no tiene suficiente tiempo, es mayor de edad, y en algunas ocasiones, simplemente no muestra interés por el sistema.

Debido a que se trata de un sistema relativamente sencillo con uso de partes locales, no es necesario realizar un entrenamiento complejo, este puede estar a cargo de los miembros de la comunidad más experimentados e involucrados con el acueducto, por lo que no tiene mayor impacto en la sostenibilidad del sistema.

2.3 FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORA

Con las estrategias de mejora se busca que la comunidad logre prevenir problemas, generalmente de salud y de carácter técnico, que amenacen con la estabilidad del sistema. Aunque en un escenario ideal la identificación y priorización de amenazas debe ser un producto proveniente de la discusión del diagnóstico del sistema de abastecimiento con la comunidad [22], el alcance de este trabajo de grado de pregrado no incluyó esa componente y se ha hecho según el criterio del autor. Sin embargo, como parte del proyecto de investigación general del que hace parte esta pasantía, los resultados de la valoración técnica serán discutidos con la comunidad beneficiaria del sistema Los Andes-El Progreso. A continuación, se plantea la identificación de estrategias de mejora planteadas por el autor que parte de la identificación y priorización de amenazas que se sintetiza a continuación.

2.3.1 Identificación de amenazas Con el fin de determinar las falencias y las amenazas existentes en el sistema de almacenamiento, la Tabla 4 presenta una comparación entre el estado actual de los componentes del acueducto con la normativa vigente. Así mismo, en el Anexo 9 se incluyen los formatos de evaluación de riesgo de la OMS diligenciados con la información específica del acueducto los Andes-El Progreso.

Tabla 4. Comparativa entre el estado actual del sistema de abastecimiento y la normativa vigente

Componente	Estado	Normativa
Captación	Existe una conexión con manguera (D=2") entre la fuente y el tanque de almacenamiento. Además, la cámara de recolección cuenta con un orificio que permite la entrada de agua sin pasar por la rejilla de captación.	<i>“Deben determinarse medios para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños.” (RAS, Título B, p. 65)</i>
	La estructura captaba un caudal de 1.25 L/s. Sin embargo, este caudal no resultó suficiente para las necesidades de la comunidad, por lo que se optó por captar 1.18 L/s adicionales por medio de la manguera (D=2").	<i>“La capacidad de la estructura de toma debe ser hasta de dos veces el caudal máximo diario, 0.67 L/s (calculado a partir de una dotación neta de 90 L/hab*días)” (RAS, Título B, p. 67)</i>
	Presencia de cercas en territorios de propietarios de tierras cercanas a la captación, sin embargo, no se garantiza el cerramiento de la estructura en sí.	<i>“La zona de la bocatoma debe disponer de los medios de protección y cercado para evitar la entrada de personas y animales extraños.” (RAS, Título B, p. 66)</i>
	Aunque no exista una región habitada, se evidenció la presencia de excretas animales cerca de la zona de captación.	<i>“El lugar de emplazamiento de las obras de captación debe estar suficientemente alejado de toda fuente de</i>

Componente	Estado	Normativa
		<i>contaminación.</i> " (RAS, Título B, p. 65)
	No existe un método que permita regular o medir el caudal captado.	<i>"La estructura de captación debe contar con un mecanismo que permita la regulación y medición de caudales (vertederos, caudalímetros, etc.)."</i> (RAS, Título J, p. 59)
	El ancho de la rejilla es de 20 cm y su longitud es de 28 cm. Los barrotes son de 5/8", con una separación de 0.6 cm.	<i>"El ancho mínimo de la rejilla es de 40 cm y el largo mínimo de 70 cm, pues permiten facilitar actividades de operación y mantenimiento. La separación entre barrotes debe ser de 5 a 10 cm, con diámetros de 1/2", 3/4" ó 1"."</i> (López Cualla, p. 83)
	La cámara de recolección tiene unas dimensiones de 50 cm x50 cm con un muro de espesor de 14 cm. No cuenta con vertedero de excesos ni una tapa en la parte superior.	<i>"La cámara de recolección debe tener unas dimensiones mínimas de 1m, debe contar con un vertedero de excesos que entregue el agua nuevamente al cauce del río y debe existir una tapa en la parte superior."</i> (López Cualla, p. 84)
Desarenador	El caudal de trabajo del desarenador es mucho mayor al de diseño.	<i>"Cada desarenador debe tener una capacidad hidráulica igual al Caudal Máximo Diario."</i> (RAS, Título B, p. 83)
	La cámara de aquietamiento no cuenta con un canal de excesos.	<i>"Debe existir un canal de excesos que se encargue de distribuir nuevamente el</i>

Componente	Estado	Normativa
		<i>caudal sobrante a la fuente.” (López Cualla, p. 154)</i>
	El borde superior del desarenador se ubica al nivel de la rasante, lo que facilita la entrada de sedimentos y materiales ajenos durante la temporada de lluvia.	<i>“El sitio escogido debe proporcionar suficiente seguridad a la estructura y no debe presentar riesgo de inundaciones en los períodos de invierno.” (RAS, Título B, p. 83)</i>
	No existe estructura que permita el paso directo mientras se ejecutan labores de operación y mantenimiento, salvo una manguera de 2" de diámetro que capta agua directamente de la quebrada (sin pasar por la rejilla de captación) hasta el tanque de almacenamiento.	<i>“Para el caso de los niveles de complejidad del sistema bajo y medio, cuando se haga uso de estructuras de desarenación, estas pueden estar compuestas por un solo desarenador, acompañado de un canal o estructura para el paso directo del agua mientras se ejecutan labores de operación y mantenimiento en la estructura de desarenación.” (RAS, Título B, p. 83)</i>
	Debido al flujo continuo de agua, existen barras de acero a la vista con muestras de corrosión. La cimentación de la estructura también presenta irregularidades.	<i>“La estructura debe ser estable para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto del sistema de acueducto.” (RAS, Título B, p. 64)</i>
	El desarenador posee dimensiones de 4.95 m x1.55 m	<i>“El largo debe ser como mínimo 4 veces el ancho.” (RAS, Título B, p.85)</i>

Componente	Estado	Normativa
	<p>La estructura cuenta con una pantalla superior en la entrada, pero no en la salida. No cuenta con tapa en la cámara de salida.</p>	<p><i>“La estructura debe contar con una pantalla superior tanto en la entrada como la salida. Además, la cámara de salida debe estar completamente tapada para evitar contaminación.”</i> (López Cualla, p. 154)</p>
<p>Tanque de almacenamiento</p>	<p>El tanque posee cubierta, sin embargo, se evidencia la presencia de excretas animales en esta.</p>	<p><i>“Si el tanque es enterrado o semienterrado, debe estar alejado de cualquier fuente de contaminación posible, tales como depósitos de basura, líneas de alcantarillado, pozos sépticos, etc.; en todos los casos el tanque debe tener cubierta.”</i> (RAS, Título B, p. 388)</p>
	<p>Las tapas de acceso al tanque se encuentran deterioradas.</p>	<p><i>“La estructura debe ser estable para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto del sistema de acueducto.”</i> (RAS, Título B, p. 389)</p>
	<p>La tubería de paso directo se encuentra rota.</p>	<p><i>“Para el nivel de complejidad del sistema bajo y cuando el tanque tenga un solo compartimiento debe colocarse una tubería de paso directo (by pass) que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del tanque”.</i> (RAS, Título B, p. 389)</p>

Componente	Estado	Normativa
Conducción y aducción	<p>En la mayor parte del trazado, la tubería se encuentra a la vista, por lo general, sobre el nivel de la rasante y expuesta a contaminación y animales.</p>	<p><i>“La profundidad mínima a la cual deben instalarse las tuberías de la red de distribución no debe ser menor de 1.0 m, medido desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno. En casos críticos puede instalarse a una profundidad de 0.6m, realizando el respectivo análisis estructural. “</i> (Resolución 1096 de 2000)</p>
	<p>La tubería de aducción se encuentra por arriba del nivel de la rasante, apoyada en un punto por medio de un apoyo artesanal en concreto.</p>	<p><i>“Cuando por la naturaleza del terreno o por otras razones sea necesario poner la tubería muy próxima a la superficie, deben preverse los elementos de protección que aseguren que la misma no estará sometida a esfuerzos o deformaciones que puedan causar roturas o afectar el funcionamiento hidráulico normal de la tubería.”</i> (RAS, Título B, p. 159)</p>
	<p>Existen pasos aéreos donde se evidencian deflexiones significativas en la red de conducción.</p>	<p><i>“Todos los pasos sobre quebradas, ríos, canales, depresiones y otras estructuras, deben enterrarse hasta donde sea posible, con el fin de minimizar los pasos aéreos a los estrictamente necesarios.”</i> (RAS, Título B. p. 159)</p>

2.3.2 Priorización de amenazas A partir de la tabla comparativa realizada en la sección anterior y la valoración de los riesgos (Anexo 9) fue posible identificar eventos de riesgo que podrían afectar con la estabilidad del sistema, estos son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5. Eventos de riesgo

Evento	Nivel de riesgo	Requiere apoyo externo para la solución
Los animales pueden contaminar las estructuras del sistema de abastecimiento	Alto	No
Material extraño puede entrar por la estructura de captación	Alto	No
La estructura de captación se encuentra subdimensionada	Medio	Si
Material extraño puede entrar al desarenador	Alto	No
El desarenador está perdiendo estabilidad	Alto	Si
Errores en el diseño del desarenador	Alto	Si
Deterioro en la tapa y llave de paso del tanque	Medio	Si
La tubería se encuentra sobre el nivel de la rasante	Alto	Si

Debido a que el nivel de riesgo determinado para cada evento es de carácter subjetivo, el Anexo 10 contiene la justificación de la elección del determinado nivel en cada caso. Teniendo en cuenta que el apoyo externo no resulta viable en la actualidad, como criterio de selección se buscó dar prioridad a aquellos eventos que la comunidad pudiera tratar por su propia cuenta y presentaran niveles de riesgo alto. La Tabla 6 presenta las propuestas de estrategia de mejora para los eventos seleccionados.

Tabla 6. Propuesta de estrategias de mejora

Evento de riesgo	Acción a realizar	¿Quién?	¿Qué se necesita?	Plazo de ejecución
Los animales pueden contaminar las estructuras del sistema de abastecimiento	Se recomienda restringir el paso de animales a la estructura de captación, desarenador y tanque de almacenamiento. Para ello es posible cercar el territorio con postes de madera y alambre de púas, tal como se ha hecho en los predios de los agricultores de la región.	Tal como lo mencionó la comunidad en las encuestas, las actividades de O&M son realizadas por los mismos miembros de la comunidad, según la disponibilidad de su tiempo. Se recomienda crear un equipo de trabajo	Materiales (postes de madera, alambre), herramientas y disponibilidad de mano de obra. El 94% de los encuestados se mostró a favor de contribuir económicamente con el fin de mejorar las condiciones del sistema, por lo tanto, se podría crear un fondo destinado a esta actividad.	Debido a que se trata de un trabajo habitual en la comunidad, no hace falta entrenar funcionarios y los recursos pueden obtenerse fácilmente. Por lo tanto puede considerarse como una alternativa a corto plazo.
Material extraño puede entrar al desarenador	Para evitar que el desarenador se encuentre al mismo nivel de la rasante, se recomienda realizar un movimiento de tierra manual (excavación) al lado del muro lateral del desarenador.	que tenga la autoridad para mantener el orden y designar funciones a distintos miembros.	Herramientas y disponibilidad de mano de obra.	Ya que no es necesario capital económico para desarrollar esta alternativa, puede considerarse como una solución a corto plazo.
Material extraño puede entrar por la	El caudal captado es mucho mayor al establecido por el RAS,	Es necesario que toda la comunidad	La comunidad debe mostrar voluntad para	Es comprensible que la comunidad necesite un periodo

Evento de riesgo	Acción a realizar	¿Quién?	¿Qué se necesita?	Plazo de ejecución
estructura de captación	<p>pues existe una conexión con manguera directamente en el nacimiento. Se recomienda que la comunidad reconozca que tiene usos de agua especiales que requieren una mayor demanda. Esto podría lograrse mediante reuniones y talleres participativos donde los miembros de la comunidad tengan la posibilidad de presentar sus argumentos. De esta forma podría contemplarse el diseño de una estructura de captación segura para el caudal requerido.</p>	esté involucrada en el proceso.	mejorar las condiciones del sistema.	de tiempo para entender la situación y solucionar sus inquietudes. Por tal motivo se considera como una estrategia a mediano plazo.

3. CONCLUSIONES

La revisión de literatura es de gran utilidad para identificar dimensiones de sostenibilidad, así como los respectivos indicadores usados para evaluarla en sistemas de abastecimiento estudiados previamente. En esta investigación se identificaron cuatro dimensiones de la sostenibilidad (técnica, social, ambiental y económica) con potencial de ser aplicadas al caso de estudio. Cada proyecto es de carácter único, por lo que es posible ajustar y proponer indicadores nuevos para evaluar la sostenibilidad de un sistema con el fin de que este se adapte a las condiciones del caso de estudio y al marco legal del país. Es importante tener en cuenta que métodos de recolección de información como entrevistas o inspecciones técnicas reflejan la situación del sistema en un instante determinado, sin embargo, es posible que esta varíe con el paso del tiempo.

Es común que el acceso a información histórica y estadística no esté disponible en contextos rurales debido a la pequeña escala, falta de tecnología y recursos económicos. Es necesario que los mecanismos de recolección propuestos se adapten a los recursos y al tiempo disponible, pues existen técnicas de evaluación que superan el periodo disponible del estudio. Así mismo, es importante generar buenas relaciones con la comunidad, pues pueden existir conflictos con entidades institucionales y gubernamentales, por lo que la medición y recolección de la información pueden verse comprometidas. En este caso, actividades como la socialización de la investigación y la aprobación por parte de la comunidad, facilitaron el desarrollo de la investigación considerablemente.

A pesar de que se tiene la concepción de que el páramo es un ecosistema con abundancia de agua para toda la población, por medio del diagnóstico realizado es posible evidenciar que un porcentaje de usuarios no recibe el suministro del recurso

de manera continua a lo largo del año. Generalmente la interrupción del servicio ocurre durante la temporada seca, presuntamente por errores en el diseño de los componentes del sistema. No fue posible realizar un trazado de la red de distribución, pues las características geográficas no permitieron realizar un recorrido completo por esta y no se contaba con la tecnología necesaria para conocer sus dimensiones con precisión. Además, no existían planos en la comunidad de este diseño. Este hecho generó que no se pudieran identificar las causas de los problemas de presión reportados por algunos usuarios.

En este artículo la identificación de amenazas fue realizada por el autor y sólo se priorizaron aquellos eventos que pudieran ser tratados por medio de la comunidad sin ningún tipo de apoyo externo. Si se busca implementar esta metodología en otros casos de estudio, es conveniente realizar la identificación de amenazas en compañía de la comunidad, pues son ellos los encargados de la toma de decisiones. Si es posible trabajar con la ayuda de una entidad que financie el proyecto, es ideal contemplar todos los problemas posibles y priorizar aquellos que representen un mayor riesgo para la comunidad independientemente si requieran de apoyo externo o no.

Una vez se haya implementado la solución, es recomendable monitorear las condiciones del sistema de abastecimiento. Esto implica realizar revisiones periódicas para debatir aspectos relacionados con el funcionamiento, el grado de satisfacción de los usuarios y falencias en el diseño, administración y funcionamiento. La identificación de problemas en el sistema permite generar soluciones sostenibles. Además, la corrección de fallas en el proceso de selección de alternativas permite que este sea replicable con mayor facilidad en otros ecosistemas, siempre y cuando se realicen los ajustes correspondientes teniendo en cuenta las diferencias físicas de las regiones estudiadas.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Departamento Nacional de Planeación, “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Agenda de Desarrollo Post-2015 de la Organización de las Naciones Unidas,” *Decreto 0280 del 18 febrero 2015*, p. 78, 2015.
- [2] U. and WHO, “2015 Update and MDG Assessment,” 2015.
- [3] R. E. S. Bain, J. A. Wright, E. Christenson, and J. K. Bartram, “Rural: Urban inequalities in post 2015 targets and indicators for drinking-water,” *Sci. Total Environ.*, vol. 490, pp. 509–513, 2014.
- [4] I. D. Rivera and E. R. Oviedo-ocaña, “Service provision in rural water supplies : analysis of four community-based systems in Colombia,” vol. 3, pp. 117–140, 2016.
- [5] S. Smits, J. Rojas, and P. Tamayo, “The Impact of Support to Community-Based Rural Water Service Providers : Evidence from Colombia,” vol. 6, no. 3, pp. 384–404, 2013.
- [6] S. E. Dickson, C. J. Schuster-Wallace, and J. J. Newton, “Water Security Assessment Indicators: The Rural Context,” *Water Resour. Manag.*, vol. 30, no. 5, pp. 1567–1604, 2016.
- [7] MINVIVIENDA, *TÍTULO J Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural*. 2010.
- [8] Ministerio de Vivienda, “Conpes 3810-2014,” pp. 1–46, 2014.

- [9] Procuraduría, “El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo,” *La infancia, el agua y el Saneam. básico en los planes Desarro. Dep. y Munic.*, pp. 31–56, 2006.
- [10] R. Barnes and N. Ashbolt, “Development of a Planning Framework for Sustainable Rural Water Supply and Sanitation: A Case Study of a Filipino NGO,” *Int. Stud. Manag. Organ.*, vol. 40, no. 3, pp. 78–98, 2010.
- [11] M. Garfi, L. Ferrer-Martí, A. Bonoli, and S. Tondelli, “Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil,” *J. Environ. Manage.*, vol. 92, no. 3, pp. 665–675, 2011.
- [12] F. O. E. Silva, T. Heikkila, F. de A. de Souza Filho, and D. C. da Silva, “Developing sustainable and replicable water supply systems in rural communities in Brazil,” *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 29, no. 4, pp. 1–14, 2012.
- [13] J. Restrepo, C. A. Suárez, and M. Y. Álvarez, “Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales ‘Páramo de Berlín,’” *Corporación Autónoma Reg. Para La Def. La Meseta Bucaramanga.*, p. 103, 2008.
- [14] M. Cabrera and W. Ramirez, *Restauración ecológica de los páramos de colombia: Transformación y herramientas para su conservación.* 2014.
- [15] S. S. Motevallian, M. Tabesh, and A. Roozbahani, “Sustainability assessment of urban water systems: a case study,” *Proc. Inst. Civ. Eng. Sustain.*, vol. 167, no. 4, pp. 157–169, 2014.

- [16] X. Z. Liyin Shen, Yuzhe Wu, “Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 142, no. June, pp. 441–451, 2011.
- [17] D. Hellström, U. Jeppsson, and E. Kärrman, “A framework for systems analysis of sustainable urban water management,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 20, no. 3, pp. 311–321, 2000.
- [18] F. Geilfus, *80 HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO PARTICIPATIVO*. 2009.
- [19] WHO, “Water safety in distribution systems,” p. 157, 2014.
- [20] WHO, “Fact Sheet 2.1: Sanitary inspections,” p. 19.
- [21] R. A. L. Cualla, *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. 2000.
- [22] WHO, “Water Safety Planning for Small Community Water Supplies.”
- [23] Mays, L. *Water Resources Sustainability*; McGraw-Hill Professional: New York, NY, USA, 2006.
- [24] L. Rondi, S. Sorlini, and M. C. Collivignarelli, “Sustainability of water safety plans developed in Sub-Saharan Africa,” *Sustain.*, vol. 7, no. 8, pp. 11139–11159, 2015.
- [25] H. Haider, R. Sadiq, and S. Tesfamariam, “Performance indicators for small- and medium-sized water supply systems: a review,” *Environ. Rev.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–40, 2014.

- [26] M. (Oecd) Linster, "OECD Environmental Indicators: development, measurement and use," *SNUC - Sist. Nac. Unidades Conserv.*, vol. 25, no. 0, p. 37, 2003.
- [27] EEA, "Environmental indicators: Typology and overview," *Eur. Environ. Agency*, vol. 25, no. 25, p. 19, 1999.
- [28] E. Ostrom, "A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems," *Science (80-.)*, vol. 325, no. 5, pp. 64–67, 2009.
- [29] J. Kammerbauer, B. Cordoba, R. Escolan, S. Flores, V. Ramirez, and J. Zeledon, "Identification of development indicators in tropical mountainous regions and some implications for natural resource policy designs: an integrated community case study," *Ecol. Econ.*, vol. 36, no. 1, pp. 45–60, 2001.
- [30] P. Merot, P. Arousseau, C. Gascuel-Oudou, and P. Durand, "Innovative Assessment Tools to Improve Water Quality and Watershed Management in Farming Areas," *Integr. Environ. Assess. Manag.*, vol. 5, no. 1, p. 158, 2009.
- [31] Z. Liu, "Systematic Analysis of Rural Safe Drinking Water based on PSR Model in China," *J. Converg. Inf. Technol.*, vol. 7, no. 15, pp. 169–175, 2012.
- [32] P. F. Boulos, B. W. Karney, D. J. Wood, and S. Lingireddy, "Hydraulic transient guidelines for protecting water distribution systems," *J. / Am. Water Work. Assoc.*, vol. 97, no. 5, pp. 111–124, 2005.
- [33] R. Bär, E. Rouholahnejad, K. Rahman, K. C. Abbaspour, and A. Lehmann, "Climate change and agricultural water resources: A vulnerability assessment of the Black Sea catchment," *Environ. Sci. Policy*, vol. 46, pp. 57–69, 2015.

- [34] N. T. Skoulikidis, "The environmental state of rivers in the Balkans-A review within the DPSIR framework," *Sci. Total Environ.*, vol. 407, no. 8, pp. 2501–2516, 2009.
- [35] S. Sun *et al.*, "Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework," *J. Hydrol.*, vol. 532, no. November 2015, pp. 140–148, 2016.
- [36] M. Starkl, N. Brunner, E. López, and J. L. Martínez-Ruiz, "A planning-oriented sustainability assessment framework for peri-urban water management in developing countries," *Water Res.*, vol. 47, no. 20, pp. 7175–7183, 2013.
- [37] X. Song and B. Frostell, "The DPSIR framework and a pressure-oriented water quality monitoring approach to ecological river restoration," *Water (Switzerland)*, vol. 4, no. 3, pp. 670–682, 2012.
- [38] R. Pinto, V. N. de Jonge, J. M. Neto, T. Domingos, J. C. Marques, and J. Patrício, "Towards a DPSIR driven integration of ecological value, water uses and ecosystem services for estuarine systems," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 72, no. January 2011, pp. 64–79, 2013.
- [39] M. Cox, "Applying a Social-Ecological System Framework to the Study of the Taos Valley Irrigation System," *Hum. Ecol.*, vol. 42, no. 2, pp. 311–324, 2014.
- [40] R. Madrigal-Ballesteros, F. Alpízar, and A. Schlüter, "Public perceptions of the performance of community-based drinking water organizations in Costa Rica," *Water Resour. Rural Dev.*, vol. 1–2, pp. 43–56, 2013.

- [41] T. Foster and R. Hope, "A multi-decadal and social-ecological systems analysis of community waterpoint payment behaviours in rural Kenya," *J. Rural Stud.*, vol. 47, Part A, pp. 85–96, 2016.
- [42] E. E. Science, "Adapting Life-Cycle Thinking Tools to Evaluate Project Sustainability in International Water and Adapting Life-Cycle Thinking Tools to Evaluate Project," no. November, 2016.
- [43] S. A. Jones and C. Silva, "A practical method to evaluate the sustainability of rural water and sanitation infrastructure systems in developing countries," *Desalination*, vol. 248, no. 1–3, pp. 500–509, Nov. 2009.
- [44] M. Garfi and L. Ferrer-Martí, "Decision-making criteria and indicators for water and sanitation projects in developing countries," *Water Sci. Technol.*, vol. 64, no. 1, p. 83, 2011.
- [45] R. Dayal, C. Van Wijk, and N. Mukherjee, "Methodology for Participatory Assessments with Communities, Institutions and Policy Makers," p. 113, 2000.
- [46] S. A. Jones, K. L. Sanford Bernhardt, M. Kennedy, K. Lantz, and T. Holden, "Collecting critical data to assess the sustainability of rural infrastructure in low-income countries," *Sustain.*, vol. 5, no. 11, pp. 4870–4888, 2013.
- [47] B. Majuru, P. Jagals, and P. R. Hunter, "Assessing rural small community water supply in Limpopo, South Africa: Water service benchmarks and reliability," *Sci. Total Environ.*, vol. 435–436, pp. 479–486, 2012.
- [48] G. Peter and S. E. Nkambule, "Factors affecting sustainability of rural water schemes in Swaziland," *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, vol. 50–52, pp. 196–204, 2012.

- [49] K. Neely and J. P. Walters, "Using causal loop diagramming to explore the drivers of the sustained functionality of rural water services in Timor-Leste," *Sustain.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–18, 2016.
- [50] J. P. Walters and P. S. Chinowsky, "Planning rural water services in Nicaragua: A systems-based analysis of impact factors using graphical modeling," *Environ. Sci. Policy*, vol. 57, pp. 93–100, 2016.
- [51] J. P. Walters and A. N. Javernick-Will, "Long-term functionality of rural water services in developing countries: A system dynamics approach to understanding the dynamic interaction of factors," *Environ. Sci. Technol.*, no. January 2016, p. 150316125549003, 2015.
- [52] J. Kwangware, A. Mayo, and Z. Hoko, "Sustainability of donor-funded rural water supply and sanitation projects in Mbire district, Zimbabwe," *Phys. Chem. Earth*, vol. 76–78, pp. 134–139, 2014.
- [53] J. de Kruijf, "Sustainability of Rural Water Supply Systems Assessment of gravity water systems implemented by Plan Cameroon in the Northwest Province of Cameroon," no. August, 2005.
- [54] H. A. Beyene, "Factors Affecting The Sustainability of Rural Water Supply Systems: The Case of Mecha Woreda, Amhara Region, Ethiopia," no. January, p. 64, 2012.
- [55] A. Tafara, "Factors Influencing Sustainability of Rural Community Based Water Projects In Mtito Andei, Kibwezi Sub-County, Kenya," *Interdiscip. J. Contemp. Res. Bus.*, vol. 2, no. 3, pp. 74–79, 2013.

- [56] J. C. Little, E. T. Hester, and C. C. Carey, "Assessing and Enhancing Environmental Sustainability: A Conceptual Review," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, no. 13, pp. 6830–6845, 2016.
- [57] R. K. Singh, H. R. Murty, S. K. Gupta, and A. K. Dikshit, "An overview of sustainability assessment methodologies," *Ecol. Indic.*, vol. 9, no. 2, pp. 189–212, 2009.
- [58] E. Z. Carlos Suárez, Ricardo Villalba, Hisnardo López, Jorge Restrepo, Emiliano Ardila, Juan Gualdrón, "CONSERVACIÓN Y MANEJO SOSTENIBLE DEL PÁRAMO DE BERLÍN – UNIDAD BIOGEOGRÁFICA DE SANTURBÁN, MEDIANTE LA DECLARATORIA DE UN ÁREA DE MANEJO ESPECIAL."
- [59] I. Insitituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales, "Precipitación Estación Berlín."
- [60] D. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, "Estimaciones y proyecciones de población 1985 - 2020." .
- [61] MINVIVIENDA, *TÍTULO B Sistemas de Acueducto*. 2016, p. 480.

BIBLIOGRAFÍA

BAIN R. E. S., WRIGHT J. A., CHRISTENSON E., and BARTRAM J. K., "Rural: Urban inequalities in post 2015 targets and indicators for drinking-water," *Sci. Total Environ.*, vol. 490, pp. 509–513, 2014.

BÄR R., ROUHOLAHNEJAD E., RAHMAN K., ABBASPOUR K. C., and LEHMANN A., "Climate change and agricultural water resources: A vulnerability assessment of the Black Sea catchment," *Environ. Sci. Policy*, vol. 46, pp. 57–69, 2015.

BARNES R. and ASHBOLT N., "Development of a Planning Framework for Sustainable Rural Water Supply and Sanitation: A Case Study of a Filipino NGO," *Int. Stud. Manag. Organ.*, vol. 40, no. 3, pp. 78–98, 2010.

BEYENE H. A., "Factors Affecting The Sustainability of Rural Water Supply Systems: The Case of Mecha Woreda, Amhara Region, Ethiopia," no. January, p. 64, 2012.

BOULOS P. F., KARNEY B. W., WOOD D. J., and LINGIREDDY S., "Hydraulic transient guidelines for protecting water distribution systems," *J. / Am. Water Work. Assoc.*, vol. 97, no. 5, pp. 111–124, 2005.

CABRERA M. and RAMIREZ W., *Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación*. 2014.

COX M., "Applying a Social-Ecological System Framework to the Study of the Taos Valley Irrigation System," *Hum. Ecol.*, vol. 42, no. 2, pp. 311–324, 2014.

CUALLA R. A. L., *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. 2000.

DAYAL R., VAN WIJK C., and MUKHERJEE N., "Methodology for Participatory Assessments with Communities, Institutions and Policy Makers," p. 113, 2000.

DE KRUIJF J., "Sustainability of Rural Water Supply Systems Assessment of gravity water systems implemented by Plan Cameroon in the Northwest Province of Cameroon," no. August, 2005.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, "Estimaciones y proyecciones de población 1985 - 2020."

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, "Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Agenda de Desarrollo Post-2015 de la Organización de las Naciones Unidas," Decreto 0280 del 18 febrero 2015, p. 78, 2015.

DICKSON S. E., SCHUSTER-WALLACE C. J., and NEWTON J. J., "Water Security Assessment Indicators: The Rural Context," *Water Resour. Manag.*, vol. 30, no. 5, pp. 1567–1604, 2016.

EEA, "Environmental indicators : Typology and overview," *Eur. Environ. Agency*, vol. 25, no. 25, p. 19, 1999.

FOSTER T. and HOPE R., "A multi-decadal and social-ecological systems analysis of community waterpoint payment behaviours in rural Kenya," *J. Rural Stud.*, vol. 47, Part A, pp. 85–96, 2016.

GARFÌ M. and FERRER-MARTÍ L., "Decision-making criteria and indicators for water and sanitation projects in developing countries," *Water Sci. Technol.*, vol. 64, no. 1, p. 83, 2011.

GARFÌ M., FERRER-MARTÍ L., BONOLI A., and TONDELLI S., “Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil,” *J. Environ. Manage.*, vol. 92, no. 3, pp. 665–675, 2011.

GEILFUS F., 80 HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO PARTICIPATIVO. 2009.

HAIDER H., SADIQ R., and TESHAMARIAM S., “Performance indicators for small- and medium-sized water supply systems: a review,” *Environ. Rev.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–40, 2014.

HELLSTRÖM D., JEPPSSON U., and KÄRRMAN E., “A framework for systems analysis of sustainable urban water management,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 20, no. 3, pp. 311–321, 2000.

INSITITUTO DE HIDROLOGÍA, *Metereología y Estudios Ambientales*, “Precipitación Estación Berlín.”

JONES S. A. and SILVA C., “A practical method to evaluate the sustainability of rural water and sanitation infrastructure systems in developing countries,” *Desalination*, vol. 248, no. 1–3, pp. 500–509, Nov. 2009.

JONES S. A., SANFORD BERNHARDT K. L., KENNEDY M., LANTZ K., and HOLDEN T., “Collecting critical data to assess the sustainability of rural infrastructure in low-income countries,” *Sustain.*, vol. 5, no. 11, pp. 4870–4888, 2013.

KAMMERBAUER J., CORDOBA B., ESCOLAN R., FLORES S., RAMIREZ V., and ZELEDON J., “Identification of development indicators in tropical mountainous

regions and some implications for natural resource policy designs: an integrated community case study,” *Ecol. Econ.*, vol. 36, no. 1, pp. 45–60, 2001.

KWANGWARE J., MAYO A., and HOKO Z., “Sustainability of donor-funded rural water supply and sanitation projects in Mbire district, Zimbabwe,” *Phys. Chem. Earth*, vol. 76–78, pp. 134–139, 2014.

LINSTER M. (Oecd), “OECD Environmental Indicators: development, measurement and use,” *SNUC - Sist. Nac. Unidades Conserv.*, vol. 25, no. 0, p. 37, 2003.

LITTLE J. C., HESTER E. T., and CAREY C. C., “Assessing and Enhancing Environmental Sustainability: A Conceptual Review,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, no. 13, pp. 6830–6845, 2016.

LIU Z., “Systematic Analysis of Rural Safe Drinking Water based on PSR Model in China,” *J. Converg. Inf. Technol.*, vol. 7, no. 15, pp. 169–175, 2012.

LIYIN X. Z. Shen, Yuzhe Wu, “Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 142, no. June, pp. 441–451, 2011.

MADRIGAL-BALLESTERO R., ALPÍZAR F., and SCHLÜTER A., “Public perceptions of the performance of community-based drinking water organizations in Costa Rica,” *Water Resour. Rural Dev.*, vol. 1–2, pp. 43–56, 2013.

MAJURU B., JAGALS P., and HUNTER P. R., “Assessing rural small community water supply in Limpopo, South Africa: Water service benchmarks and reliability,” *Sci. Total Environ.*, vol. 435–436, pp. 479–486, 2012.

MAYS, L. *Water Resources Sustainability*; McGraw-Hill Professional: New York, NY, USA, 2006.

MEROT P., AUROUSSEAU P., GASCUEL-ODOUX C., and DURAND P., “Innovative Assessment Tools to Improve Water Quality and Watershed Management in Farming Areas,” *Integr. Environ. Assess. Manag.*, vol. 5, no. 1, p. 158, 2009.

MINISTERIO DE VIVIENDA, “Conpes 3810-2014,” pp. 1–46, 2014.

MINVIVIENDA, TÍTULO B Sistemas de Acueducto. 2016, p. 480.

MINVIVIENDA, TÍTULO J Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural. 2010.

MOTEVALLIAN S. S., TABESH M., and ROOZBAHANI A., “Sustainability assessment of urban water systems: a case study,” *Proc. Inst. Civ. Eng. Sustain.*, vol. 167, no. 4, pp. 157–169, 2014.

NEELY K. and WALTERS J. P., “Using causal loop diagramming to explore the drivers of the sustained functionality of rural water services in Timor-Leste,” *Sustain.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–18, 2016.

OSTROM E., “A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems,” *Science (80)*, vol. 325, no. 5, pp. 64–67, 2009.

PETER G. and NKAMBULE S. E., “Factors affecting sustainability of rural water schemes in Swaziland,” *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, vol. 50–52, pp. 196–204, 2012.

PINTO R., DE JONGE V. N., NETO J. M., DOMINGOS T., MARQUES J. C., and PATRÍCIO J., “Towards a DPSIR driven integration of ecological value, water uses and ecosystem services for estuarine systems,” *Ocean Coast. Manag.*, vol. 72, no. January 2011, pp. 64–79, 2013.

PROCURADURÍA, “El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo,” *La infancia, el agua y el Saneam. básico en los planes Desarro. Dep. y Munic.*, pp. 31–56, 2006.

RESTREPO J., SUÁREZ C. A., and ÁLVAREZ M. Y., “Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado de los recursos naturales ‘Páramo de Berlín,’” *Corporación Autónoma Reg. Para La Def. La Meseta Bucaramanga.*, p. 103, 2008.

RIVERA I. D. and OVIEDO-OCAÑA E. R., “Service provision in rural water supplies : analysis of four community-based systems in Colombia,” vol. 3, pp. 117–140, 2016.

RONDI L., SORLINI S., and COLLIVIGNARELLI M. C., “Sustainability of water safety plans developed in Sub-Saharan Africa,” *Sustain.*, vol. 7, no. 8, pp. 11139–11159, 2015.

SCIENCE E. E., “Adapting Life-Cycle Thinking Tools to Evaluate Project Sustainability in International Water and Adapting Life-Cycle Thinking Tools to Evaluate Project,” no. November, 2016.

SILVA F. O. E., HEIKKILA T., DE SOUZA F. de A. Filho, and DA SILVA D. C., “Developing sustainable and replicable water supply systems in rural communities in Brazil,” *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 29, no. 4, pp. 1–14, 2012.

SINGH R. K., MURTY H. R., GUPTA S. K., and DIKSHIT A. K., “An overview of sustainability assessment methodologies,” *Ecol. Indic.*, vol. 9, no. 2, pp. 189–212, 2009.

SKOULIKIDIS N. T., “The environmental state of rivers in the Balkans-A review within the DPSIR framework,” *Sci. Total Environ.*, vol. 407, no. 8, pp. 2501–2516, 2009.

SMITS S., ROJAS J., and TAMAYO P., “The Impact of Support to Community-Based Rural Water Service Providers: Evidence from Colombia,” vol. 6, no. 3, pp. 384–404, 2013.

SONG X. and FROSTELL B., “The DPSIR framework and a pressure-oriented water quality monitoring approach to ecological river restoration,” *Water (Switzerland)*, vol. 4, no. 3, pp. 670–682, 2012.

STARKL M., BRUNNER N., LÓPEZ E., and MARTÍNEZ J. RUIZ L., “A planning-oriented sustainability assessment framework for peri-urban water management in developing countries,” *Water Res.*, vol. 47, no. 20, pp. 7175–7183, 2013.

SUÁREZ E. Z. Carlos, VILLALBA Ricardo, LÓPEZ Hisnardo, RESTREPO Jorge, ARDILA Emiliano, GUALDRÓN Juan, “conservación y manejo sostenible del páramo de Berlín – unidad biogeográfica de Santurbán, mediante la declaratoria de un área de manejo especial.”

SUN S. et al., “Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework,” *J. Hydrol.*, vol. 532, no. November 2015, pp. 140–148, 2016.

TAFARA A., “Factors Influencing Sustainability of Rural Community Based Water Projects In Mtito Andei, Kibwezi Sub-County, Kenya,” *Interdiscip. J. Contemp. Res. Bus.*, vol. 2, no. 3, pp. 74–79, 2013.

WALTERS J. P. and CHINOWSKY P. S., “Planning rural water services in Nicaragua: A systems-based analysis of impact factors using graphical modeling,” *Environ. Sci. Policy*, vol. 57, pp. 93–100, 2016.

WALTERS J. P. and JAVERNICK-WILL A. N., “Long-term functionality of rural water services in developing countries: A system dynamics approach to understanding the dynamic interaction of factors,” *Environ. Sci. Technol.*, no. January 2016, p. 150316125549003, 2015.

WHO, “2015 Update and MDG Assessment,” 2015.

WHO, “Fact Sheet 2.1: Sanitary inspections,” p. 19.

WHO, “Water safety in distribution systems,” p. 157, 2014.

WHO, “Water Safety Planning for Small Community Water Supplies.”

ANEXOS

ANEXO A: Formato de ficha de resumen

Título:			
Autor:			
Año de publicación:		Revista:	
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?			
¿Qué indicadores utiliza?			
¿Cómo mide estos indicadores?			

ANEXO B: Formatos de inspección técnica

Todos los formatos incluidos en este anexo han sido tomados de la World Health Organization¹

CAPTACIÓN SUPERFICIAL	
Ubicación	
Fecha de inspección	
Muestra de agua	SI/NO
Grado de coliformes fecales	
DIAGNÓSTICO	
	RIESGO
Una población aguas arriba contamina la fuente	SI/NO
El ganado aguas arriba contamina la fuente	SI/NO
Cultivos aguas arriba contaminan la fuente	SI/NO
Existe riesgo de deslizamiento en el área de captación	SI/NO
Las instalaciones no están cercadas	SI/NO
La captación no está protegida por pantalla	SI/NO
El punto de abstracción carece de un método para garantizar la presión mínima	SI/NO
El sistema tiene un filtro de arena/grava	SI/NO
El filtro no funciona correctamente	SI/NO
El caudal no es controlado	SI/NO
Puntaje total de riesgo	/10
9-10: Muy alto, 6-8: Alto, 3-5: Medio, 0-2: Bajo	
<hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/>	

¹ WHO, "Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities," 2012.

DISTRIBUCIÓN CERRADA

Fecha de inspección	
Muestra de agua	SI/NO
Grado de coliformes fecales	-

DIAGNÓSTICO

	RIESGO
Existencia de fugas entre la fuente y el almacenamiento	SI/NO
Las tapas de las cámaras de quiebre son susceptibles a contaminación	SI/NO
La tapa del tanque de almacenamiento es susceptible a contaminación	SI/NO
La tubería de ventilación es susceptible a contaminación	SI/NO
Existen fugas en el tanque de almacenamiento	SI/NO
Existen fugas en el sistema de distribución (almacenamiento-puntos de abastecimiento)	SI/NO
Presencia de excretas cerca al punto de abastecimiento	SI/NO
La estructura del punto de abastecimiento está deteriorada	SI/NO
Contaminación debida al material de tubería	SI/NO
Existen fugas en las válvulas	SI/NO
Se tiene acceso a las válvulas	SI/NO

Puntaje total de riesgo	/11
-------------------------	-----

9-11: Muy alto, 6-8: Alto, 3-5: Medio, 0-2: Bajo

TIPO DE TRATAMIENTO	
Pantalla	SI/NO
Desarenador	SI/NO
Trampa de grasas	SI/NO
Pre-sedimentación	SI/NO
Pre-desinfección (Cloro/Ozono)	SI/NO
Carbón activado	SI/NO
Aireación	SI/NO
Coagulación y floculación	SI/NO
Sedimentación	SI/NO
Filtración	SI/NO
Desinfección	SI/NO

DESARENADOR	
Ubicación	
Fecha de inspección	
Muestra de agua	SI/NO
Grado de coliformes fecales	
DIAGNÓSTICO	RIESGO
Número de estructuras	
Frecuencia de vaciado	
Las instalaciones no están cercadas	SI/NO
Existe riesgo de deslizamiento en el área de sedimentación	SI/NO
No existe pantalla superior en la entrada y la salida	SI/NO
No existe tapa en la salida	SI/NO
El sistema no está diseñado para el caudal captado	SI/NO
Deterioro en la estructura	SI/NO
Puntaje total de riesgo	/6
5-6: Muy alto, 3-4: Alto, 1-2: Medio, 0: Bajo	

ALMACENAMIENTO	
Ubicación	
Fecha de inspección	
Muestra de agua	SI/NO
Grado de coliformes fecales	-
DIAGNÓSTICO	RIESGO
Número de tanques	
Capacidad del tanque	
Dimensiones	
Profundidad del agua en el tanque	
Distancia entre entrada y salida	
Presencia de deflectores deteriorados	SI/NO
Fugas en el tanque de almacenamiento	SI/NO
Existe riesgo de deslizamiento	SI/NO
Las instalaciones no están cercadas	SI/NO
Presencia de tapa deteriorada	SI/NO
Materiales ajenos en el tanque	SI/NO
La tubería de ventilación no está protegida	SI/NO
Puntaje total de riesgo	/7
6-7: Muy alto, 4-5: Alto, 2-3: Medio, 0-1: Bajo	

1.2 Conocimiento y percepción sobre el sistema							1.3 Usos del agua y el suelo															
1.2.14 ¿Por qué considera que la calidad de agua que recibe del acueducto en temporada lluviosa es _____							1.3.3 Usted posee (nombre los tipos de ganado e indague por escala y uso de agua)															
1.2.15 ¿Realiza un tratamiento al agua que recibe del acueducto antes de consumirla? (no leer opciones) a) Hierve el agua b) Filtra el agua c) Sedimenta el agua d) Purifica con cloro el agua e) Otro: _____ f) No sabe g) No realiza ningún tratamiento adicional							Animal	Presencia		No. de individuos	Fuente de agua usada para bebida *	Área	unidad									
								Si	No													
														Vacas								
														Caballos								
														Ovejas								
														Cabras								
														Cerdos								
1.2.16 ¿Conoce quién definió las características (localización, tipo, tamaño, etc.) del acueducto (no leer las opciones) a) La comunidad b) Los líderes de la comunidad c) El gobierno d) Una institución e) No sabe f) Otra: _____							1.2.17 ¿Conoce quién financió el proyecto del acueducto? (no leer las opciones) a) La comunidad b) Líderes de la comunidad c) El gobierno d) Una institución e) No sabe f) No sabe															
1.3 Usos del agua y el suelo							* Acueducto, lluvias, pozo, río, quebrada u otros															
1.3.1 Además del acueducto, ¿utiliza otras fuentes de agua en su predio? a) Si ¿Cuáles? (No leer opciones) b) No *Acueducto, lluvia, pozo, quebrada, otras: _____							1.3.4 Usted cultiva (nombre los tipos de cultivo e indague por escala y uso de agua)															
1.3.2 ¿Qué fuentes de agua usa para cada una de las siguientes actividades? Puede indicar más de una opción (no leer opciones)																						
Actividad	Fuente de agua						Tipo	Presencia		Cantidad	Área	unidad	Riego		Meses	Frecuencia	Duración	Fuente	Sistema de riego*			
	Acueducto	Lluvia	Pozo	Quebrada	Otra	N.A		Si	No				Si	No								
Ducha, lavado de manos y cuerpo																						
Preparación de alimentos																						
Aseo de la vivienda																						
Lavado de ropa																						
Riego																						
Bebida de animales																						
Bebida																						
Otro																						
							* a) Mateo; b) Rociadores; c) Goteo; d) Manguera; e) Gntas de exudación; f) Inundación; g) Motobomba; h) otro; i) no sabe															
							OBSERVACIONES:															

1.4 Participación	
1.4.1 ¿Usted o algún miembro de su familia ha participado en el desarrollo de proyectos relacionados con el agua? a) Si b) No Si la respuesta es sí, continúe con 1.4.2, de lo contrario vaya a 1.4.3	1.4.9 ¿Por qué le interesa? 1.4.10 ¿Por qué no le interesa?
1.4.2 ¿Cómo ha sido la participación? (no leer opciones) a) Contribuyendo económicamente b) Participando en reuniones con la comunidad c) Apoyando labores de operación y mantenimiento d) Trabajando con la ayuda de una institución o grupo de apoyo e) Otras: _____	1.5 Higiene y Salud
1.4.3 ¿La opinión de la comunidad es escuchada cuando hay algún problema con el suministro del agua? a) Si b) No Si la respuesta es no, continúe con 1.4.4, de lo contrario vaya a 1.4.5	1.5.1 ¿Se presentan problemas de salud relacionados con el agua usada para beber? a) Si b) No Si la respuesta es sí, continúe con 1.5.2, de lo contrario vaya a 1.5.6
1.4.4 ¿Por qué considera que la opinión de toda la comunidad no es escuchada?	1.5.2 ¿Cuáles son estos problemas?
1.4.5 ¿Existen mujeres en el grupo que se encarga del acueducto? a) Si b) No c) No sabe Si la respuesta es si, continúe con 1.4.6, de lo contrario vaya a 1.4.8	1.5.3 ¿Con qué frecuencia usted y su familia contraen este tipo de enfermedades? a) Rara vez b) Ocasionalmente c) Frecuentemente d) Casi siempre e) Siempre
1.4.6 ¿En qué tipo de actividades relacionadas con el acueducto participan las mujeres?	1.5.4 ¿A qué tipo de atención médica recurre en caso de una enfermedad? a) Centro clínico público b) Centro clínico privado c) Familiar o amigo d) Remedios caseros e) Ninguno
1.4.7 ¿Qué opina de la participación de las mujeres en los aspectos relacionados con el acueducto?	1.5.5 ¿Qué tanto afectan las enfermedades (relacionadas con el agua) sus actividades diarias y las de su familia? a) Nada b) Casi nada c) Poco d) Mucho
1.4.8 ¿Estaría interesado en participar en reuniones o talleres donde pueda conocer aspectos relacionados con el sistema de abastecimiento, opinar y plantear soluciones a los problemas existentes? a) Si b) No Si la respuesta es si, continúe con 1.4.9, de lo contrario vaya a 1.4.10	1.5.6 ¿Le preocupa la contaminación del agua del acueducto? a) Si b) No Si la respuesta es sí, continúe con 1.5.7 de lo contrario vaya a 1.5.8
OBSERVACIONES:	1.5.7 ¿Por qué le preocupa la contaminación del agua del acueducto? 1.5.8 ¿Por qué NO le preocupa la contaminación del agua del acueducto?
	1.5.9 ¿Qué tipo de manejo le da a las excretas? a) sanitario con descarga a alcantarillado b) sanitario con descarga a tanque séptico c) sanitario con descarga a drenaje natural d) letrina e) otro _____
	1.5.10 ¿Qué tipo de manejo le da a las aguas del provenientes de la ducha, lavado, y aseo de la vivienda? a) alcantarillado b) drenaje natural c) Tanque séptico d) otro _____

1.6 Operación y mantenimiento

1.6.1 ¿Se presentan fallas en el sistema de abastecimiento de agua?
a) Si b) No
Si la respuesta es sí, continúe con 1.6.2, de lo contrario vaya a 1.6.4

1.6.2 Por favor indique el tipo de falla y la frecuencia de ocurrencia

Falla	Frecuencia	Causa

1.6.3 ¿Cuánto tiempo hay que esperar para que se solucione una falla en el sistema de abastecimiento?

1.6.4 ¿Conoce qué tipo de actividades de mantenimiento se realizan en el sistema?

1.6.5 ¿Conoce quién se encarga del mantenimiento que se realiza en el sistema?

1.6.6 ¿Conoce con qué frecuencia se realizan actividades de mantenimiento en el sistema?

1.6.7 ¿Estaría dispuesto a realizar actividades de operación y mantenimiento si fuera necesario?
a) Si b) No
Si la respuesta es sí, continúe con 1.6.8, de lo contrario vaya a 1.6.10

1.6.8 Porqué estaría dispuesto a realizar actividades de operación y mantenimiento al sistema?

1.6.9 ¿Le gustaría recibir capacitación sobre operación y mantenimiento del acueducto?
a) Si b) No
Si la respuesta es sí, continúe con 1.6.11, de lo contrario vaya a 1.6.10

1.6.10 Porqué NO estaría dispuesto a realizar actividades de operación y mantenimiento al sistema?

1.6.11 ¿Cuántos tanques de almacenamiento de agua tiene en su vivienda y predio?
Si tiene al menos 1 tanque, continúe con 1.6.12, de lo contrario vaya a 1.6.13

1.6.12 Características del almacenamiento

Tanques	Capacidad	Fuente*	Usos**
1			
2			
3			
4			

* a) Acueducto b) Lluvia c) Pozo d) Quebrada e) Otras: _____
** a) Lavado de manos y cuerpo b) Aseo de la vivienda c) Preparación de alimentos
d) Riego e) Otros

1.6.13 ¿Tiene problemas de presión relacionados con el suministro de agua del acueducto ?
a) Si b) No
Si la respuesta es si, continúe con 1.6.14, de lo contrario vaya a 1.7

1.6.14 De qué tipo son los problemas de presión?

1.6.15 ¿Con qué frecuencia tiene problemas de presión ?
a) Rara vez b) Ocasionalmente c) Frecuentemente
d) Casi siempre e) Siempre

OBSERVACIONES

1.7 Administración	
<p>1.7.1 ¿Quién se encarga de las labores administrativas del sistema?</p> <p>a) La comunidad b) Los líderes de la comunidad c) El gobierno d) Una institución e) Otro: _____ f) No sabe</p>	<p>1.7.11 Considera que la tarifa debería ser:</p> <p>a) Única Valor: _____ b) Dependiendo del consumo</p>
<p>1.7.2 Usted ha participado en actividades relacionadas con la administración del acueducto?</p> <p>a) Si b) No</p> <p>Si la respuesta es si, continúe con 1.7.3, de lo contrario vaya a 1.7.4</p>	<p>1.7.12 Porque no estaría dispuesto a pagar una tarifa?</p>
<p>1.7.3 En qué tipo de actividades ha participado?</p>	1.8 Para finalizar
<p>1.7.4 Porque no ha participado en actividades relacionadas con la administración del acueducto?</p>	<p>1.8.1 ¿Ha tenido conflictos con otros miembros de la comunidad por el agua?</p> <p>a) Si b) No</p> <p>Si la respuesta es si, continúe con 1.8.2, de lo contrario vaya a 1.8.4</p>
<p>1.7.5 En el futuro, estaría dispuesto a participar en actividades relacionadas con la administración del sistema de acueducto?</p> <p>a) Si b) No</p> <p>Si la respuesta es si, continúe con 1.7.6, de lo contrario vaya a 1.7.8</p>	<p>1.8.2 ¿Por qué razón suele tener conflictos con otros miembros?</p>
<p>1.7.6 ¿Le gustaría recibir capacitación sobre aspectos administrativos del sistema de acueducto?</p> <p>a) Si b) No</p>	<p>1.8.3 ¿Con qué frecuencia suele tener conflictos?</p> <p>a) Rara vez b) Ocasionalmente c) Frecuentemente e) Siempre d) Casi siempre</p>
<p>1.7.7 Porque le gustaría o no recibir capacitación sobre la administración del acueducto?</p>	<p>1.8.4 ¿Está conforme con el actual sistema de abastecimiento?</p> <p>a) Si b) No</p> <p>Si la respuesta es no, continúe con 1.8.5, de lo contrario vaya a 1.8.6</p>
<p>1.7.8 ¿Paga alguna tarifa por el acueducto?</p> <p>a) Si b) No c) No sabe</p> <p>Si la respuesta es si, continúe con 1.7.10, de lo contrario vaya a 1.7.11</p>	<p>1.8.5 ¿Por qué no está conforme con el actual sistema de abastecimiento?</p>
<p>1.7.9 ¿Conoce en qué se invierten los recursos de la tarifa recaudada?</p> <p>a) Si: _____ b) No</p>	<p>1.8.6 ¿Ha participado en iniciativas para mejorar las condiciones del sistema de abastecimiento?</p> <p>a) Si b) No</p>
<p>1.7.10 ¿Si la comunidad se organizara para atender mejor las necesidades del sistema, usted estaría dispuesto a pagar una tarifa para recolectar los recursos que se necesitan para la operación, administración y mantenimiento del acueducto por parte de una organización constituida por miembros de la comunidad? ?</p> <p>a) Si b) No</p> <p>Si la respuesta es si, continúe con 1.7.12, de lo contrario vaya a 1.7.13</p>	<p>1.8.7 ¿Por qué no ha participado o no ha participado en iniciativas para mejorar el sistema?</p>
<p>OBSERVACIONES:</p>	<p>1.8.8 ¿De qué forma cree que puede contribuir para mejorar el sistema?</p> <p>a) Contribuyendo económicamente b) Participando en reuniones con la comunidad c) Apoyando labores de operación y mantenimiento d) Trabajando con la ayuda de una institución o grupo de apoyo e) Otras: _____ f) No cree que pueda contribuir a mejorar el sistema</p>

ANEXO D: Fichas de resumen de artículos revisados sobre metodologías y herramientas en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales

PRIMER ARTÍCULO

Título:	Development of a Planning Framework for Sustainable Rural Water Supply and Sanitation: A Case Study of a Filipino NGO ²		
Autor:	Barnes Rebecca, Ashbolt Nicholas		
Año de publicación:	2010	Revista:	International Studies of Management & Organization
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	El “Sustainability Framework” es un marco conceptual desarrollado por la Water Services Association of Australia (WSAA). Es usado en este caso de estudio para evaluar la sostenibilidad de diversos proyectos relacionados con el abastecimiento de agua en comunidades rurales filipinas. Como novedad, este método es usado por primera vez en un país en vía de desarrollo; debido a que no se contaba con suficiente información y con el tiempo necesario, fue modificado levemente.		
¿Qué indicadores utiliza?	El método considera aspectos ecológicos, económicos, técnicos, sociales y aspectos relacionados con la salud humana como áreas fundamentales de la sostenibilidad. Cada aspecto es representado por medio de diferentes criterios y cada criterio es evaluado cualitativamente, por lo que no resulta necesario indagar a fondo aspectos cuantitativos del sistema.		

² R. Barnes and N. Ashbolt, “Development of a Planning Framework for Sustainable Rural Water Supply and Sanitation: A Case Study of a Filipino NGO,” *Int. Stud. Manag. Organ.*, vol. 40, no. 3, pp. 78–98, 2010.

¿Cómo mide estos indicadores?	<p>Para identificar y medir los aspectos y criterios respectivamente, se establece una serie de pasos, donde predomina la participación y colaboración de la comunidad afectada. Es recomendable incluir mujeres, pues estas suelen interactuar más con la fuente hídrica durante las actividades del día. El siguiente paso es identificar problemas de la comunidad; es recomendable reunir información referente a la infraestructura de agua y sanidad existente, información de intentos previos de optimización del sistema, número de beneficiarios, usos del agua y cantidades requeridas, distribución de la población y mapas de la comunidad. Se sugiere realizar una lluvia de ideas para que la comunidad entienda su situación actual y el punto al que se quiere llegar. Es necesario establecer criterios fundamentales que deberían cumplirse con la solución elegida. Una vez la comunidad entienda su situación, es necesario elegir las opciones más llamativas y someterlas a una evaluación por medio de la calificación de criterios de forma cualitativa. Con una calificación preliminar de las diferentes opciones, se procede a cambiar las falencias de los sistemas por fortalezas. Luego, la comunidad debe elegir la mejor opción y establecer roles y responsabilidades para que la solución propuesta funcione de una manera adecuada.</p>
--------------------------------------	---

SEGUNDO ARTÍCULO

Título:	Developing sustainable and replicable water supply systems in rural communities in Brazil ³		
Autor:	da Silva Francisco Osny Enéas, Heikkila Tanya, de Souza Filho Francisco de Assis, da Silva Daniele Costa		
Año de publicación:	2012	Revista:	International Journal of Water Resources Development
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	El marco conceptual presentado fue implementado y probado en el estado de Ceará, ubicado en el noreste de Brasil. Esta región se caracteriza por ser semi-árida y una de las más pobres del territorio nacional, donde aproximadamente el 19% de la población rural del estado carece de acceso a una fuente potable de agua. Por medio de este caso de estudio se busca proveer un marco conceptual para evaluar la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales, así como un mecanismo que permita replicar el proceso bajo diferentes condiciones físicas y sociales.		
¿Qué indicadores utiliza?	El método establece tres dimensiones que afectan la sostenibilidad de un sistema de abastecimiento colectivo rural. Estas dimensiones son la social, la técnica/administrativa/financiera y la ambiental. Cuando las comunidades planean su sistema de abastecimiento hay más posibilidades de que sea sostenible. Sin embargo, esto no implica que los sectores privados y públicos no se puedan involucrar. También es importante que la comunidad cuente con capital social, que se define como un conjunto de normas de interacción entre los miembros de la comunidad. La capacidad técnica depende de la disponibilidad de equipos para operar el sistema, el personal que pueda ser entrenado y las normas establecidas de operación y mantenimiento. Finalmente, las consideraciones ambientales implican que el sistema propuesto		

³ F. O. E. Silva, T. Heikkila, F. de A. de Souza Filho, and D. C. da Silva, "Developing sustainable and replicable water supply systems in rural communities in Brazil," *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 29, no. 4, pp. 1–14, 2012.

	no contamine las fuentes hídricas cercanas y se adapte a las condiciones climáticas.
¿Cómo mide estos indicadores?	<p>Para proponer una solución sostenible al problema, el método sugiere realizar una encuesta para conocer los medios de abastecimiento de la comunidad, la efectividad de estos métodos y el interés en optimizar o cambiar el sistema actual. Esto acompañado de un diagnóstico físico de la región donde se evidencie la disponibilidad del recurso hídrico, la topografía, el estado actual de las vías y la propiedad de las tierras. También se recomienda realizar encuestas para conocer el grado de “capital social” de la población. El siguiente paso es analizar diferentes especificaciones de diseño y debatir distintas opciones, teniendo en cuenta costos y procedimientos de operación y mantenimiento. Cuando la comunidad haya seleccionado la opción más adecuada, se procede a establecer reglas y protocolos para administrar y financiar el sistema. Es necesario capacitar a la población en procesos relacionados con la operación y mantenimiento para que la solución propuesta sea sostenible. Una vez implementado, es fundamental realizar revisiones periódicas para debatir el funcionamiento, el grado de satisfacción de los usuarios y falencias en el apartado técnico que se puedan presentar.</p>

TERCER ARTÍCULO

Título:	Adapting Life-Cycle Thinking Tools to Evaluate Project Sustainability in International Water and Sanitation Development ⁴		
Autor:	McConville Jennifer R., Mihelcic James R.		
Año de publicación:	2007	Revista:	Environmental Engineering Science
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Los autores proponen un marco conceptual que relaciona los conceptos de sostenibilidad y el análisis de ciclo de vida por medio de una matriz con el fin de medir la efectividad y la viabilidad de diferentes proyectos de abastecimiento rurales. Esta matriz es puesta a prueba evaluando un sistema de abastecimiento ubicado en Mali, donde el 52% de la población carece de un sistema de abastecimiento sostenible.		
¿Qué indicadores utiliza?	El método identifica cinco factores de sostenibilidad, de los cuales 3 son considerados factores sociales. Estos son: respeto sociocultural, participación de la comunidad y cohesión política. Además, tiene en cuenta la sostenibilidad económica y ambiental. El objetivo de este marco conceptual es ayudar a la toma de decisiones al momento de elegir un diseño y servir como una herramienta para monitorear y solucionar problemas de sostenibilidad.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Este marco conceptual consiste en la elaboración de una matriz que relaciona los factores de sostenibilidad en columnas y las fases de un proyecto de aguas (identificadas en este artículo como: evaluación de necesidades, diseño conceptual, diseño y planeación, implementación y operación y mantenimiento) en las filas. Como resultado se obtiene una matriz [5x5] con 25 elementos. Cada uno de estos elementos viene acompañado de una serie de preguntas proporcionadas por los autores con el fin de poder generar una calificación cuantitativa para cada elemento. Esta calificación tiene un rango de 0 a 4, siendo 0 la peor calificación y 4 la mejor. Se procede a realizar la suma de los puntajes obtenidos en cada fila y en cada columna. Esto permite tener un puntaje para cada factor de sostenibilidad, así como para cada etapa del proyecto. Con esta calificación es posible generar un balance que permite identificar puntos que requieren más atención, así como fortalezas del sistema.		

⁴ E. E. Science, "Adapting Life-Cycle Thinking Tools to Evaluate Project Sustainability in International Water and Adapting Life-Cycle Thinking Tools to Evaluate Project," November, 2016.

CUARTO ARTÍCULO

Título:	Decision-making criteria and indicators for water and sanitation projects in developing countries ⁵		
Autor:	Garfí Anna, Ferrer Laia		
Año de publicación:	2011	Revista:	Water Science & Technology
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	El artículo presenta un marco conceptual basado en múltiples criterios para evaluar la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales en países en desarrollo. Esto permite que pueda adaptarse a cada problema. Genera calificaciones cuantitativas y cualitativas, por lo cual no es indispensable conocer información muy detallada del caso de estudio. Este marco conceptual no es aplicado en un caso específico durante el desarrollo del artículo.		
¿Qué indicadores utiliza?	Los autores tienen en cuenta criterios técnicos, sociales, económicos y ambientales para evaluar la sostenibilidad de cada sistema. Es importante resaltar que el método no considera criterios institucionales, pues generalmente las entidades institucionales no están presentes en proyectos de pequeña escala en comunidades rurales en países en desarrollo. Sin embargo, en caso de que existan instituciones vinculadas al proyecto, es fundamental evaluar aspectos institucionales, pues estos juegan un papel muy importante en la sostenibilidad del sistema a analizar.		
¿Cómo mide estos indicadores?	El análisis de múltiples criterios considera cinco fases en el proceso de evaluación de sostenibilidad de un sistema: 1) Planteamiento de objetivos, 2) Proposición de alternativas, 3) Comparación de alternativas por medio de una serie de criterios, 4) Asignación de peso o jerarquía a cada criterio, 5) Evaluación de alternativas por medio de una serie de indicadores derivados de cada criterio. Esta última puede ser realizada de forma cuantitativa o cualitativa. Para esto, el		

⁵ M. Garfi and L. Ferrer-Martí, "Decision-making criteria and indicators for water and sanitation projects in developing countries," *Water Sci. Technol.*, vol. 64, no. 1, p. 83, 2011.

método propone una escala de puntajes que varía entre -2 y 2, siendo -2 el puntaje más bajo y 2 el más alto. Además, los autores proporcionan diversos indicadores pertenecientes a criterios generales que deben ser tenidos en cuenta en todo proyecto, así como ejemplos de casos de estudio y metodologías empleadas para evaluar estos indicadores.

Como complemento, se proporcionan valores de referencia de la calidad, uso y distribución que debe tener el agua para que la solución propuesta pueda considerarse viable. Sin embargo, en caso de que alguna entidad nacional haya establecido otros valores de referencia, estos deben ser usados con el fin de adaptarse al marco legal de cada país.

QUINTO ARTÍCULO

Título:	Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil ⁶		
Autor:	Garfí Anna, Ferrer Laia, Bonoli Alessandra, Tondelli Simona		
Año de publicación:	2010	Revista:	Journal of Environmental Management
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Los autores emplean un proceso analítico jerárquico para hacer una evaluación estratégica ambiental que garantice la sostenibilidad del sistema estudiado. Este marco conceptual es aplicado para comparar y monitorear la sostenibilidad de dos soluciones planteadas a un problema de abastecimiento en el valle de Jequitinhonha, una de las regiones más pobres de Brasil.		
¿Qué indicadores utiliza?	El método tiene en cuenta criterios generales (técnicos, sociales, ambientales y económicos) y criterios específicos relacionados directamente con el abastecimiento del recurso hídrico. Los indicadores usados para evaluar estos criterios proceden del análisis de literatura y recomendaciones establecidas por organizaciones internacionales. Es importante socializar estos criterios e indicadores con la población afectada, pues la comunidad debe estar presente en todos los pasos de este proceso.		
¿Cómo mide estos indicadores?	El primer paso para desarrollar una evaluación estratégica ambiental consiste en generar un contexto de la situación actual. Para esto, es necesario identificar los objetivos y realizar un estudio de la comunidad afectada. El estudio provee información relacionada con el ambiente, la disponibilidad de recursos, la calidad de vida de la población y otros aspectos ambientales, técnicos, sociales y económicos relevantes. La información puede ser obtenida por medio de entrevistas a la		

⁶ M. Garfí, L. Ferrer-Martí, A. Bonoli, and S. Tondelli, "Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil," *J. Environ. Manage.*, vol. 92, no. 3, pp. 665–675, 2011.

comunidad, estudios de universidades o agencias públicas y gubernamentales. La lista de criterios a evaluar proviene de descomponer una meta o punto al que se quiere llegar en diferentes subfactores. El siguiente paso es comparar cada uno de los criterios obtenidos para conocer su jerarquía o peso, según su nivel de importancia y el impacto que este tenga en la solución final. Una vez hecho esto, se procede a dar una calificación a cada uno de los criterios establecidos; en este artículo se propone un rango que varía de -2 a 2, siendo -2 el puntaje asignado a un criterio si este tiene un impacto muy negativo y 2 el puntaje asignado si el criterio tiene un impacto muy positivo. Finalmente se hace la suma de los puntajes obtenidos, la solución con el mayor puntaje acumulado será considerada como la más viable. Así mismo, es posible identificar falencias en los sistemas mediante el análisis de criterios que hayan obtenido calificaciones muy bajas.

SEXTO ARTÍCULO

Título:	A framework for systems analysis of sustainable urban water management ⁷		
Autor:	Hellstrom Daniel, Jeppsson Ulf, Karrman Erik		
Año de publicación:	2000	Revista:	Environmental Impact Assessment Review
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	<p>Se desarrolla un marco conceptual que permite evaluar la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento urbanos. A pesar de que el enfoque en esta revisión consiste en el estudio de sistemas rurales, el marco aporta indicadores que pueden resultar útiles para la evaluación del caso de interés. Antes de realizar cualquier evaluación, resulta necesario definir un concepto de sostenibilidad, así como una serie de objetivos. Este método identifica como objetivos principales de la sostenibilidad:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Generar un ambiente no tóxico 2. Mejorar condiciones de salud e higiene 3. Ahorrar recursos humanos 4. Conservar recursos naturales 5. Ahorrar recursos financieros 		
¿Qué indicadores utiliza?	<p>Para la evaluación de la sostenibilidad del sistema, se proponen cinco categorías principales (salud e higiene, social y cultural, ambiental, económica, técnica y funcional). Cada una de estas categorías se divide en subcategorías y finalmente, para cada subcategoría se proponen diversos indicadores usados para evaluar la sostenibilidad del sistema.</p>		
¿Cómo mide estos indicadores?	<p>El método propone diferentes mecanismos para evaluar los indicadores que considera más importantes. Algunos son la evaluación de riesgos microbiológicos, evaluación de ciclo de vida, análisis de costo-beneficio y análisis de riesgo funcional. Los autores reconocen que es necesario desarrollar mejores métodos para evaluar aspectos socio-culturales. Finalmente, los resultados de dichas evaluaciones son comparados con valores de referencia para conocer qué aspectos se encuentran en un estado crítico y necesitan ser improvisados.</p>		

⁷ D. Hellström, U. Jeppsson, and E. Kärrman, "A framework for systems analysis of sustainable urban water management," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 20, no. 3, pp. 311–321, 2000.

SÉPTIMO ARTÍCULO

Título:	Sustainability of donor-funded rural water supply and sanitation projects in Mbire district, Zimbabwe ⁸		
Autor:	Johnson Kwangware, Mayo Aloyce, Hoko Zvikomborero		
Año de publicación:	2014	Revista:	Physics and Chemistry of the Earth
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Los autores emplean el Marco Analítico de Sostenibilidad para evaluarla en una serie de proyectos implementados por organizaciones humanitarias en comunidades pobres rurales en el distrito de Mbire, Zimbabwe. Esta región geográfica se caracteriza por tener una temperatura media anual de 25 grados y escasez del recurso hídrico.		
¿Qué indicadores utiliza?	El método reconoce cinco dimensiones clave de la sostenibilidad. Estos son: administración financiera, prácticas de operación y mantenimiento, satisfacción de los beneficiarios, condiciones físicas del sistema y por último, voluntad para sostenerse en el tiempo.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Cada indicador es evaluado por un grupo de ocho a veinte preguntas, cada una de ellas evaluada con una escala que varía entre cero y dos puntos. El puntaje final para cada indicador se calcula combinando estos puntajes y convirtiéndolos a un puntaje en una escala de diez puntos, teniendo en cuenta que cada indicador puede tener un peso diferente en el puntaje final. Es necesario resaltar que algunos indicadores, como la satisfacción de los beneficiarios, obtendrán calificaciones subjetivas, con potencial de variar en el tiempo. Para recolectar la información necesaria para evaluar los indicadores es posible recurrir a encuestas, discusiones grupales, observaciones de campo, entrevistas a encargados de la prestación del servicio, análisis de la calidad del agua y opiniones de expertos.		

⁸ J. Kwangware, A. Mayo, and Z. Hoko, "Sustainability of donor-funded rural water supply and sanitation projects in Mbire district, Zimbabwe," *Phys. Chem. Earth*, vol. 76–78, pp. 134–139, 2014.

OCTAVO ARTÍCULO

Título:	Sustainability of Rural Water Supply Systems: Assessment of gravity water systems implemented by Plan Cameroon in the Northwest Province of Cameroon ⁹		
Autor:	Joanne de Kruijf		
Año de publicación:	2005	Revista:	Plan Cameroon, University of Twente
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	La autora plantea dos marcos conceptuales para evaluar la sostenibilidad de proyectos de abastecimiento en comunidades rurales. Uno se encarga de evaluar el rendimiento de las instalaciones existentes y el otro el enfoque usado para implementar el proyecto. Dos comunidades son sometidas a la evaluación por medio de los marcos propuestos. Una de estas cuenta con un sistema de abastecimiento diseñado con el enfoque clásico mientras la otra cuenta con un sistema que funciona por medio de la participación de la comunidad afectada.		
¿Qué indicadores utiliza?	Para evaluar el rendimiento de las instalaciones existentes se proponen tres indicadores (operación, mantenimiento y administración). Así mismo, para evaluar el enfoque usado para implementar el proyecto se proponen otros seis indicadores (tecnología, participación, entrenamiento, necesidad del sistema, recuperación de costos y apoyo en las actividades de OyM)		
¿Cómo mide estos indicadores?	Es necesario obtener información general del proyecto y de las características de la comunidad. Para esto, cada indicador se divide en sub-indicadores y cada sub-indicador en sub-sub-indicadores. Por medio de una serie de encuestas realizadas a los miembros de la comunidad y encargados del proyecto, cada sub-sub-indicador es evaluado con un porcentaje entre cero y cien, donde cien hace referencia a un elemento que funciona muy bien o con una muy buena percepción. El promedio de la		

⁹ J. de Kruijf, "Sustainability of Rural Water Supply Systems Assessment of gravity water systems implemented by Plan Cameroon in the Northwest Province of Cameroon," August, 2005.

evaluación de los sub-sub-indicadores genera un puntaje para cada sub-indicador y el promedio del puntaje de los sub-indicadores permite conocer un puntaje para cada indicador. Este puntaje facilita la identificación de falencias y aspectos por mejorar en cada uno de los aspectos de sostenibilidad tenidos en cuenta por este marco conceptual.

NOVENO ARTÍCULO

Título:	Factors affecting the sustainability of rural water supply systems: the case of Mecha Woreda, Amhara region, Ethiopia ¹⁰		
Autor:	Habtamu Addis Beyene		
Año de publicación:	2012	Revista:	Cornell University
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	El autor divide los factores determinantes de la sostenibilidad en dos grupos: factores previos a la implementación y factores posteriores a la implementación. Con estos factores realiza la evaluación de la sostenibilidad en Mecha Woreda, una región ubicada a 500km de la capital de Etiopía. En este proyecto se seleccionaron 8 sistemas en funcionamiento y 8 que en ese instante no estaban funcionando.		
¿Qué indicadores utiliza?	Algunos indicadores correspondientes a la fase previa de la implementación son: participación de la comunidad, selección de la tecnología, selección del sitio de implementación, calidad de la construcción, población y entrenamiento. Por otra parte, indicadores correspondientes a la fase posterior a la implementación son: soporte técnico, satisfacción de la comunidad, administración financiera e institucional y voluntad para sostenerse en el tiempo.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Los indicadores propuestos anteriormente fueron evaluados por medio de cuestionarios que incluían preguntas relacionadas con la contribución de la comunidad, la participación de las mujeres, factores técnicos, financieros, ambientales, de salud e higiene, entre otros. De esta forma miembros de la comunidad, expertos y miembros del comité de abastecimiento formaban parte del estudio. También se realizaron visitas e inspecciones técnicas para conocer el estado actual y las condiciones de funcionamiento del sistema en estudio. De igual forma se realizaron charlas informales con miembros de la comunidad para conocer la percepción existente del sistema.		

¹⁰ H. A. Beyene, "Factors Affecting The Sustainability of Rural Water Supply Systems: The Case of Mecha Woreda, Amhara Region, Ethiopia," January, p. 64, 2012.

DÉCIMO ARTÍCULO

Título:	Methodology for Participatory Assessments with Communities, Institutions and Policy Makers. Linking Sustainability with Demand, Gender and Poverty ¹¹		
Autor:	Dayal Rekha, van Wijk Christine, Mukherjee Nilanjana		
Año de publicación:	2000	Revista:	IRC International Water and Sanitation Centre
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	El “Metguide” es una guía que se basa en la metodología de evaluación participativa para evaluar la sostenibilidad de un sistema de abastecimiento rural, no sólo en la fase posterior a la construcción, sino también durante su diseño. Este marco conceptual analiza la situación en dos periodos que considera muy importantes. El primero corresponde a la situación en el momento de establecimiento de los sistemas mientras el segundo estudia la situación de procesos que ya han estado funcionando por un periodo de tiempo.		
¿Qué indicadores utiliza?	El método propone diferentes indicadores necesarios a tener en cuenta en proyectos de abastecimiento de agua. Para garantizar que el sistema sea sostenible hay que garantizar que este sea financiado, construido y administrado de forma sostenible. Para garantizar que el uso sea efectivo resulta necesario evaluar la demanda de los usuarios y el impacto que esta tiene en el ambiente. También es indispensable saber el grado de participación de la comunidad durante cada fase del proyecto y que el recurso sea distribuido de forma equitativo. Hay una mayor probabilidad de que el sistema sea sostenible si su diseño, construcción y funcionamiento se rigen por una serie de normas institucionales, por tal motivo, también resulta indispensable conocer los parámetros tenidos en cuenta para las fases mencionadas anteriormente.		

¹¹ R. Dayal, C. Van Wijk, and N. Mukherjee, “Methodology for Participatory Assessments with Communities, Institutions and Policy Makers,” p. 113, 2000.

¿Cómo mide estos indicadores?	La guía reconoce que la aplicación de encuestas sirve para obtener información a nivel individual y no colectivo, por lo tanto, resulta necesario incluir también un mecanismo de participación colectivo. La información obtenida se puede clasificar en tres grupos: información proveniente de la comunidad, de la institución y de las políticas existentes. Algunas actividades que pueden ser usadas para la obtención de información necesaria son: observación de las condiciones físicas del sistema con la comunidad, discusiones grupales, entrevistas y revisión de registros existentes
--------------------------------------	--

UNDÉCIMO ARTÍCULO

Título:	A practical method to evaluate the sustainability of rural water and sanitation infrastructure systems in developing countries ¹²		
Autor:	S.A Jones, C. Silva		
Año de publicación:	2008	Revista:	Desalination
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	El autor emplea un marco conceptual basado en el Análisis de Ciclo de Vida, sin embargo, sólo considera fases de inventario e impacto, excluyendo así la fase de mejora del sistema. El método se aplica para comparar dos alternativas planteadas para mejorar las condiciones de abastecimiento en comunidades rurales en Bangladesh. De esta forma, es posible identificar falencias en los sistemas y seleccionar el que resulte más viable		
¿Qué indicadores utiliza?	Se reconocen tres dimensiones de la sostenibilidad (ambiental, técnica y económica). Los aspectos sociales son tenidos en cuenta en cada una de estas dimensiones para evaluar los respectivos indicadores provenientes de revisiones de literatura.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Para medir los indicadores seleccionados, el autor emplea Análisis de Ciclo de Vida realizados previamente y ensayos relacionados con la calidad del agua. Además, debido a la dificultad a la hora de realizar mediciones, se emplean datos obtenidos de sistemas similares en otras localidades para presentarlos a manera de ejemplo.		

¹² S. A. Jones and C. Silva, "A practical method to evaluate the sustainability of rural water and sanitation infrastructure systems in developing countries," *Desalination*, vol. 248, no. 1–3, pp. 500–509, Nov. 2009.

DÉCIMO SEGUNDO ARTÍCULO

Título:	Collecting Critical Data to Assess the Sustainability of Rural Infrastructure in Low-Income Countries ¹³		
Autor:	Sharon a. Jones, Kristen L. Sanford Bernhardt, Mark Kennedy, Kelsey Lantz, Trent Holden		
Año de publicación:	2013	Revista:	Sustainability
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Los autores identifican indicadores críticos que deben ser evaluados en todos los proyectos de abastecimiento rural, basándose en los resultados obtenidos en tres casos de estudio (Malawi, Honduras y Uganda). Para esto, analizan qué información puede ser obtenida por medio de estudios y ensayos realizados previamente y qué información debe ser tomada en campo, así como las técnicas más eficientes de medición.		
¿Qué indicadores utiliza?	El método propuesto distingue tres objetos de estudio diferentes (usuarios, características del sistema, comité encargado). Para cada uno de estos objetos se plantea una serie de indicadores con su respectiva información, así como una serie de preguntas para medirlos. Debido a la naturaleza de las preguntas, se recomienda realizar estudios adicionales referentes al impacto ambiental y a la salud humana.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Se recurre al estudio de información existente para conocer propiedades estadísticas de las comunidades estudiadas y registros financieros existentes. Además, se plantean encuestas para conocer el estado actual de los usuarios, el sistema de abastecimiento y el comité encargado de administrar el servicio. Por medio del estudio de los resultados obtenidos, es posible identificar aquellas preguntas donde las respuestas suministradas por los usuarios varían significativamente. Generalmente, estas preguntas representan falencias o inconformismo en el sistema.		

¹³ S. A. Jones, K. L. Sanford Bernhardt, M. Kennedy, K. Lantz, and T. Holden, "Collecting critical data to assess the sustainability of rural infrastructure in low-income countries," *Sustain.*, vol. 5, no. 11, pp. 4870–4888, 2013.

DÉCIMO TERCER ARTÍCULO

Título:	Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects ¹⁴		
Autor:	Liyin Shen, Yuzhe Wu, Xiaoling Zhang		
Año de publicación:	2011	Revista:	Journal of Construction Engineering and Management
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Se utiliza un método de análisis de contenido en donde se estudian proyectos realizados previamente para identificar los indicadores más relevantes al caso de estudio. Posteriormente un grupo de expertos evalúa cada uno de estos indicadores para conocer su importancia. De esta forma es posible calcular un peso o jerarquía para cada uno de los indicadores. A pesar de que este artículo no se enfoca en proyectos de abastecimiento en comunidades rurales, provee indicadores que pueden resultar útiles para su estudio.		
¿Qué indicadores utiliza?	Los autores identifican tres dimensiones principales de la sostenibilidad (económica, social y ambiental). Por medio del estudio y análisis de 23 proyectos realizados en diferentes ciudades chinas fue posible identificar los indicadores usados en distintas áreas de la ingeniería. Aquellos indicadores presentes en cinco o más de los casos analizados fueron tenidos en cuenta para la elaboración de este artículo.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Por medio de encuestas realizadas a los usuarios, al gobierno y a expertos en el tema se calificaron los diferentes indicadores seleccionados con una escala de uno a diez según su nivel de importancia. Posteriormente, se plantean diferentes alternativas para el proyecto estudiado. Un grupo de expertos se encarga de analizar cada una de estas alternativas y asignar una calificación para cada uno de los indicadores en cada uno de los escenarios propuestos. De esta manera es posible tener una idea de las fortalezas y falencias de los diferentes sistemas propuestos.		

¹⁴ X. Z. Liyin Shen, Yuzhe Wu, "Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 142, no. June, pp. 441–451, 2011.

DÉCIMO CUARTO ARTÍCULO

Título:	Using Causal Loop Diagramming to Explore the Drivers of the Sustained Functionality of Rural Water Services in Timor-Leste ¹⁵		
Autor:	Kate Neely, Jeffrey P. Walters		
Año de publicación:	2016	Revista:	Sustainability
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Se emplean diagramas de circuitos causales provenientes de la dinámica de sistemas para explicar cómo diferentes factores se relacionan y contribuyen a la generación de un problema o la formulación de una solución. Generalmente, suelen ser de dos tipos; refuerzo y balance. En los circuitos de refuerzo, los efectos generados por el cambio en una variable incrementan con el tiempo y el número de iteraciones realizadas, mientras que en los circuitos de balance, el cambio de una variable genera un cambio en otra.		
¿Qué indicadores utiliza?	A diferencia de los artículos analizados previamente, no se identifican dimensiones principales de la sostenibilidad. Sin embargo, se observa que los indicadores evaluados para generar los circuitos causales están enfocados a medir actividades de operación y mantenimiento, aspectos técnicos, sociales e institucionales.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Para medir indicadores pertenecientes a las categorías mencionadas anteriormente, se recurre a la aplicación de encuestas, entrevistas y observaciones realizadas en campo en cinco comunidades diferentes. Para la selección de las preguntas se tuvo en cuenta el nivel de educación de las personas y la voluntad que tenían de ayudar con la investigación. Algunos integrantes del equipo de investigación convivieron con familias involucradas en el estudio por unos días, ayudando a realizar actividades laborales para tener una mejor percepción del funcionamiento del sistema de abastecimiento, así como de sus principales falencias.		

¹⁵ K. Neely and J. P. Walters, "Using causal loop diagramming to explore the drivers of the sustained functionality of rural water services in Timor-Leste," *Sustain.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–18, 2016

DÉCIMO QUINTO ARTÍCULO

Título:	Planning rural water services in Nicaragua: A systems-based analysis of impact factors using graphical modeling ¹⁶		
Autor:	Jeffrey P. Walters, Paul S. Chinowsky		
Año de publicación:	2016	Revista:	<u>Environmental Science & Policy</u>
¿Qué marco conceptual emplea?	Se emplea un enfoque de componentes múltiples para generar una red de factores por medio del modelamiento gráfico. Por medio del análisis de las redes se identifican los factores que generan un mayor impacto a largo plazo relacionados con el servicio de abastecimiento en comunidades rurales en Nicaragua. Una vez se han identificado los factores de mayor importancia, es posible generar alternativas que tengan un impacto positivo en estos factores.		
¿Qué indicadores utiliza?	Por medio de una revisión de literatura se identifican diferentes dimensiones o factores que tienen influencia en la sostenibilidad de un sistema de abastecimiento rural. Estos factores son: funcionalidad del sistema, ambiente y energía, materiales y tecnología de construcción, finanzas, administración, soporte, comunidad y gobierno.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Para obtener la información, se realizaron inspecciones técnicas y entrevistas a miembros pertenecientes al comité encargado de suministrar el recurso, específicamente, a aquellos miembros relacionados con la operación y mantenimiento del sistema. Con los resultados obtenidos fue posible elaborar una red de factores en la que se visualiza la relación de los diferentes factores de la sostenibilidad.		

¹⁶ J. P. Walters and P. S. Chinowsky, "Planning rural water services in Nicaragua: A systems-based analysis of impact factors using graphical modeling," *Environ. Sci. Policy*, vol. 57, pp. 93–100, 2016.

DÉCIMO SEXTO ARTÍCULO

Título:	Assessing rural small community water supply in Limpopo, South Africa: Water service benchmarks and reliability ¹⁷		
Autor:	Batsirai Majuru , Paul Jagals, Paul R. Hunter		
Año de publicación:	2012	Revista:	<u>Science of The Total Environment</u>
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	El método tiene como finalidad evaluar la factibilidad de mejorar diferentes sistemas de abastecimiento rural en Limpopo, Sudáfrica. Recurre a estándares de la Organización Mundial de la Salud y “South African Department of Water Affairs” para comparar los resultados obtenidos y poder tener un concepto de la sostenibilidad de los sistemas estudiados.		
¿Qué indicadores utiliza?	Los autores identifican tres dimensiones de la sostenibilidad (accesibilidad, disponibilidad y potabilidad). Para evaluar la accesibilidad se recurre a la distancia hasta la fuente y la tecnología empleada. Para la disponibilidad se tiene en cuenta el caudal mínimo y el porcentaje del tiempo en el que el sistema se mantiene operando. Para evaluar la potabilidad es necesario realizar ensayos de calidad del agua.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Se instalaron sistemas GPS para establecer las coordenadas de cada una de las viviendas que participaron en el estudio con el fin de facilitar la toma de datos. Por medio de entrevistas realizadas por expertos se obtuvo información relacionada con las características demográficas y socioeconómicas de las poblaciones estudiadas. Además, se hicieron estudios relacionados con la prestación del servicio durante una temporada seca y otra húmeda.		

¹⁷ B. Majuru, P. Jagals, and P. R. Hunter, “Assessing rural small community water supply in Limpopo, South Africa: Water service benchmarks and reliability,” *Sci. Total Environ.*, vol. 435–436, pp. 479–486, 2012.

DÉCIMO SÉPTIMO ARTÍCULO

Título:	Public perceptions of the performance of community-based drinking water organizations in Costa Rica ¹⁸		
Autor:	Róger Madrigal-Ballester, Francisco Alpizar, Achim Schlüter		
Año de publicación:	2013	Revista:	Water resources and rural development
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Se emplea el marco conceptual ontológico desarrollado por Ostrom y adaptado por Madrigal para evaluar la sostenibilidad en un sistema de abastecimiento rural. Para identificar los indicadores más importantes se recurre a un enfoque analítico institucional donde se analizan las características del sistema, los usuarios y la manera en la que sus interacciones afectan el rendimiento. Las variables identificadas son desglosadas en indicadores específicos que ayudan a realizar las mediciones necesarias.		
¿Qué indicadores utiliza?	El método reconoce 4 factores importantes a la hora de evaluar la sostenibilidad (características de la infraestructura, estructura de gobierno, atributos del comité encargado de distribuir el recurso y características de los consumidores). Para cada uno de estos factores se proponen diferentes indicadores.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Se diseñaron dos protocolos para recolectar la información. El primero consistía en una entrevista para recolectar información referente a aspectos legales, financieros, de capital humano y de relaciones entre los miembros del comité encargado. También se realizó una encuesta a 778 miembros de la comunidad distribuidos espacialmente en todo el territorio de estudio. Esto es de vital importancia, pues la localización puede afectar considerablemente los resultados obtenidos.		

¹⁸ R. Madrigal-Ballester, F. Alpizar, and A. Schlüter, "Public perceptions of the performance of community-based drinking water organizations in Costa Rica," *Water Resour. Rural Dev.*, vol. 1–2, pp. 43–56, 2013.

DÉCIMO OCTAVO ARTÍCULO

Título:	Factors affecting sustainability of rural water schemes in Swaziland ¹⁹		
Autor:	Graciana Peter, Sizwe E. Nkambule		
Año de publicación:	2012	Revista:	Physics and Chemistry of the Earth
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Se emplea un análisis de múltiples criterios que identifica cuatro dimensiones, 13 factores y 26 indicadores usados para evaluar la sostenibilidad en proyectos de abastecimiento en comunidades rurales de Suazilandia, África. Cada factor tiene su respectivo peso o importancia.		
¿Qué indicadores utiliza?	Las cuatro dimensiones que se identifican son: Técnica Social/Ambiental Financiero Institucional Posteriormente, se hace una selección de indicadores para evaluar cada una de estas dimensiones, teniendo en cuenta que en ocasiones es necesario modificar o ignorar ciertos indicadores que no se pueden medir en el caso de estudio.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Se realizaron encuestas personales con el fin de optimizar el porcentaje de respuesta. Se tenía como objetivo recolectar información de carácter social. Además, se realizaron discusiones grupales con miembros del comité encargado y expertos para conocer procesos de operación y mantenimiento. Finalmente, con el análisis de la información obtenida, se puede hacer una clasificación según el puntaje obtenido en una escala de cero a cien. Las calificaciones son comparadas entre sí para conocer aquellos factores con una mayor influencia.		

¹⁹ G. Peter and S. E. Nkambule, "Factors affecting sustainability of rural water schemes in Swaziland," *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, vol. 50–52, pp. 196–204, 2012.

DÉCIMO NOVENO ARTÍCULO

Título:	Long-term functionality of rural water services in developing countries: A system dynamics approach to understanding the dynamic interaction of factors ²⁰		
Autor:	Jeffrey P. Walters, Amy N. Javernick-Will		
Año de publicación:	2015	Revista:	Environmental Science and Technology
¿Qué marco conceptual o herramienta emplea?	Se emplea una modelación por medio de la dinámica de sistemas, que tiene como objetivo entender la interacción entre los distintos factores que afectan la sostenibilidad de un sistema de abastecimiento rural por medio de mecanismos de realimentación. De esta forma, la dinámica de sistemas no se limita a la identificación de problemas, también resulta útil para entender el comportamiento de sistemas en situaciones inesperadas.		
¿Qué indicadores utiliza?	Para identificar los factores más importantes se realizó una revisión de literatura, donde 97 artículos fueron seleccionados para la selección de factores e indicadores. Los factores encontrados con mayor frecuencia fueron: gobierno, comunidad, soporte externo, administración y financiación, tecnología, ambiente y energía, y por último, funcionalidad del sistema.		
¿Cómo mide estos indicadores?	El fin de la dinámica de sistemas es entender la interacción entre los diferentes factores. Se recurrió a la ayuda de expertos para realizar un análisis de polaridad y de impacto cruzado. Para la selección de expertos se tuvo en cuenta el grado de educación, artículos publicados y conferencias. De esta forma, la opinión de distintos expertos tenía un valor de peso o jerarquía. El siguiente paso consistía en la generación de mecanismos de realimentación con la ayuda de software, donde se encontró que la relación Comunidad-Financiación-Administración tenía un mayor peso que las demás encontradas.		

²⁰ J. P. Walters and A. N. Javernick-Will, "Long-term functionality of rural water services in developing countries: A system dynamics approach to understanding the dynamic interaction of factors," *Environ. Sci. Technol.*, January 2016, p. 150316125549003, 2015.

VIGÉSIMO ARTÍCULO

Título:	Factors influencing sustainability of rural community based water projects in Mtito Andei, Kibwezi sub-county, Kenya ²¹		
Autor:	Ababa Chanasa Tafara		
Año de publicación:	2013	Revista:	University Of Nairobi
¿Qué marco conceptual emplea?	El autor emplea un marco conceptual proporcionado por la Agenda 21 para evaluar la sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales. Se reconocen dos tipos de variables: dependientes e independientes. Las variables independientes (factores) son todas aquellas que se pueden medir con el uso de diferentes indicadores por medio de instrumentos de recolección de la información. Las variables dependientes están asociadas a efectos de interacción entre las variables independientes.		
¿Qué indicadores utiliza?	Dentro de la lista de factores o variables independientes se identifica la participación de la comunidad, prácticas culturales, habilidades administrativas y tecnología empleada. Para cada una de estas variables se propone una serie de indicadores que ayudan a generar una idea de la sostenibilidad del Sistema.		
¿Cómo mide estos indicadores?	Para recolectar información se recurrió al muestreo por aglomerado, que minimiza costos de transporte y agiliza el proceso. Este método es ideal cuando se cuenta con poblaciones que están ampliamente distribuidas en un sector geográfico. Para obtener datos de carácter cualitativo y cuantitativo se realizaron encuestas a miembros de la comunidad y funcionarios del comité encargado de suministrar el recurso, haciendo la observación de que todos los datos eran de carácter confidencial y tenían como único fin contribuir a la investigación. Información secundaria fue obtenida por medio de la revisión de documentos existentes, como planes de desarrollo, periódicos e información de carácter gubernamental.		

²¹ A. Tafara, "Factors Influencing Sustainability of Rural Community Based Water Projects In Mtito Andei, Kibwezi Sub-County, Kenya," *Interdiscip. J. Contemp. Res. Bus.*, vol. 2, no. 3, pp. 74–79, 2013.

ANEXO E: Dimensiones de sostenibilidad

Dimensiones de sostenibilidad identificadas en marcos generales para evaluaciones de sistemas de abastecimiento de agua

Título *	Año	Dimensiones de sostenibilidad
A framework for systems analysis of sustainable urban water management	2000	Salud e higiene Social y cultural Ambiental Económica Técnica y funcional
Methodology for Participatory Assessments with Communities, Institutions and Policy Makers. Linking Sustainability with Demand, Gender and Poverty	2000	Financiación Construcción Administración Demanda/Impacto Participación
Long-term functionality of rural water services in developing countries: A system dynamics approach to understanding the dynamic interaction of factors.	2015	Gobierno y comunidad Soporte externo Administración y financiación Ambiente y energía Funcionalidad y tecnología
Decision-making criteria and indicators for water and sanitation projects in developing countries	2011	Técnico Social Económico Ambiental

* Corresponden a los artículos citados en el Anexo 4

Dimensiones de sostenibilidad identificadas en evaluaciones de sostenibilidad de sistemas de abastecimiento rurales en casos de estudio específicos

Título*	Año	Dimensiones de sostenibilidad	País
Sustainability of donor-funded rural water supply and sanitation projects in Mbire district, Zimbabwe	2014	Administración financiera Operación y mantenimiento Satisfacción de los beneficiarios Condiciones físicas del sistema Voluntad para sostenerse en el tiempo	Zimbabwe
Sustainability of Rural Water Supply Systems: Assessment of gravity water systems implemented by Plan Cameroon in the Northwest Province of Cameroon	2005	Operación y Mantenimiento Administración Tecnología Participación y Entrenamiento Necesidad del sistema	Camerún
Factors affecting the sustainability of rural water supply systems: the case of Mecha Woreda, Amhara region, Ethiopia	2012	Participación de la comunidad Tecnología Sitio de implementación Calidad de la construcción Entrenamiento	Ethiopia
A practical method to evaluate the sustainability of rural water and sanitation infrastructure systems in developing countries	2008	Ambiental Económica Técnica y funcional	Bangladesh
Collecting Critical Data to Assess the Sustainability of Rural	2013	Usuarios Características del sistema Comité encargado	Malawi Honduras Uganda

Título*	Año	Dimensiones de sostenibilidad	País
Infrastructure in Low-Income Countries			
Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects	2011	Económico Social Ambiental	China
Using Causal Loop Diagramming to Explore the Drivers of the Sustained Functionality of Rural Water Services in Timor-Leste	2016	Operación y mantenimiento Técnico Social Institucional	Timor-Leste
Planning rural water services in Nicaragua: A systems-based analysis of impact factors using graphical modeling	2016	Funcional Ambiental Tecnológico Financiero Administrativo Gubernamental Social	Nicaragua
Assessing rural small community water supply in Limpopo, South Africa: Water service benchmarks and reliability	2012	Accesibilidad Disponibilidad Potabilidad	Sudáfrica
Public perceptions of the performance of community-based drinking water organizations in Costa Rica	2013	Infraestructura Gobierno Comité encargado Consumidores	Costa Rica
Factors affecting sustainability of rural water schemes in Swaziland	2012	Técnico Social/Ambiental Financiero Institucional	Suazilandia

Título*	Año	Dimensiones de sostenibilidad	País
Factors influencing sustainability of rural community based water projects in Mtito Andei, Kibwezi sub-county, Kenya	2013	Participación de la comunidad Prácticas culturales Habilidades administrativas Tecnología empleada	Kenia
Development of a Planning Framework for Sustainable Rural Water Supply and Sanitation: A Case Study of a Filipino NGO	2010	Ecológico Económico Técnico Social Salud humana	Filipinas
Developing sustainable and replicable water supply systems in rural communities in Brazil	2012	Social Técnico/Administrativo/Financiero Ambiental	Brasil
Adapting Life-Cycle Thinking Tools to Evaluate Project Sustainability in International Water and Sanitation Development	2007	Respeto sociocultural Participación de la comunidad Cohesión política Económico Ambiental	Mali
Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil	2010	Técnico Social Económico Ambiental	Brasil

ANEXO F: Indicadores de sostenibilidad

Indicadores de sostenibilidad de acuerdo a dimensiones

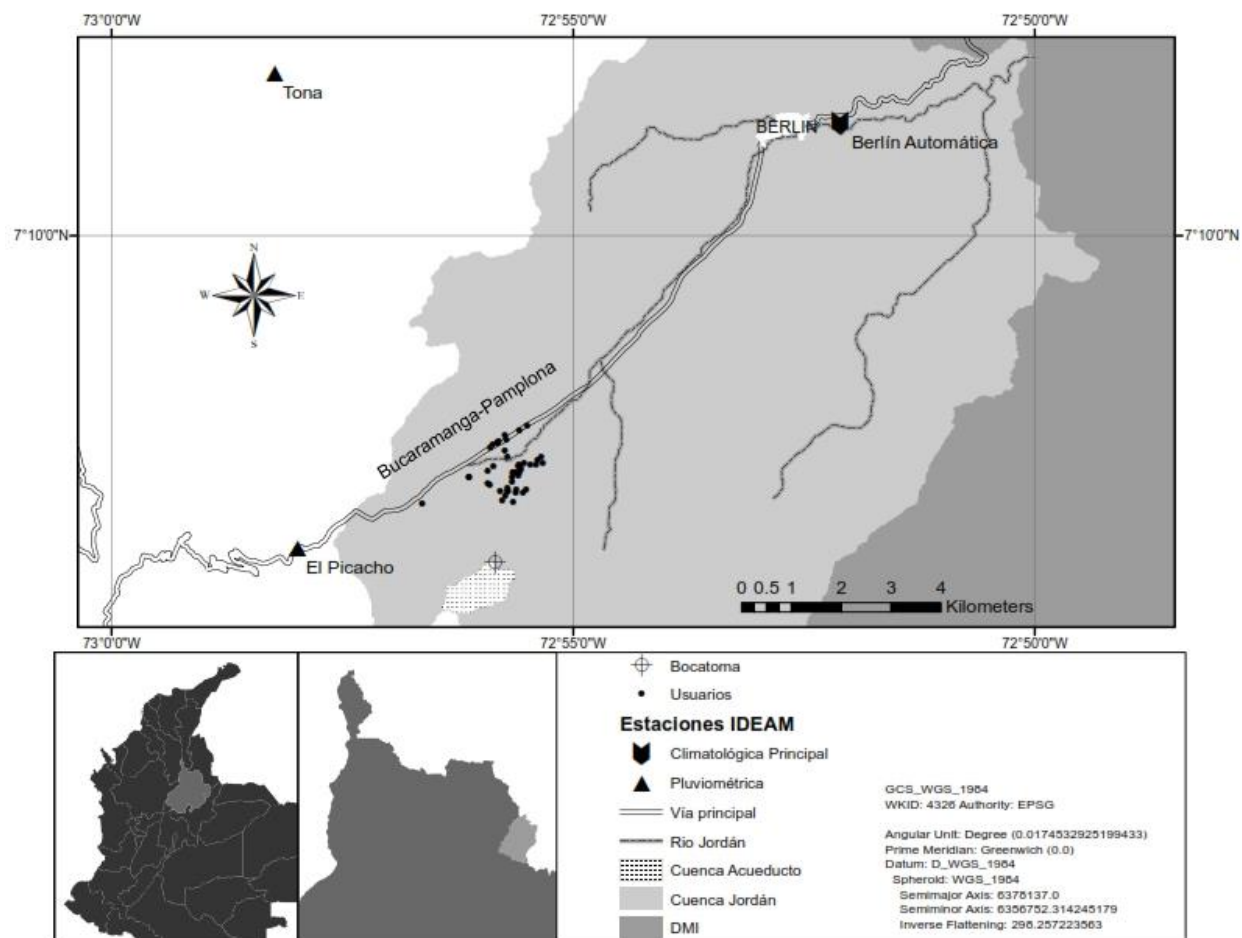
Dimensión	Indicador	Artículo(s) *
Técnica	Disponibilidad de tecnología	1,8,10,12,14,16,17,19,20
	Uso de partes locales en el sistema	4,8,19,20
	Tamaño del proyecto	4,12
	Presencia de partes complejas en el sistema	1,8
	Capacidad de expansión cuando la población aumente	1,11,20
	Suministro del recurso de forma continua	1,5,7,8,10,11,12,14,16,18,19,20
	Entrenamiento de funcionarios	2,4,7,8,18
	Soporte externo	2,7,8
	Actividades de operación y mantenimiento continuas	2,4,5,7,8,12,19,20
	Compatibilidad con características geográficas	5
	Cantidad de beneficiarios por fuente	5
	Implementación según el diseño	8
	Tiempo de vida del sistema	11,17
	Crecimiento poblacional	12
	Distancia a la fuente	16
Caudal mínimo	16	
Social	Satisfacción de la comunidad con el proyecto	1,6,7,8,14,20
	Entendimiento del funcionamiento por parte de la comunidad	1,7,8

* La numeración de los artículos hace referencia al orden en el que son presentados en el Anexo 4

Dimensión	Indicador	Artículo(s) *
	Selección de la alternativa por parte de la comunidad	2,5,7,8,10,12,18,20
	Porcentaje de beneficiarios	4,10,11,12,17
	Respeto y capacidad de evitar conflictos	4,5,18
	Iniciativa de mejorar el sistema	7,8,9
	Existencia de otra prioridad antes del agua	7
	Voluntad para sostener el sistema	7,12
	Elección del comité por parte de la comunidad	8
	Equidad de género	8,10,17,48,19,20
	Disponibilidad del servicio de forma equitativa	8,10,18,20
	Nivel de educación de la comunidad	9,17
	Número de años como miembro del comité	17
	Tamaño de la unidad familiar	9
	Presencia de mujeres en el comité encargado	9
Ambiental	Contaminación del ambiente	1,7,8,11,13,20
	Contaminación de otra fuente de agua	1,7,8,11,13,20
	Cantidad de gases contaminantes emitidos	4
	Cantidad de energía no renovable empleada	4,11,13
	Decibeles generados	4,11,13
	Cambios en el paisaje debido al sistema	4,13,17
	Usos del agua	5,9,10,12
	Nivel de eutrofización	6
	Contaminación del suelo	6,11,13,20
	Tecnología de desinfección	17
	Calidad óptima de la fuente de suministro	1,2,5,6,7,8,9,11,12,14,16,18,19,20
	Capacidad de usar el recurso de forma segura	1,8
Contaminación del agua en el sistema	1,8,9	

Dimensión	Indicador	Artículo(s) *
	Reducción en mortalidad infantil debido a enfermedades diarreicas	4
	Tasa de mortalidad	5
	Riesgo de infección	6,18
	Necesidad de recurrir a otras fuentes de abastecimiento	9
Económica	Gastos de capital asequibles	1,2,4,5,8,11
	Cantidad de trabajadores locales empleados	4,5,13,18
	Costo total del proyecto	6,11,12,13,14
	Fuente de financiación	7,9,13,18,19
	Presencia de tarifas	7,8,9,11,20
	Registro de pagos de tarifas	7,10
	Conocimiento de gastos	8,10
	Voluntad de pagar	11,14
	Análisis de mercado de oferta y demanda	13
	Presupuesto	10,12,13,18,20
	Riesgo financiero	13
	Problemas legales por la tierra ocupada	7,13
	Problemas legales por propiedad del sistema	7,11,18,20
	Transparencia en el sistema	8,10,14
	Existencia de estrategia gubernamental de apoyo	10
Existencia de donaciones por parte de una entidad privada	14	
Número de reuniones del comité	18	

ANEXO G: Ubicación del DMI Páramo de Berlín



Fuente: Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental GPH

ANEXO I: Formatos de la OMS diligenciados

Todos los formatos incluidos en este anexo han sido tomados de la World Health Organization²²

CAPTACIÓN SUPERFICIAL	
Ubicación	7°6.456' N 72°55.848'O
Fecha de inspección	9 Julio 2017
Muestra de agua	SI/NO
Grado de coliformes fecales	-
DIAGNÓSTICO	RIESGO
Una población aguas arriba contamina la fuente	SI/NO
El ganado aguas arriba contamina la fuente	SI/NO
Cultivos aguas arriba contaminan la fuente	SI/NO
Existe riesgo de deslizamiento en el área de captación	SI/NO
Las instalaciones no están cercadas	SI/NO
La captación no está protegida por pantalla	SI/NO
El punto de abstracción carece de un método para garantizar la presión mínima	SI/NO
El sistema tiene un filtro de arena/grava	SI/NO
El filtro no funciona correctamente	SI/NO
El caudal no es controlado	SI/NO

²² WHO, "Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities," 2012.

CAPTACIÓN SUPERFICIAL	
Ubicación	7°6.456' N 72°55.848'O
Puntaje total de riesgo	6/10
9-10: Muy alto, 6-8: Alto, 3-5: Medio, 0-2: Bajo	
Alto	

DISTRIBUCIÓN CERRADA	
Fecha de inspección	9 Julio 2017
Muestra de agua	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Grado de coliformes fecales	-

DIAGNÓSTICO	RIESGO
Existencia de fugas entre la fuente y el almacenamiento	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Las tapas de las cámaras de quiebre son susceptibles a contaminación	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
La tapa del tanque de almacenamiento es susceptible a contaminación	<input checked="" type="radio"/> S/NO
La tubería de ventilación es susceptible a contaminación	<input checked="" type="radio"/> S/NO
Existen fugas en el tanque de almacenamiento	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Existen fugas en el sistema de distribución (almacenamiento-puntos de abastecimiento)	<input checked="" type="radio"/> S/NO
Presencia de excretas cerca al punto de abastecimiento	<input checked="" type="radio"/> S/NO
La estructura del punto de abastecimiento está deteriorada	<input checked="" type="radio"/> S/NO
Contaminación debida al material de tubería	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Existen fugas en las válvulas	SI/NO <input checked="" type="radio"/>
Se tiene acceso a las válvulas	<input checked="" type="radio"/> S/NO

Puntaje total de riesgo	6/11
-------------------------	------

9-11: Muy alto, 6-8: Alto, 3-5: Medio, 0-2: Bajo

Alto

TIPO DE TRATAMIENTO	
Pantalla	SI/NO <input type="radio"/>
Desarenador	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
Trampa de grasas	SI/NO <input type="radio"/>
Pre-sedimentación	SI/NO <input type="radio"/>
Pre-desinfección (Cloro/Ozono)	SI/NO <input type="radio"/>
Carbón activado	SI/NO <input type="radio"/>
Aireación	SI/NO <input type="radio"/>
Coagulación y floculación	SI/NO <input type="radio"/>
Sedimentación	SI/NO <input type="radio"/>
Filtración	SI/NO <input type="radio"/>
Desinfección	SI/NO <input type="radio"/>

DESARENADOR	
Ubicación	7°6.456' N 72°55.848'O
Fecha de inspección	9 Julio 2017
Muestra de agua	SI/NO <input checked="" type="radio"/> NO
Grado de coliformes fecales	-

DIAGNÓSTICO	RIESGO
Número de estructuras	1
Frecuencia de vaciado	Una vez al mes
Las instalaciones no están cercadas	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
Existe riesgo de deslizamiento en el área de sedimentación	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
No existe pantalla superior en la entrada y la salida	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
No existe tapa en la salida	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
El sistema no está diseñado para el caudal captado	<input checked="" type="radio"/> SI/NO
Deterioro en la estructura	<input checked="" type="radio"/> SI/NO

Puntaje total de riesgo	6/6
-------------------------	-----

5-6: Muy alto, 3-4: Alto, 1-2: Medio, 0: Bajo

Muy alto _____

ALMACENAMIENTO	
Ubicación	7°6.650'N y 72°55.843'O
Fecha de inspección	9 Julio 2017
Muestra de agua	SI/NO
Grado de coliformes fecales	-

DIAGNÓSTICO	RIESGO
Número de tanques	1
Capacidad del tanque	60 m ³
Dimensiones	5.7x5.7x2.2 [m]
Profundidad del agua en el tanque	1.2 [m]
Distancia entre entrada y salida	5.4 [m]
Presencia de deflectores deteriorados	SI/NO
Fugas en el tanque de almacenamiento	SI/NO
Existe riesgo de deslizamiento	SI/NO
Las instalaciones no están cercadas	SI/NO
Presencia de tapa deteriorada	SI/NO
Materiales ajenos en el tanque	SI/NO
La tubería de ventilación no está protegida	SI/NO

Puntaje total de riesgo	4/7
-------------------------	-----

6-7: Muy alto, 4-5: Alto, 2-3: Medio, 0-1: Bajo

Alto

ANEXO J: Justificación del nivel de riesgo

Para determinar el nivel de riesgo, se usó la matriz proporcionada por la OMS en su Plan de Seguridad para Comunidades Pequeñas. Esta se puede detallar en la siguiente tabla.

	Consecuencia		
Probabilidad	Pequeño impacto	Mediano impacto	Gran impacto
Probable	Medio	Alto	Alto
Posible	Bajo	Medio	Alto
No muy probable	Bajo	Bajo	Medio

Fuente: World Health Organization²³

En la escala de probabilidad, se considera un evento probable si puede observarse muy seguido, es decir a diario o semanalmente. Un evento es posible si puede observarse ocasionalmente, es decir mensualmente o en temporadas específicas del año. Por último, un evento puede considerarse como no muy probable si es susceptible a ocurrir bajo alguna situación excepcional.

En cuanto a la escala de consecuencia, un evento puede causar gran impacto si ocasiona enfermedades, conflictos en la comunidad frecuentemente o si es necesaria la suspensión del servicio por un periodo considerable de tiempo. El evento es de mediano impacto si trae problemas moderados en la calidad del agua, suspensión del recurso por un periodo corto de tiempo o si ocasiona pequeñas molestias en la comunidad. Por último, un evento es de pequeño impacto si genera cambios insignificantes e imperceptibles en la calidad del agua o si es necesaria la

²³ WHO, "Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities," 2012.

suspensión del servicio a un grupo pequeño de la comunidad por un periodo corto de tiempo.

A continuación, se presentan los argumentos para determinar el nivel de riesgo de cada uno de los eventos encontrados.

Los animales pueden contaminar las estructuras del sistema de abastecimiento

Durante la inspección técnica se evidenció la presencia de excretas animales en diferentes partes del sistema de abastecimiento, por lo que se puede decir que es un evento que ocurre comúnmente. Por otro lado, la presencia de excretas en el agua puede tener como consecuencia la propagación de enfermedades en la comunidad, considerada de gran impacto.

Material extraño puede entrar por la estructura de captación

Debido a que existe una manguera que capta agua directamente desde el nacimiento y una parte del caudal captado por medio de la estructura de captación no pasa por la rejilla, existe la posibilidad de que material extraño entre a la estructura, especialmente en temporada de lluvias. La presencia de este material puede tener como consecuencia la propagación de enfermedades en la comunidad, o la obstrucción de la tubería, consideradas de gran impacto.

La estructura de captación se encuentra subdimensionada

Varios componentes como la cámara de recolección y la rejilla no poseen las dimensiones recomendadas por las normativas vigentes. Esto lleva a que la comunidad busque métodos alternativos con un nivel de riesgo alto para suplir su demanda actual (mencionados en el evento anterior). Aunque indirectamente lleve

a consecuencias con un nivel de riesgo alto, el hecho de que la estructura de captación no tenga las dimensiones suficientes no representa un problema de urgencia para la comunidad.

Material extraño puede entrar por el desarenador

Ya que el borde del muro lateral del desarenador se encuentra al nivel de la rasante existe la posibilidad de que material extraño entre a la estructura, especialmente en temporada de lluvias. La presencia de este material puede tener como consecuencia la propagación de enfermedades en la comunidad, considerada de gran impacto.

El desarenador está perdiendo estabilidad

Debido a que el agua rebosa constantemente por el muro del desarenador, se ha ido perdiendo estabilidad en la estructura. En caso de que esta colapse, se requeriría una inversión significativa para reparar el sistema y continuar con el suministro de agua. Por tal motivo se considera de gran impacto.

Errores en el diseño del desarenador

En la inspección se evidenció la ausencia de un canal de excesos y una tubería de paso directo. Esto ocasiona que se generen interrupciones temporales en el servicio durante las actividades de mantenimiento, generando un mediano impacto.

Deterioro en la tapa y llave de paso del tanque

Se consideran eventos de pequeño impacto, pues estos eventos no ocasionan la suspensión del servicio durante actividades de operación y mantenimiento y no representan riesgos directos que puedan afectar la salud humana.

La tubería se encuentra sobre el nivel de la rasante

El hecho de que la tubería se encuentre al nivel de la rasante representa que está expuesta a la contaminación y deterioro, ya sea por parte de animales o miembros de la comunidad. Además, en caso de que un paso aéreo llegara a fallar debido a diversas circunstancias (viento, lluvias, peso propio) sería necesario suspender el servicio por un periodo de tiempo considerable. Por tal motivo se relaciona con una consecuencia de gran impacto.

La siguiente tabla presenta un resumen del razonamiento que se llevó a cabo para asignar el nivel de riesgo a los eventos descritos anteriormente.

Evento	Probabilidad de ocurrencia	Consecuencia	Nivel de riesgo	¿Es indispensable apoyo externo?
Los animales pueden contaminar las estructuras del sistema de abastecimiento	Probable	Gran impacto	Alto	No
Material extraño puede entrar por la estructura de captación	Posible	Gran impacto	Alto	No
La estructura de captación se encuentra subdimensionada	Probable	Pequeño impacto	Medio	Si
Material extraño puede entrar al desarenador	Posible	Gran impacto	Alto	No

Evento	Probabilidad de ocurrencia	Consecuencia	Nivel de riesgo	¿Es indispensable apoyo externo?
El desarenador está perdiendo estabilidad	Probable	Gran impacto	Alto	Si
Errores en el diseño del desarenador	Probable	Mediano impacto	Alto	Si
Deterioro en la tapa y llave de paso del tanque	Probable	Pequeño impacto	Medio	Si
La tubería se encuentra sobre el nivel de la rasante	Probable	Gran impacto	Alto	Si