



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en una zona rural colombiana

Juan Carlos Cueva Orjuela

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente
Medellín, Colombia
2018

Desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en una zona rural colombiana

Juan Carlos Cueva Orjuela

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Director (a):

Msc. Darío de Jesús Gallego

Codirector (a):

Ph.D. Patricia Jaramillo Álvarez

Línea de Investigación:

Investigación de Operaciones

Grupo de Investigación:

Ciencias de la Decisión

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento Geociencias y Medio Ambiente
Medellín, Colombia

2018

... La selva me enseña todo y todo lo que eso encierra. Los árboles tan inmensos me dicen qué grande deben ser mis sueños.

Para mí no hay fronteras, ni religión ni banderas, lo que va y trae el Río son sólo elementos de otro desafío.

Mi nacionalidad es Amazónica... mi nacionalidad es Amazónica... mi nacionalidad es Amazónica...

...Y yo nací libre, en este hermoso paraíso de Dios. Yo nací libre porque esta tierra madre... la tierra madre me engendró.

Tomado de la Canción "Nací Libre" del Cantautor Amazónico Pedro Bernal

Agradecimientos

A mis padres y mi hermano, quienes desde mi tierra natal siempre me han apoyado incondicionalmente.

A mis directores Darío Gallego y Patricia Jaramillo en Medellín, a quienes les agradezco mucho por su guía, apoyo, paciencia, recomendaciones y correcciones. No cabe duda de que sus consejos serán para toda la vida.

Al profesor Santiago Duque en Leticia, quien me apoyó y me guio en la caracterización de la zona de estudio.

A Lucas Vanegas, por la realización del software Water Multi Decision, y su apoyo en la última parte de la investigación.

A Santiago Bedoya, quien siempre estuvo ahí, sobre todo en los momentos más difíciles, dándome fortalezas y animándome a continuar con la investigación.

A las comunidades indígenas de San Pedro, San Juan, San Antonio y San Sebastián, especialmente a Alexis quien fue el contacto, por dejarme desarrollar y compartir con ellos la investigación.

A la Universidad Nacional de Colombia, por haberme brindado el espacio para realizar el trabajo, apoyado con recursos de investigación y permitirme cada día ser mejor profesional.

Al Programa Especial de Admisión y Movilidad Académica (PEAMA), el cual me permitió haberme graduado de una carrera profesional y seguir continuando con mis estudios.

Por último, agradecer a ese paraíso olvidado que es el Amazonas, que sueña algún día poder *respirar el aire de la libertad*.

Resumen

A nivel mundial, según la WHO y la UNICEF para el 2015 cerca de 844 millones de personas no tenían acceso a ningún servicio básico del agua. Adicionalmente, también se estima que más 2 billones de personas, la mayoría habitantes de zonas rurales, no tienen servicios de agua potable gestionados de forma segura. En el caso de las zonas rurales de Colombia, cerca del 40% presentó riesgo alto de calidad del agua. Lo anterior se debe en parte, como se describe en esta investigación, por la implementación no sostenible de alternativas no adecuadas, con poco conocimiento de las zonas rurales y la falta de participación de las comunidades. Por lo tanto, es necesario que el proceso de toma de decisión se observe desde un contexto local, se incluya la participación comunitaria y tenga un enfoque holístico para garantizar la sostenibilidad del servicio del agua rural. Esta tesis de investigación propone el desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación que permita identificar la mejor alternativa sostenible de proyectos de aprovisionamiento de agua en una zona rural colombiana. Para el caso de estudio, la aplicación de la metodología propuesta se realiza en comunidades indígenas de la Quebrada Yahuaraca en el Amazonas colombiano: San Pedro, San Juan, San Antonio y San Sebastián. Primero, desde una mirada local, se establece la contextualización de la zona de la estudio, luego se escoge el marco de la sostenibilidad que resulta ser particular en cada caso y posteriormente se realiza la caracterización de la zona con herramientas cualitativas y cuantitativas, donde la comunidad participa en la toma de decisiones a través de talleres de cartografía social. Después, se procede a diseñar los objetivos; seleccionar los criterios e indicadores más estratégicos con un enfoque holístico; seleccionar las alternativas más acordes al contexto rural; y aplicar el modelo ANP para la priorización de la alternativa. Para dar aplicación a la priorización, se seleccionó a la comunidad de San Juan. Los indicadores con mayor puntaje fueron la aceptación social del proyecto y la facilidad a la participación local debido a la fuerte asignación al peso del criterio social como lo establecía el marco de sostenibilidad. Mientras tanto, de las cinco alternativas tecnológicas propuestas, el mayor puntaje lo obtuvo la planta compacta de potabilización por encima del proyecto de post-construcción ya implementado en la zona de estudio. Finalmente, con el análisis de sensibilidad se cambiaron las asignaciones de pesos a nivel de clúster, demostrando la robustez y la sostenibilidad de la planta compacta en los criterios ambientales y tecnológicos.

Palabras clave: agua rural, proyecto de aprovisionamiento, sostenibilidad, metodología, ANP.

Abstract

In the world, according to WHO and UNICEF for 2015 around 844 million people did not have access to any basic water service. Also, it is estimated that more than 2 billion people, mostly people of rural areas, do not have drinking water security services. In the case of rural areas of Colombia, around 40% presented a high risk of water quality. This is due to the unsustainable implementation of inappropriate alternatives, with little knowledge of rural areas and the low participation of communities, as described in this research. Therefore, it is necessary that the decision-making process is observed from a local context, include the community participation and have a holistic approach to ensure the sustainability of rural water service. This research thesis proposes the development of a methodology of prioritization and differentiation that allows identifying the best sustainable alternative of water supply projects in a rural Colombian area. For the case study, the application of the proposed methodology is developed in indigenous communities of the Quebrada Yahuaraca in the Colombian Amazon: San Pedro, San Juan, San Antonio and San Sebastián. First, from a local perspective, the contextualization of the study area is established. Then, the sustainability framework is chosen and it depends on the particular case. After, the characterization of the area is developed with qualitative and quantitative tools, where the community participates in making decisions through social cartography workshops. Later, it is proceed to design the objectives; to select the most strategic criteria and indicators with a holistic approach; to select the alternatives most suited to the rural context; and to apply the ANP model for the prioritization of the alternative. The community of San Juan was selected for the prioritization. The indicators with the highest score were the social acceptance of the project and the ease of local participation due to the strong allocation to the weight of the social criterion as established by the sustainability framework. Meanwhile, of the five technological alternatives proposed, the highest score was obtained by the compact potabilization plant above the post-construction project already implemented in the study area. Finally, with the sensitivity analysis, the weight assignments were changed at the cluster level, demonstrating the robustness and sustainability of the compact plant in the environmental and technological criteria.

Keywords: rural water, supply project, sustainability, methodology, ANP.

Contenido

Introducción	19
1. Planteamiento del Problema.....	23
1.1 Problema	23
1.2 Justificación	26
1.3 Pregunta de investigación	27
1.4 Objetivos.....	28
1.4.1 Objetivo General	28
1.4.2 Objetivos Específicos.....	28
2. El agua rural y la sostenibilidad.....	29
2.1 La nueva ruralidad.....	29
2.1.1 El concepto de la nueva ruralidad.....	29
2.1.2 El agua rural.....	32
2.1.3 Breve historia del sector de agua rural en Colombia	35
2.1.3.1 La gestión comunitaria del agua.....	38
2.1.3.2 Las comunidades indígenas en la gestión del agua.....	41
2.1.4 Alternativas tecnológicas en el agua rural	42
2.1.4.1 Alternativas según la captación del agua.....	43
2.1.4.2 Alternativas según el tratamiento del agua	44
2.1.5 Selección de alternativas tecnológicas en el agua rural	46
2.2 La sostenibilidad en el agua rural.....	47
2.2.1 Factores de sostenibilidad	49
2.2.2 Modelos de sostenibilidad.....	51
2.2.3 Métodos de evaluación de la sostenibilidad	54
2.2.4 Análisis de Decisión Multicriterio	55
2.2.5 Aplicaciones del análisis multicriterio para el aprovisionamiento del agua en zonas rurales	58
2.2.6 El desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación.....	59
3. Metodología de priorización y diferenciación de las alternativas para el aprovisionamiento del agua rural	61
3.1 Etapa 1: Contextualización de la zona de estudio.....	62
3.2 Etapa 2: Escogencia del marco de sostenibilidad	63
3.3 Etapa 3: Caracterización de la zona de estudio	64
3.3.1 Fase de Pre-campo	65
3.3.2 Fase de Trabajo de Campo	67
3.3.3 Fase de análisis de resultados	68

3.4	Etapa 4: Definición de objetivos	68
3.5	Etapa 5: Selección de alternativas	69
3.6	Etapa 6: Selección de criterios estratégicos	69
3.7	Etapa 7: Priorización y diferenciación de alternativas	71
3.8	Etapa 8: Análisis de sensibilidad	73
4.	Caso de aplicación de la metodología: la zona de estudio	75
4.1	Etapa 1: Contextualización del caso de estudio.....	75
4.1.1	El Departamento del Amazonas	76
4.1.2	Microcuenca de la Quebrada Yahuaraca	77
4.1.3	<i>Stakeholders</i>	78
4.2	Etapa 2: Escogencia del marco de la sostenibilidad	79
4.3	Etapa 3: Caracterización de la zona de estudio.....	80
4.3.1	Herramientas para la caracterización	81
4.3.2	Factores de sostenibilidad	84
4.3.3	Talleres de participación: cartografía social	100
4.3.4	Definición de problemática	103
5.	Caso de aplicación de la metodología: priorización y diferenciación de las alternativas	105
5.1	Etapa 4: Definición de los objetivos	105
5.2	Etapa 5: Selección de alternativas	106
5.3	Etapa 6: Selección de criterios estratégicos	107
5.4	Etapa 7: Priorización y diferenciación de las alternativas	110
5.4.1	Paso 1) Clúster y relaciones entre los elementos de red	111
5.4.2	Paso 2) Asignación de pesos de importancia/influencia	113
5.4.3	Paso 3) Construcción de matrices.....	115
5.4.4	Paso 4) Selección de la alternativa más sostenible	117
5.5	Etapa 8: Análisis de la sensibilidad	118
6.	Conclusiones y Recomendaciones	119
6.1	Conclusiones.....	119
6.2	Recomendaciones.....	121
	Bibliografía	123
A.	Anexo: Encuesta	133
B.	Anexo: Entrevistas semiestructuradas	137
C.	Anexo: Taller (San Pedro y San Juan).....	139
D.	Anexo: Matriz de correlaciones	141
E.	Anexo: Valoración de las alternativas con respecto a los indicadores	143
F.	Anexo: Supermatriz ponderada	145
G.	Anexo: Supermatriz ponderada estocástica.....	147
H.	Anexo: Supermatriz límite	149

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Evolución de los paradigmas en el sector del agua rural	32
Figura 2: Línea de tiempo sobre la normativa del servicio de agua rural en Colombia ...	38
Figura 3: Factores que influyen la sostenibilidad del servicio del agua rural	50
Figura 4: Estructura básica de los modelos AHP y ANP	58
Figura 5: Marco integrado de apoyo a las decisiones de la sostenibilidad	60
Figura 6: Etapas de la metodología de priorización y diferenciación.....	62
Figura 7: Caracterización de la zona de estudio.....	64
Figura 8: Localización del Departamento del Amazonas y el Municipio de Leticia	76
Figura 9: Mapa de la Microcuenca Quebrada Yahuaraca.....	78
Figura 10: Marco de sostenibilidad propuesto	80
Figura 11: Participación de las comunidades a través de cartografía social	83
Figura 12: Crecimiento y proyección de la población de las comunidades	85
Figura 13: Porcentaje de personas encuestadas según el número de hijos en el hogar	86
Figura 14: Porcentaje de personas encuestas según su grado de escolaridad	87
Figura 15: Conocimiento sobre las enfermedades causadas por el consumo de agua de mala calidad	89
Figura 16: Porcentaje de encuestados que afirman o no si la comunidad se reúne para hablar sobre temas del agua	91
Figura 17: Porcentaje de encuestados que afirman o no si la comunidad tiene habilidades técnicas para reparar equipos dañados	91
Figura 18: Variación en meses de la temperatura (°C).....	93
Figura 19: Variación en meses de la precipitación media (mms)	93
Figura 20: Variación en meses de los números de días de precipitación.....	93
Figura 21: Variación en meses del brillo solar (horas).....	93
Figura 22: Tipo de Ocupación.....	94
Figura 23: Porcentaje de personas dispuestas a pagar una tarifa para mejorar la calidad del agua	94
Figura 24: Ingresos económicos mensuales por cada familia	95
Figura 25: Tratamiento en el hogar antes del consumo de agua.....	96
Figura 26: Consumo de agua según la fuente de agua.....	97
Figura 27: Consumo según la fuente de agua	100
Figura 28: Mapa del pasado para la comunidad de San Pedro.....	101
Figura 29: Mapa del presente para la comunidad de San Pedro	101

Figura 30: Mapa del futuro para la comunidad de San Pedro	101
Figura 31: Mapa del pasado para la comunidad de San Juan	102
Figura 32: Mapa del presente para la comunidad de San Juan	102
Figura 33: Mapa del futuro para la comunidad de San Juan	102
Figura 34: Estructura del modelo ANP para la selección de alternativas	111
Figura 35: Puntaje obtenido de la supermatriz límite para cada indicador	116
Figura 36: Puntajes normalizados para cada alternativa tecnológica	117
Figura 37: Análisis de sensibilidad	118

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Tecnologías para la captación del agua en zonas rurales	43
Tabla 2: Tecnologías para el tratamiento del agua sin membranas	44
Tabla 3: Tecnologías para el tratamiento del agua con membranas	45
Tabla 4: Tipos de plantas utilizadas en las zonas rurales.....	46
Tabla 5: Metodologías de selección de tecnologías aplicados en las zonas rurales	47
Tabla 6: Modelos de sostenibilidad para el acceso del agua en zonas rurales	52
Tabla 7: Tipos de evaluaciones de la sostenibilidad y los métodos usados	54
Tabla 8: Métodos de evaluación de sostenibilidad de las alternativas.....	54
Tabla 9: Ejemplos de aplicaciones del análisis multicriterio.....	58
Tabla 10: Clasificación y rol de los <i>stakeholders</i> en el servicio del agua.....	62
Tabla 11: Ejemplo de una evaluación de indicadores cualitativos para la comparación de alternativas.....	70
Tabla 12: Escala de preferencia entre dos elementos	72
Tabla 13: <i>Stakeholders</i> de la zona de estudio	79
Tabla 14: Muestra seleccionada para la encuesta en las comunidades de la Quebrada Yahuarcaca	81
Tabla 15: Parámetros evaluados en las comunidades según los puntos de recolección	84
Tabla 16: Demografías de las comunidades en el año 2006, 2011 y 2016	85
Tabla 17: Calidad de las fuentes de agua usadas por las comunidades	97
Tabla 18: Descripción de los proyectos de post-construcción de aprovisionamiento de agua de las comunidades	98
Tabla 19: Problemáticas en las comunidades con relación al servicio del agua	103
Tabla 20: Alternativas tecnológicas para el aprovisionamiento de agua	106
Tabla 21: Criterios e indicadores para proyectos de aprovisionamiento de agua.....	107
Tabla 22: Relaciones entre indicadores	112
Tabla 23: Pesos de importancia entre distintos clúster	113
Tabla 24: Pesos de influencia de indicadores del clúster social sobre el indicador de facilidad a la participación local	114
Tabla 25: Pesos de influencia de indicadores del clúster social, económico y tecnológico sobre el indicador de aceptación del proyecto.....	114

Lista de símbolos y abreviatura

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
N	Tamaño de la muestra para proporciones en poblaciones finitas	1	Ecuación 3.1
N	Tamaño de la población	1	Ecuación 3.1
Z	Puntuación Z para un nivel de confianza escogido	1	Ecuación 3.1
E	Error esperado	1	Ecuación 3.1
P	Proporción esperada	1	Ecuación 3.1
Q	$1 - p$	1	Ecuación 3.1
P	Población proyectada para el año t	1	Ecuación 3.2
P_1	Población del año t_1	1	Ecuación 3.2
P_0	Población del año t_0	1	Ecuación 3.2
T	Año del censo P	Años	Ecuación 3.2
t_1	Año del censo P_1	Años	Ecuación 3.2
t_0	Año del censo P_0	Años	Ecuación 3.2
N	$t - t_1$	1	Ecuación 3.2
M	$t_1 - t_0$	1	Ecuación 3.2

Abreviaturas

Abreviatura	Término
AHP	Proceso de Análisis Jerárquico
ANP	Proceso de Análisis en Red
AZCAITA	Asociación de Cabildos y Autoridades Indígenas de Tradición Autóctona – Trapecio Amazónico
BID	Banco Interamericano de Desarrollo

CINARA	Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico
CIFOR	Center for International Forestry Research
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CORPOAMAZONÍA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía
COP21	XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático (en español)
FARC	Fuerza Armadas Revolucionarias de Colombia
IDEAM	Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales
INS	Instituto Nacional de Salud
INSFOPAL	Instituto Nacional de Fomento Municipal
IRC	International Water and Sanitation Centre
IRCA	Índice de Riesgo de Calidad de Agua
MAUT	Teoría de Multiatributo
MCDA	Análisis de Decisión Multicriterio (en español)
MPA	Metodología de Evaluación Participativa (en español)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PDA	Plan Departamental de Aguas
PND	Plan Nacional de Desarrollo
RAS	Reglamento Técnico para el Sector del Agua Potable y Sanemiento Básico
RWSN	Rural Water Supply Network
SAT	Sustainability Assessment Tool
SMF	Sustainability Monitoring Framework
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TAF	Technology Applicability Framework
TIP	Technology Introduction Process
UN	Organización de las Naciones Unidas (en español)
UNICEF	Fondo para las Naciones Unidas para la Infancia (en español)
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (en español)
WHO	Organización Mundial de la Salud (en español)

Introducción

De los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el Objetivo 6 menciona el acceso al agua y el saneamiento como fundamentales para la salud humana, sostenibilidad ambiental y la prosperidad económica. Pero, a pesar de esto, en materia de acceso a agua potable todavía hay tres personas de cada diez en el mundo, en su mayoría de zonas rurales, que carecen de agua potable (ONU, 2017). En Colombia existe el Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para consumo humano (IRCA) que es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades por el consumo según la calidad del agua. Para el año 2014, el IRCA exhibe los resultados de los análisis de la calidad del agua en las zonas rurales, donde cerca del 60% presentan riesgos al consumo del agua, divididos en un 40% de alto riesgo a la calidad del agua y un 20% de tipo inviable sanitariamente (MINSALUD, 2016).

Pero, ¿por qué predominan tantos problemas para garantizar el acceso del agua potable en las zonas rurales de Colombia? Lo anterior, se debe a aspectos como: las características de los entornos rurales (Domínguez *et al.*, 2016), la baja capacidad en estructuración y ejecución de proyectos (CONPES 3810, 2014), la limitada participación de la comunidad y su capacidad de gestión (Smits *et al.*, 2013), la transferencia de tecnología no adecuadas y su implementación con poca aceptación de la comunidad (Murphy *et al.*, 2009), entre otros. Esto se suma a que no se realizan esquemas diferenciales para elegir la alternativa más apropiada que se ajuste a las características de la demanda (CONPES 3810, 2014).

En la actualidad, el paradigma del agua rural se enfatiza en que la prestación de los servicios sea más sostenible, por lo que es fundamental apreciar las características heterogéneas del suministro de agua rural, las complejidades de los contextos locales, el enfoque de la gestión y el empoderamiento de las comunidades, lo mismo que el análisis del ciclo de vida y la implementación adecuada de las alternativas, y la adopción de un enfoque sistémico (Moriarty, 2017; Murphy *et al.*, 2009; World Bank, 2017a). Pero, aunque

en la implementación adecuada de las alternativas se han venido aplicando distintos métodos para evaluar la sostenibilidad, son muy pocos los ejemplos donde se integren los factores social, ambiental, económico y tecnológico, y se observen desde una mirada local donde se incluya la participación de las comunidades.

Por lo tanto, es conveniente buscar el fortalecimiento de los procesos de toma de decisiones, para lo cual toman importancia los métodos cuantitativos. De ahí, que el análisis de decisión multicriterio (MCDA) ha surgido como una metodología conveniente para que la participación de las partes interesadas incorpore el conocimiento y los valores asignados en las fases de planificación de un proyecto. El MCDA define un conjunto de múltiples criterios de evaluación, para clasificar, seleccionar y/o comparar un número finito de diferentes alternativas (Belton & Stewart, 2002).

De manera que con esta tesis de investigación se dan aportes para responder la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo elegir cuál es la mejor alternativa de proyectos de aprovisionamiento del agua para consumo humano considerando distintos criterios y características propias de la zona rural de estudio?

Así, el objetivo que se propone para responder a la pregunta de investigación es el desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación que busque la sostenibilidad de los proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano considerando características propias de una zona rural colombiana. La metodología es de autoría propia y sus alcances se plantean en las etapas en la que se desarrolla. En esta metodología se adicionan etapas al método tradicional de toma de decisiones, como la contextualización y la caracterización de la zona de estudio. Lo anterior sirve como soporte para la toma de decisiones, darle un fuerte enfoque local y la participación de la comunidad en el proceso. También se refuerza la idea de englobar las etapas en un marco de sostenibilidad con el fin de garantizar la sostenibilidad de los proyectos y el servicio del agua.

En la parte de priorización de las alternativas se usa el análisis multicriterio con el modelo del Proceso Analítico en Red (ANP), para lo cual se involucró a un estudiante de pregrado en ingeniería de sistemas como tesis de pregrado con el objetivo de diseñar un software que facilita el manejo y aplicación del modelo.

El caso de estudio de la aplicación de la metodología desarrollada es en una zona rural del Departamento del Amazonas de Colombia, específicamente en cuatro comunidades de la microcuenca de la Quebrada Yahuarca, debido a las experiencias distintas en proyectos de aprovisionamiento de agua, las cuales son: San Pedro, San Juan, San Antonio y San Sebastián. Aunque inicialmente se planteaba la priorización en las cuatro comunidades, se escoge una sola comunidad debido a los resultados presentados en la caracterización, la necesidad de la implementación de un mejor servicio del agua y para precisar puntualmente los efectos de la metodología propuesta. Además, hay que tener en cuenta que para cada comunidad los datos son distintos y posiblemente los resultados de la priorización sean diferentes, por lo que una sola comunidad para la aplicación de la metodología se considera suficiente en esta investigación.

El documento se divide en seis capítulos, los cuales son:

- En el primer capítulo, se presenta la problemática del acceso al agua para consumo humano en las zonas rurales, la justificación, la pregunta y los objetivos de la investigación.
- En el segundo capítulo, se menciona el concepto de la nueva ruralidad y las novedades del servicio del agua rural a nivel mundial en el presente. A nivel local, se hace un breve recuento histórico del agua rural en Colombia y luego se citan las alternativas tecnológicas de aprovisionamiento de agua más usadas en las zonas rurales. Por otra parte, se presenta la sostenibilidad en el agua rural donde se citan los factores y modelos de sostenibilidad del servicio del agua en los contextos rurales. También, se describe las metodologías de evaluación de la sostenibilidad de las alternativas tecnológicas. Por último, se realizan comentarios para el desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación.
- En el tercer capítulo, se presenta la descripción general de las ocho etapas del desarrollo de la metodología de priorización y diferenciación que plantea la presente tesis de investigación. La metodología está dividida en dos partes. La primera parte contiene al caso de estudio, con las tres etapas iniciales, las cuales son: contextualización de la zona de estudio, elección del marco de sostenibilidad

y caracterización de la zona de estudio. La segunda parte con la priorización y diferenciación de las alternativas, que está integrada por las etapas: definición de objetivos, selección de alternativas, selección de criterios estratégicos, priorización de las alternativas y el análisis de sensibilidad.

- En el cuarto capítulo, se describe el caso de estudio de la aplicación de la metodología propuesta. Para este capítulo, se identifican los *stakeholders*; se justifica la elección del marco de sostenibilidad con un contexto local, enfoque holístico, fortalecimiento y participación de la comunidad; y por último se presenta la caracterización de la zona de estudio, donde a través herramientas cuantitativas y cualitativas se evaluaron los factores de sostenibilidad. En la caracterización, a través de talleres de participación, se involucró en la toma de decisiones a las comunidades.

- En el quinto capítulo, se aborda la priorización y diferenciación de las alternativas de la aplicación de la metodología planteada. A partir de la identificación de la problemática, se define el objetivo general. Luego, se seleccionan alternativas distintas entre sí que sean del contexto rural de estudio y después para su valoración se establecen los criterios e indicadores estratégicos. En la priorización, se usa el análisis multicriterio del Proceso Analítico en Red (ANP) y la comparación a través de los proyectos de pos-construcción. Cabe anotar, que, aunque se menciona como último objetivo realizar la validación de la metodología, debido a las limitaciones en la implementación de las tecnologías, lo que en realidad se presenta es un análisis de sensibilidad de la metodología para así identificar la variación de los resultados con cambios en los datos iniciales.

- Finalmente, en el sexto capítulo se presentan las conclusiones y las recomendaciones de la investigación. Adicionalmente, se adjuntan la bibliografía en las que se apoyó el trabajo y los anexos respectivos.

1. Planteamiento del Problema

En este capítulo se presenta el planteamiento del problema referente al acceso del agua en las zonas rurales a nivel mundial y en Colombia. También, se aborda la justificación de la tesis de investigación. Posteriormente, se plantea la pregunta de investigación que surge de la problemática abordada. Y por último, en respuesta al interrogante anterior, se detallan el objetivo general y los objetivos específicos.

1.1 Problema

A nivel mundial, para el 2015 cerca de 844 millones de personas no tenían acceso a ningún servicio básico del agua. También se estima que más 2 billones de personas, la mayoría habitantes de zonas rurales, no tienen servicios de agua potable gestionados de forma segura, es decir, que la fuente de agua no se encuentra dentro de las instalaciones, no está disponible cuando sea necesario y no está libre de contaminación y patógenos (WHO & UNICEF, 2017).

El consumo de agua potable se considera uno de los elementos fundamentales para el desarrollo y la dignidad de las personas según el Artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos de la ONU de 1948. Y dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), que entraron en vigor desde el año 2016, se destaca el Objetivo 6 que menciona el acceso al agua y el saneamiento como fundamentales para la salud humana, sostenibilidad ambiental y la prosperidad económica (ONU, 2017). Por lo anterior, es preciso que todos los países garanticen el acceso de dicho servicio dentro de la formulación de políticas públicas en todos los niveles de gobierno.

El índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano (IRCA), que es el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las

características físicas, químicas y microbiológicas del agua potable contempladas en la Resolución 2115 de 2007, midió que para el año 2013 sólo el 60% de la población total del país, pertenecientes a los municipios urbanos más grandes, consumió agua potable sin riesgos (MINSALUD, 2016).

Para el año 2014, el 80% del territorio colombiano estaba conformado por municipios con alta ruralidad y aproximadamente el 30% de la población total vivía en dichas zonas. Adicional a esto, se ha encontrado que alrededor del 60% de la población rural consume agua con riesgos medio, alto e inviable sanitariamente. En el 2013, la cobertura en acueducto en la zona rural fue de 53,3% y la continuidad del servicio sólo llegaba en promedio por menos de seis horas diarias.

Más aún, existen departamentos como los de la región amazónica colombiana como el Guaviare, Guanía, Putumayo, Vaupés y Amazonas, que presentan dificultades técnicas para el reporte de datos del IRCA, tanto de los gobiernos locales como de los prestadores del servicio. Por consiguiente, en la mayoría de los casos no existe una información actualizada sobre la calidad del agua (MINSALUD, 2016).

Específicamente, el Departamento del Amazonas, con mayor extensión territorial de Colombia, cuenta con dos municipios (Leticia y Puerto Nariño) y nueve corregimientos, y, aunque hay sistemas de aprovisionamiento de agua en algunos lugares, en la mayoría de los lugares no existe o son muy débiles los tratamientos a la calidad del agua, siendo más difícil el contexto de sus zonas rurales, donde conviven comunidades indígenas, y es muy escasa la información sobre la demanda, las fuentes y la calidad del agua (Gobernación del Amazonas, 2016b).

El difícil acceso de agua potable en el país se debe principalmente a los deficientes procesos de planeación sectorial, su insostenibilidad económica y sus riesgos asociados (CONPES 3810, 2014; PND, 2015). También, se han hallado dificultades en la estructuración, implementación y sostenibilidad de los proyectos de abastecimiento de agua potable en el área rural. Según el CONPES 3810 del 2014, lo anterior se debe a aspectos como: i) la baja capacidad en estructuración y ejecución de proyectos, donde falta o hay deficiencias de estudios los cuales generan pobres cumplimientos en distintos requerimientos; ii) la limitada participación de la comunidad en la definición de alternativas, que luego genera el rechazo de las mismas; iii) la implementación de tecnologías no

adecuadas, ya que en las zonas rurales se replican generalmente casi los mismos proyectos de las zonas urbanas, sin hacer esquemas diferenciales ni hacer un análisis técnico y financiero para elegir la alternativa más apropiada que se ajuste a las características de la demanda.

Según Mantilla (2011), se observa un marcado desbalance entre el comportamiento de los prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento básico de la zona urbana con la zona rural. Generalmente, los prestadores en municipios urbanos con más de 10 mil habitantes, son operadores especializados, públicos y privados, viables financieramente, presentan buenos indicadores de cobertura y calidad del servicio y reportan información para la vigilancia y control. Mientras que en los municipios con menos de 10 mil habitantes y en zonas rurales, los entes territoriales proveen directamente los servicios a través de empresas públicas o asociaciones de comunidades, quienes presentan problemas estructurales de no viabilidad financiera, con deficientes indicadores de calidad y cobertura, baja capacidad técnica y alto grado de informalidad institucional de los servicios.

Dentro de los prestadores del servicio de agua potable, se encuentran las organizaciones comunitarias, lo que implica que las comunidades asumen la administración, operación y mantenimiento de los sistemas. Además, en algunos casos, deben tomar el control, la autoridad, responsabilidad y proyección de la prestación del servicio y establecer relaciones con diferentes organizaciones afines al tema (Smits *et al.*, 2012). Pero, a pesar de que estas han contribuido a un progreso significativo en el acceso al agua en las áreas rurales, las organizaciones comunitarias lidian contra muchos problemas como: el envejecimiento de la infraestructura, monitoreo de la calidad del agua, administración financiera (Kayser *et al.*, 2014), falta de participación de los usuarios y fondos para operación y mantenimiento y apoyos de tipo económico a nivel local y nacional (Smits *et al.*, 2013).

Domínguez *et al.*, (2016), afirma que los anteriores aspectos son particularmente complejos en las zonas rurales debido a la naturaleza de los servicios de agua, como por ejemplo, altos costos de capital y reemplazo, así como las características de los entornos rurales como la dispersión, baja densidad, pobreza y escasa disponibilidad de personal capacitado. Las limitaciones de la administración comunitaria para el acceso de agua potable ha llevado a la necesidad de que estas organizaciones demanden un apoyo

continuo en la etapa de posconstrucción u operación, pero sin embargo, hay países que todavía carecen de políticas o estructuras institucionales formales para respaldar estas organizaciones (Kayser *et al.*, 2014; Whittington *et al.*, 2009).

Dentro de la literatura de tipo investigativo-científico, se ha encontrado diferentes dimensiones sobre el acceso al agua potable en las zonas rurales. Existen estudios sobre la falta de cobertura, la deficiencia en la calidad o la seguridad del agua, ventajas y limitaciones de la gestión de la comunidad y modelos para la post-construcción o el apoyo externo. Sin embargo, dichos estudios son limitados y abordan este tema desde diferentes dimensiones y muy poco se integran (Domínguez *et al.*, 2016). Pero, aunque existen todavía problemas, se puede observar que se ha avanzado en el tema y existe actualmente un claro interés, tanto a nivel nacional como internacional, de poder garantizar un servicio sostenible a las comunidades rurales.

Finalmente, vale destacar que es considerable la falta de metodologías y herramientas prácticas que sirvan de guía o apoyo en el proceso de toma de decisiones desde un nivel local, lo cual permita hacer un análisis de cómo llevar adecuadamente el servicio de agua para consumo humano a las zonas rurales desde diferentes enfoques como lo social, ambiental, económico y tecnológico. De igual manera, en tiempos de cambio climático, se espera que los nuevos proyectos estructurados con esquemas diferenciales y los profesionales interdisciplinarios avocados por enfrentar los retos ambientales, puedan contribuir a tratar de solucionar el problema de garantizar agua potable de manera sostenible en las comunidades rurales que respondan a sus particularidades y así aportar al desarrollo regional, disminuyendo las brechas sociales entre la población urbana y rural.

1.2 Justificación

La política pública para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural está descrita en el CONPES 3810 del 2014. Dicho documento tiene como objetivo promover el acceso de agua apta para consumo humano en las áreas rurales, a través de soluciones acordes con las características de tales lugares. De igual forma, se menciona que se realizarán inversiones en los próximos años en infraestructura acorde al contexto rural, fomentando la estructuración de esquemas sostenibles para el acceso del agua potable.

Recientemente, se emitió el Decreto 1898 de 2016, en concordancia con el CONPES 3810 del 2014, donde se establece esquemas diferenciales para la prestación de servicios de acueductos en las zonas rurales, para lo cual podrán participar proyectos con soluciones alternativas. Lo anterior, destaca una necesidad de formular dichos proyectos de manera sostenible, considerando las características de la zona, condiciones técnicas, operativas, socioeconómicas, participación y aceptación de la comunidad.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo proponer una metodología de priorización y diferenciación que busque la sostenibilidad de los proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en una zona rural colombiana de estudio. Esta propuesta podrá contribuir a diseñar políticas y estrategias requeridas, desde diferentes organismos competentes, que posiblemente servirá de guía o apoyo en la toma de decisiones para asegurar la sostenibilidad de los servicios de agua potable en las distintas zonas rurales del país.

El proyecto contribuye a tratar de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU referentes a: agua limpia y saneamiento y ciudades y comunidades sostenibles. De igual forma, contribuye a los compromisos de Colombia adquiridos para la COP21 y el esfuerzo global de enfrentar el cambio climático.

1.3 Pregunta de investigación

¿Cómo elegir cuál es la mejor alternativa de proyectos de aprovisionamiento del agua para consumo humano considerando distintos criterios y características propias de la zona rural de estudio?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología de priorización y diferenciación que busque la sostenibilidad de los proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano considerando características propias de una zona rural colombiana.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Examinar distintos factores y características propias de la comunidad y su entorno rural de estudio.
- Identificar los proyectos de aprovisionamiento del agua para consumo humano aplicables al contexto rural colombiano de estudio.
- Establecer y seleccionar los criterios estratégicos de evaluación adecuados al área de estudio para la metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento del agua para consumo humano.
- Validar la metodología propuesta a través de la comparación de proyectos post-construcción de aprovisionamiento de agua para consumo humano de la zona rural de estudio.

2. El agua rural y la sostenibilidad

Este capítulo está dividido en dos partes. La primera parte hace referencia al concepto de la nueva ruralidad y sus paradigmas con respecto al servicio del agua a nivel mundial; también, se hace un breve recuento histórico del agua rural en Colombia y cómo ha sido influenciado por su normatividad; luego, se citan las alternativas tecnológicas de aprovisionamiento de agua más usadas en las zonas rurales según la fuente de agua y el tratamiento. La segunda parte menciona el marco de sostenibilidad que incluye los factores de sostenibilidad; los modelos de sostenibilidad en los servicios de agua que se han aplicado en los contextos rurales; y termina con la descripción de las metodologías de evaluación de la sostenibilidad de las alternativas tecnológicas.

2.1 La nueva ruralidad

2.1.1 El concepto de la nueva ruralidad

En las últimas décadas, se ha fortalecido el debate acerca de la visión del mundo rural en América Latina. Una de las discusiones que se ha generado es por la dicotomía urbano-rural, dentro de las que se destacan concepciones tradicionales como la necesidad del paso de lo rural hasta lo urbano; de la agricultura hacia la industria, de lo tradicional a lo moderno y de lo estático a lo dinámico, desvalorizando y subordinando así el papel de lo rural a lo urbano (Martinez, 2010).

Por otra parte, existe la percepción de asociar la ruralidad con lo agrario, debido a agendas políticas y programas de reformas agrarias implementadas en América Latina a lo largo de la mitad del Siglo XX. Pero, debido a que algunas reformas planteadas terminaron siendo insuficientes, a partir del año 1980 se empezó a estructurar un modelo de desarrollo neoliberal, con lo que se redujo el papel del estado y se fortaleció el mercado como asignador de recursos. Lo anterior, dio impulso a la agricultura competitiva, que en muchos

casos terminó elevando los costos de producción y afectando negativamente el desempeño agrícola debido a la desfinanciación oficial (Rojas, 2008).

Después de los agrídulces resultados, desde la década de 1990 se comenzó una reevaluación de los enfoques de desarrollo rural. Las nociones tradicionales de lo rural se estaban quedando anticuados debido a cambios sociales y políticos, la fuerza de la globalización y el auge de las nuevas tecnologías. Por lo tanto, numerosos académicos latinoamericanos propusieron la noción de la “nueva ruralidad”.

Los estudios de la nueva ruralidad se han centrado en los problemas emergentes del medio rural, como lo son los relativos a la pobreza; pero también han permitido puentes entre las nuevas tendencias rurales, como la aparición y crecimiento de las actividades económicas no agrícolas en lo rural, la multiocupación de la población rural, el surgimiento de nuevos actores rurales, la gestión sostenible de los recursos naturales, la adquisición de capacidades para la colocación de productos al mercado y los movimientos sociales cuyo principal reclamo es la autonomía de sus territorios (Babilonia, 2014; Rosas, 2013).

Un elemento importante para el desarrollo de la nueva ruralidad es el término de pluriactividad, que conduce a replantear aquellas visiones que tomaban la actividad agrícola como criterio exclusivo en la definición de ruralidad. Hoy en día, la nueva ruralidad se ve como el ámbito en el cual se desarrollan múltiples actividades económicas y sociales, a partir de los recursos naturales y de los diferentes pobladores que allí se encuentran, de las que se destacan: la agroindustria; la pesca; la ganadería; el turismo, las actividades pequeñas y las medianas de empresas manufactureras, la extracción, las artesanías, entre otros (Grajales & Concheiro, 2009; Pérez, 2004).

La importancia de la nueva ruralidad se fortalece y también se transforma por el papel que juegan actualmente las comunidades indígenas y campesinas en la gestión sostenible de los recursos naturales. Lo anterior se debe a que se encuentran en zonas naturales de importancia y al surgimiento de nuevas modalidades económicas, ecológicas, organizativas y autónomas, que actualmente presentan una combinación entre los métodos tradicionales adquiridos por generaciones y las innovaciones técnicas que posibilitan una mejora en su calidad de vida, entendido en los propios términos de las comunidades (Rosas, 2013).

Los aportes más significativos de la nueva ruralidad en el contexto colombiano se traducen en la disminución del sesgo sectorial del desarrollo rural; el descenso de la población económicamente activa en lo agrícola y el aumento de ingresos rurales por otras actividades; el reconocimiento de la heterogeneidad de los territorios y de los sistemas productivos; la ampliación del concepto de la población rural, que reconoce como tal a indígenas, campesinos, mineros, pescadores, artesanos, empresarios agrícolas y trabajadores del sector servicios; la incorporación de la variable “equidad de género”; el reconocimiento de la importancia del uso y conservación de los recursos naturales; la importancia del apoyo a la población rural para lograr el manejo adecuado del territorio y todos sus recursos; y la necesidad de la participación social y política de los actores rurales en el desarrollo (Babilonia, 2014).

También, recientemente el proceso de paz entre la guerrilla de las FARC y el Gobierno Nacional, busca en gran medida que la nueva ruralidad enfrente retos como disminuir la pobreza, fomentar el uso y la distribución equitativa de la tierra y asegurar la producción agropecuaria en un país que importa gran parte de sus alimentos (Barragan, 2017). Lo que quiere decir que existe un interés y una apuesta de dichos acuerdos de paz para la transformación del campo hacia esa nueva ruralidad.

Por ende, la perspectiva de la nueva ruralidad debe entenderse como un concepto polisémico, es decir, que permita el desarrollo de trabajos interdisciplinarios que den cuenta de las transformaciones del mundo rural. La noción heterogénea de la nueva ruralidad resulta valiosa, la cual reconoce la diversidad de todos los actores sociales, las instituciones, las tradiciones y los recursos naturales (Rojas, 2008). Esta concepción ayuda a visibilizar la complejidad del mundo rural, al tiempo que permite potenciar la gestión de las instituciones, y plantear, en el marco de los nuevos paradigmas, la equidad frente a las desigualdades sociales, étnicas y de género y la gestión sostenible de los recursos naturales.

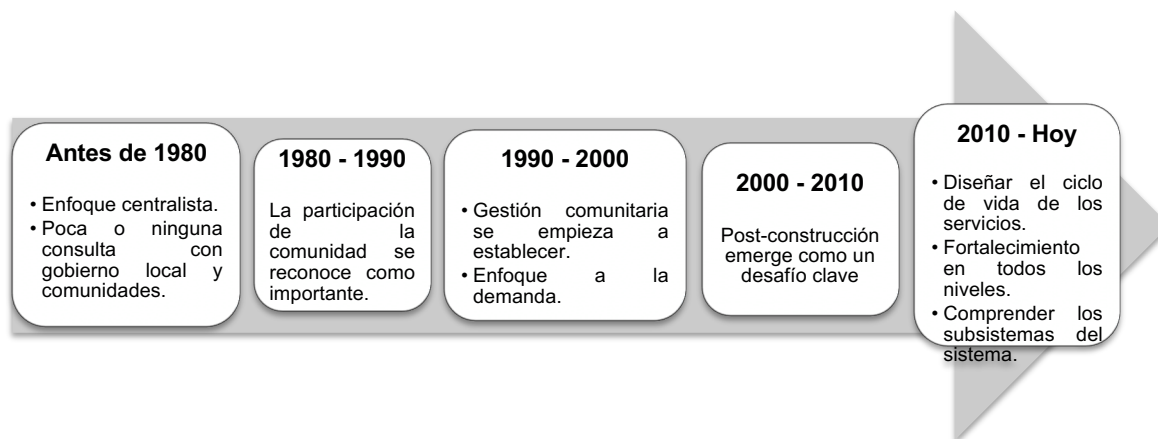
Finalmente, la nueva ruralidad brinda un marco de referencia para estudiar, por una parte, las transformaciones económicas, sociales, políticas, tecnológicas, privilegiando la relación local-global, que vinculen actores de la sociedad rural, con su medio natural y sus pluriactividades; y por otra, indagar sobre cuáles pueden ser las nuevas políticas públicas que respondan a los nuevos desafíos rurales y terminen incidiendo en el desarrollo sostenible de los territorios (Babilonia, 2014).

2.1.2 El agua rural

En la nueva ruralidad es importante garantizar la provisión de los servicios básicos y sostenibles para el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes como: la energía eléctrica, el agua potable y el saneamiento. El agua, que es un recurso natural, se obtiene para el consumo y diversos usos por parte de las comunidades rurales. Actualmente, el ciclo del proyecto de inversión para el suministro del agua rural contempla tres etapas: la preinversión, donde estima la demanda de la comunidad y otros aspectos claves para la factibilidad; la inversión con la implementación de la infraestructura y la capacidad organizativa para manejar el sistema; y la post-construcción que engloba la operación, mantenimiento y administración (Mejía *et al.*, 2016). Pero, a lo largo de la historia, el ciclo del proyecto del agua ha sido entendido bajo diversos paradigmas, influenciado por los procesos socio-económicos y políticos que existen en el sector.

En un panorama rural cambiante, los paradigmas hacia la prestación de servicios rurales del agua han venido evolucionando a lo largo del tiempo con ideas progresivas, como se puede detallar en la Figura 1 (World Bank, 2017a). Antes de 1980, el enfoque mundial era netamente centralista, ya que las instituciones de nivel nacional, encargadas del aprovisionamiento del agua, influenciaban predominantemente las primeras fases del ciclo del proyecto. Se desvaloraba la participación de las comunidades, limitándolas algunas veces sólo a la fase de construcción para reducir los costos, y en la mayoría de los casos los proyectos no respondían a las condiciones locales (Munasinghe, 1990).

Figura 1: Evolución de los paradigmas en el sector del agua rural



Tomado y modificado a partir de World Bank (2017)

Desde la década del ochenta hasta los noventa, se empezó a introducir la necesidad de la sostenibilidad de los servicios de agua. El papel de la participación comunitaria fue reconociéndose como importante y experimentó un cambio significativo en el transcurso de la década, debido a que se incluyó la intervención de los usuarios del sistema en la toma de decisiones de los aspectos iniciales del proyecto. Sin embargo, a principios de los noventa, se hizo notorio el fracaso de la implementación del servicio de agua, orientado a la oferta, porque la planificación todavía seguía teniendo un enfoque en gran medida desde “arriba hacia abajo”¹ y no desde “abajo hacia arriba”² (WHO, 1992). De igual forma, los esquemas rurales del agua tendían a centrarse más en la construcción de las instalaciones para aumentar el acceso rápidamente sin prestar atención en la fase posterior a la construcción. Lo anterior llevó a una reinversión de los costos después del colapso de los esquemas de agua en las zonas rurales, por lo que desde mediados y finales de la década del 90, se decidió plantear nuevos enfoques destinados a mejorar la sostenibilidad del servicio (Andres *et al.*, 2017).

En la búsqueda de nuevos enfoques, el consenso fue que el suministro del agua debía ser receptivo a la demanda, es decir, que se establecía la participación comunitaria y la contribución de la comunidad hacia los costos de capital de operación y mantenimiento, con el fin de reducir la dependencia de los niveles más altos de gobierno (Sara & Katz, 1997). Con este modelo, se avanzó en garantizar que las comunidades se apropiaran de sus sistemas de agua y que las tecnologías estuviesen en línea con las necesidades y capacidades de los usuarios. Tal enfoque, evolucionó a medida que se aclararon sus limitaciones y se identificó la pertinencia de un apoyo técnico, institucional y financiero continuo para las organizaciones comunitarias (Andres *et al.*, 2017).

Aunque el enfoque a la demanda traía más éxito que el enfoque a la oferta, como en el nivel del servicio y la satisfacción del usuario, la mayoría de los donantes de recursos internacionales articulados con las entidades nacionales y regionales, diseñaban pocos programas rurales de aprovisionamiento de agua con apoyo posterior a la construcción. Pero, cada vez más, se fue argumentando la idea de que no se debe dejar a la suerte a

¹ Diseñados por técnicos desde un nivel institucional con sólo información secundaria sin involucramiento real con las problemáticas reales del territorio.

² Incorpora a los actores del territorio como creadores de la política pública.

las comunidades después de que se implemente un proyecto de agua, sino que se tiene que realizar un acompañamiento y seguimiento para la sostenibilidad del servicio (World Bank, 2009). Tal fue así que, a principios del año 2000, se ha puesto más énfasis en proporcionar apoyo continuo a los proveedores de servicios rurales, lo que, en términos coloquiales, se le conoce como “apoyo a la post-construcción” y a menudo lo proporcionan diversas entidades del gobierno. La idea es que se debe proporcionar asistencia en todos los retos que se enfrenta una organización comunitaria y no sólo limitarse a las nociones técnicas tradicionales de la operación y el mantenimiento (Lockwood, 2002).

La década del año 2000 también fue testigo de la diversificación de los modelos de prestación del servicio del agua, entre ellos, la participación del sector privado en las zonas rurales y en las pequeñas ciudades (World Bank, 2017a). No obstante, el papel del sector privado es muy limitado porque se presentan altos riesgos, bajas tasas de rendimiento, ausencia de un marco regulatorio y los mercados son muy pequeños. Por lo tanto, no existe una participación considerable de inversores privados. Y es que, de hecho, el sector privado se desempeña más como un actor proveedor de bienes y servicios, y no como un inversionista (Dardenne, 2006; Smits & Lockwood, 2015).

A partir del año 2010 hasta el día de hoy, el paradigma del agua rural se enfatiza en la importancia de incluir sistemas de gobernanzas más amplios, no solamente en la fase de implementación, sino que debe involucrar un entorno propicio para los aspectos de la política económica y de las instituciones que apoyen la amplia gama de proveedores de los servicios. Si se quiere que la prestación de los servicios sea más sostenible, sigue siendo fundamental apreciar las características heterogéneas del suministro de agua rural y las complejidades de los contextos locales (World Bank, 2017a).

Por último, también vienen adquiriendo relevancia los temas de desarrollo de nuevas tecnologías; el análisis del ciclo de vida de los sistemas; el completo monitoreo y control; la innovación en el financiamiento y en los enfoques de gestión; y el empoderamiento de las comunidades para garantizar la sostenibilidad del servicio (RWSN, 2018). Pero, está cogiendo cada vez más fuerza y atención la visión en la que cada aspecto anterior puede corresponder a una parte importante de la caja de herramientas, donde cada pieza se puede relacionar y complementarse una con la otra, admitiendo así la adopción de un

enfoque sistémico. Por lo tanto, si se quiere que todo el sistema del servicio del agua rural funcione, todos los subsistemas también deben funcionar al tiempo (Moriarty, 2017).

2.1.3 Breve historia del sector de agua rural en Colombia

Desde los años de 50 hasta 1987, la provisión de los servicios de agua en Colombia se realizaba de manera centralizada: en la zona urbana se creó el Instituto de Fomento Municipal INSFOPAL, que atendía a municipios mayores a 2.500 habitantes y a un nivel rural, mediante el Instituto Nacional de Salud (INS) con el Programa de Saneamiento Básico Rural (Rojas *et al.*, 2011). Pero, después de numerosos paros registrados entre 1971-1980, la mayoría relacionada con problemas en los servicios públicos era cada vez más notable la necesidad de una participación más amplia solicitada por la comunidad, de lo contrario generaría más conflictos sociales.

Debido a lo anterior y sumado a otras consideraciones, la Ley 11 de 1986 dotó a los municipios de un estatuto administrativo-fiscal con autonomía propia, que significó un gran avance en el fortalecimiento de la democracia y la interpretación de las problemáticas de las comunidades desde una mirada local (Amar & Judith, 2008). Por consiguiente, con el Decreto 77 de 1987, se les entregó la responsabilidad del servicio del agua a las administraciones municipales, generando un modelo de gestión descentralizado. INSFOPAL se liquidó y se eliminaron los programas del INS para la gestión del recurso en las zonas rurales (Giraldo, 2008).

El proceso de descentralización del servicio de agua se profundiza con la Constitución Política Colombiana de 1991 y la expedición de la Ley 142 de 1994, las cuales fortalecieron la función de los municipios como responsables de garantizar adecuadamente la prestación de los servicios de agua (Smits *et al.*, 2012). Es decir, que el municipio se vuelve “autoridad del servicio”, encargado de aspectos como la planificación, coordinación, monitoreo y vigilancia (Lockwood & Smits, 2011). Sin embargo, la tarea de prestar específicamente el servicio recae a las empresas u organizaciones comunitarias, lo que puede afirmarse como una mayor incursión del prestador privado, transformando en mayor medida el rol del Estado a ser netamente regulador y donde hoy su atención se enfoca en que dichas normativas sean de calidad (Montoya, 2016; Valencia, 2004).

La Ley 142 de 1994 también instauró un marco regulatorio, creando dos entidades independientes: la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), como

ente encargado de hacer control y vigilancia de las empresas prestadoras de servicios públicos; y la Comisión de Regulación de Agua (CRA), que estructura las comisiones de regulación independiente para cada servicio (Montoya, 2016).

Para acceder al servicio del agua, los municipios deben establecer procesos de convocatoria pública, donde según el Artículo 15, los que pueden prestar el servicio son: las empresas de servicios públicos, las personas naturales o jurídicas con actividades relacionadas, los municipios cuando asumen de forma directa y las organizaciones comunitarias. En el caso de las zonas rurales, adquirieron una mayor importancia las organizaciones comunitarias, reglamentadas después en el Decreto 421 de 2000, ya que se les dio el reconocimiento formal y legal de este tipo de entidades como prestadoras de servicios de agua, función que venían ejerciendo desde hace mucho tiempo de manera informal (Rojas *et al.*, 2011).

En el año 2007, se puso en marcha los Planes Departamentales de Agua (PDA), entregando la estrategia del sector del agua a los Departamentos, a través de la creación de unidades o secretarías internas, cuyas estrategias son: 1) coordinar el enlace con el Gobierno Nacional para la implementación; 2) articular las necesidades locales con los planes de inversión, 3) buscar las diferentes fuentes de recursos, entre ellos el acceso al crédito; 4) estructurar el esquema institucional de prestación y la selección de los operadores; 5) ejercer un control sobre los recursos y el cumplimiento de las normas. No obstante, aunque existe un consenso entre las autoridades sectoriales respecto de los PDA como un fin para la regionalización del servicio, existen numerosas dudas sobre su eficacia, ya que no ha habido cambios significativos en las condiciones de prestación del servicio (Ramírez, 2011).

Posteriormente, el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (PND, 2015), incluyó la necesidad de definir una política integral de acueducto para el sector rural, por lo tanto, en cumplimiento a lo dispuesto, se expidió en julio del 2014 el documento CONPES 3810 del 2014. Tal documento busca promover las soluciones acordes a las características de las áreas rurales en materia de acceso a agua potable. En él se actualiza el diagnóstico de la situación del servicio en zona rural de Colombia, se presentan las problemáticas asociadas y se procura la inversión en infraestructura con esquemas sostenibles acordes a los distintos contextos (CONPES 3810, 2014).

La normativa más reciente en el sector del agua rural es el Decreto 1898 de 2016, que acorde con el CONPES 3810 del 2014, reglamenta el Artículo 18 de la Ley 1753 de 2015, 2015, en lo referente a esquemas diferenciales para la prestación del servicio de acueducto en zonas rurales. Dicho Decreto menciona que, para la formulación de proyectos con soluciones alternativas, se tendrá que tener en cuenta: el diagnóstico de la fuente de aprovisionamiento de agua, el análisis que sustenta la selección de soluciones alternativas, la comparación de al menos tres opciones, entre otros componentes. Para el análisis y la selección de la solución, se enfatiza únicamente la consideración de factores técnicos, operativos y económicos.

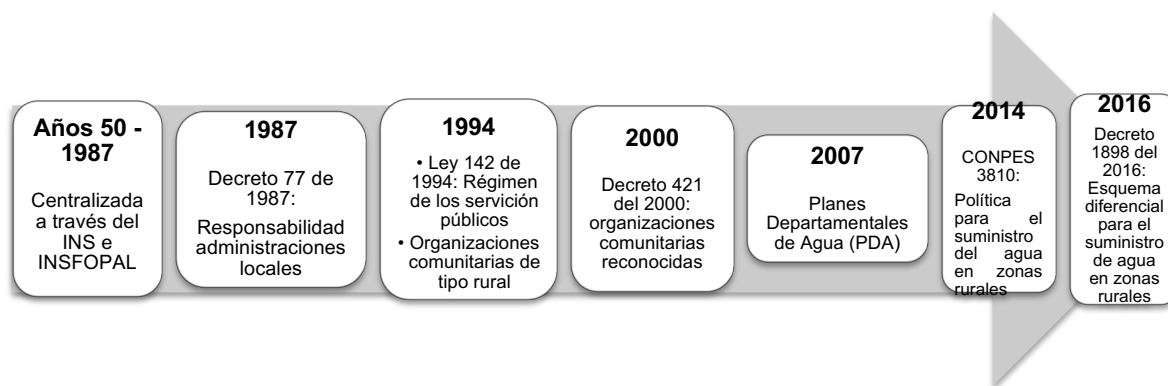
Para el año 2017 se realizaron cambios en el Reglamento Técnico del Sector del Agua (RAS), entre los que se destaca que las consideraciones técnicas de los sistemas pasaron a ser generales y no tanto específicas como los que proponía el RAS del año 2000. Como algo nuevo, el Artículo 14 del RAS del año 2017 detalla que la metodología de selección de la alternativa tecnológica para el aprovisionamiento de agua más favorable en las zonas urbanas deberá tener en cuenta criterios de sostenibilidad, a partir de la evaluación de aspectos económicos, ambientales, técnicos y sociales, donde la definición de variables y valores de ponderación deberán evaluarse mediante el empleo de matrices de selección multicriterio. Vale señalar, que, para el escrito de la presente investigación, todavía no ha sido publicada la reglamentación técnica diferencial para las zonas rurales.

Entre tanto, con el propósito de garantizar que el servicio del agua sea apto para consumo humano, se aplica la Resolución 2115 de 2007, tanto en las zonas urbanas como en las zonas rurales, donde se señalan estándares de los parámetros físico-químicos y microbiológicos para la adecuada calidad del agua. También, se está a la espera de que salga a la luz el decreto especial y flexible para las zonas rurales, debido a que la Resolución 2115 de 2007 tiende a ser poco aplicable para este tipo de contextos.

En los últimos años, la discusión de la agenda nacional ha girado en torno al proceso de paz con la guerrilla de las FARC y el Gobierno colombiano. El texto del Acuerdo, celebrado en el año 2016 en el Teatro Colón y refrendado después en el Congreso de la República, en el Capítulo “Hacia un Nuevo Campo Colombiano: Reforma Rural Integral”, menciona la importancia de garantizar condiciones de vida digna a las personas que habitan en la ruralidad, donde será fundamental: “la promoción y aplicación de soluciones tecnológicas apropiadas para garantizar el acceso al agua potable” (Gobierno Nacional y FARC, 2016).

Finalmente, será necesario estar al tanto sobre las novedades en política pública y normativas en los próximos años en un eventual pos-acuerdo, acciones que han estado muy ligadas, como se ha visto a lo largo de la historia, en el sector del agua rural (ver Figura 2). Se espera que estas nuevas reglamentaciones incluyan otros criterios, a parte de los económicos y tecnológicos, en la selección de la alternativa de aprovisionamiento de agua. También, que terminen dando el verdadero reconocimiento a las organizaciones comunitarias y su labor en la ruralidad colombiana en la gestión de los recursos naturales.

Figura 2: Línea de tiempo sobre la normativa del servicio de agua rural en Colombia



Elaboración propia

2.1.3.1 La gestión comunitaria del agua

La agenda de la gestión comunitaria del agua se empezó a visibilizar desde la década de los ochenta debido a los enfoques centralizados y orientados a la oferta. Se le dio impulso a principios de la década de los noventa con la Declaración de Nueva Delhi, que, por primera vez en una conferencia mundial del agua, la gestión comunitaria era respaldada en los principios rectores (Whaley & Cleaver, 2017). Para lo anterior, se debía promover dicha gestión y el fortalecimiento de las instituciones para los programas de aprovisionamiento de agua. El énfasis de la gestión comunitaria se acrecentó en 1991 con la Nordic Fresh Water Initiative, donde llama la atención que la responsabilidad de la gestión del agua se debía dar en el nivel más cercano al problema (Bastidas & García, 2002).

Después, en la Declaración de Dublín en 1992, el tema siguió destacándose porque suscitaba a basarse en un enfoque participativo en temas de desarrollo y la gestión del agua (Schouten & Moriarty, 2003). Por otra parte, en la Cumbre de la Tierra de 1992, organizada por la UN, en Río de Janeiro, se propendió en garantizar la sostenibilidad del servicio de agua. La toma de decisiones a nivel local, a través de la gestión comunitaria, implicaba cada vez más una intervención en las fases de implementación, operación y mantenimiento del proyecto (Whaley & Cleaver, 2017). Recientemente, dentro de las metas del Objetivo 6 de los ODS, se espera que en los próximos años se tome la acción de “apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua”. Por lo tanto, como resultado de estos procesos, la gestión comunitaria se ha convertido en un eje central de los discursos políticos y profesionales en el tema del suministro del agua rural (Whaley & Cleaver, 2017).

El concepto de la gestión comunitaria se basa en la teoría de los recursos comunes y la acción colectiva, que afirma que los individuos se organizan voluntariamente para obtener beneficios del uso de los recursos naturales; se deben comprometer en una estrategia cooperativa que ellos mismos diseñan, con fundamento en sus capacidades de autorregulación, autogestión y en el reconocimiento de los niveles de gobernanza (Bernal *et al.*, 2014). Así, las comunidades configuran grupos con autoridad de decisión sobre la gestión del recurso, entendiéndose que son la máxima expresión de la participación, implicando un proceso de toma de decisiones, donde se determina el futuro de la organización en términos de desarrollo en el sector del agua (Bastidas & García, 2002).

En Colombia, existe una larga tradición de la gestión comunitaria alrededor de los servicios de agua en las zonas rurales. A finales de la década de los sesenta, las comunidades rurales tomaron bajo su responsabilidad la prestación de los servicios de agua (Smits *et al.*, 2012). Tales organizaciones han logrado sobrevivir por décadas a las continuas reformas administrativas y políticas, las cuales han aprovechado el vacío estatal y por ende han tomado acción con sus propias manos para construir sus sistemas de agua, es decir, sus propios acueductos comunitarios (Croteau, 2016; Moncada *et al.*, 2013).

Según Correa (2006), dentro del contexto colombiano, los acueductos comunitarios se definen como:

Entidades complejas en sentido histórico, social, económico e institucional, pues ante todo son construcciones populares en torno a la gestión del agua que hacen parte de los territorios sociales en veredas, resguardos indígenas, territorios de comunidades negras y barrios de diferentes regiones y ciudades del país. Como tal, son instituciones populares, diversas, integrantes del patrimonio público nacional y por su condición sociocultural y territorial, y por su objetivo público, el agua como bien común y derecho fundamental.

La presencia del acueducto fortalece la creación de vínculos entre la comunidad y territorio, y es al mismo tiempo una valiosa oportunidad de gestión ambiental (Cadavid, 2009). Tanto así, que han tenido incidencia en el desarrollo local e integral en los territorios, pasando de generación en generación, consolidando y defendiendo la identidad de las comunidades (Giraldo & Villada, 2011). En este contexto, se puede afirmar que un acueducto comunitario es un actor que constantemente lucha como otra opción, distinta al Estado y al mercado, que mejor puede ejemplificar el tema de la gestión integral y equitativa del recurso hídrico (Cadavid, 2009; Correa, 2006). Debido a lo anterior, se les debe reconocer las características como: la autogestión, el trabajo solidario y la prestación del servicio principalmente en la ruralidad colombiana (Defensoría del Pueblo, 2013).

Las comunidades asumen los roles de administración, operación y mantenimiento de los sistemas, con criterios de eficiencia y equidad, definidos o readaptados a nivel local. También, deben asumir el control, la autoridad, la responsabilidad y proyección de la prestación del servicio, y establecer relaciones con las instituciones del sector y organizaciones no gubernamentales que apoyan la labor (Smits *et al.*, 2012).

Hoy, según la Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios se cuenta con más de 1.500 acueductos rurales inscritos ante la entidad, y se cree que existen 12.000 prestadores del servicio, cifra que probablemente sea mucho mayor debido a la gran cantidad de informalidad que existe en el sector (Vega, 2016). Las características que tienen estos tipos de sistemas son muy diversas, desde cómo se origina hasta quienes los conforman, lo que evidencia la riqueza con la que cuenta la sociedad de la ruralidad colombiana (Moncada *et al.*, 2013).

En definitiva, la gestión comunitaria del agua ha tomado un papel importante dentro de la ruralidad colombiana. Pero, todavía quedan muchos retos por resolver. Por ejemplo, la

mayoría de los prestadores no reciben apoyo a la post-construcción, debido a la falta de disposiciones claras del sector (Smits *et al.*, 2012). También, como existen distintas formas asociativas y no hay un régimen unificado, se hace difícil la vigilancia y el control por parte de las autoridades encargadas (Defensoría del Pueblo, 2013). Lo otro, es la ausencia de una legislación que normalice todo lo que respecta a la gestión comunitaria y de los acueductos, que tenga en cuenta las particularidades y necesidades según el tipo de organización (Red Nacional de Acueductos Comunitarios, 2017).

Por lo tanto, es necesario enfatizar que el compromiso con la gestión comunitaria debe ser pragmático y no tanto ideológico (Hutchings *et al.*, 2015). Se debe reconocer los avances y las debilidades, para poder seguir avanzando en la temática. Las estrategias articuladas deben permitir la democratización, es decir, que los acueductos comunitarios incidan en las políticas públicas, donde la toma de decisiones sea un producto de la voluntad colectiva y responsable de cada uno de los actores participantes (Villada, 2012). De esta manera, el rol de las comunidades organizadas se convierte en una herramienta fundamental para entender cómo gobernar el recurso del agua de una manera sostenible.

2.1.3.2 Las comunidades indígenas en la gestión del agua

En los últimos 40 años, las convenciones y protocolos a nivel mundial han señalado su preocupación por los derechos de los recursos de las comunidades indígenas. En el año 2003, en el Tercer Foro Mundial del Agua, los pueblos indígenas declararon que se esforzarían por proteger y preservar la calidad del agua, y así ejercer su derecho a las relaciones culturales y espirituales del recurso hídrico. Los cambios en los sistemas de gobernanza deberán tener en cuenta los impactos socioeconómicos de las comunidades indígenas, ya que dependen del agua para su sustento y bienestar. De igual forma, a medida que el crecimiento y el desarrollo imponen una presión creciente sobre los sistemas naturales, siempre será fundamental que las poblaciones étnicas puedan mantener el uso consuetudinario del agua para su sustento (Jackson *et al.*, 2012).

En Colombia, en el Artículo 7 de la Constitución Política Colombiana de 1991, se reconoció como una nación pluriétnica y multicultural, lo cual significó el reconocimiento de los grupos étnicos como sujetos de derechos (individuales o colectivos), con interlocución válida en

los procesos políticos, sociales, económicos, culturales y territoriales (Salavarieta, 2017). En este sentido, el Artículo 246 de la Constitución de 1991 crea una jurisdicción propia para los indígenas y los Artículos 286 y 287 establecen que las entidades territoriales gozan, dentro de la carta magna y de la ley, de autonomía para la gestión de sus intereses. Debido a lo anterior, pueden gobernar como autoridades propias, participar de las rentas nacionales, ejercer las competencias que les corresponda, administrar los recursos y establecer los tributos necesarios para el cumplimiento de sus funciones (Molina, 2012).

También, en el Artículo 330 de la Constitución de 1991, afirma que los territorios indígenas basados en sus “usos y costumbres”, podrán ejercer funciones como la explotación y la preservación de sus recursos naturales. Pero, el término “usos y costumbres”, ha sido debatido porque por lo general suele referirse a los sistemas normativos indígenas, donde no se les reconoce como derecho o sistema jurídico, sino que se les da un estatuto inferior (Gentes, 2001). Aunque recientes sentencias de la Corte Constitucional estipulan que el derecho al consumo del agua potable está relacionado con la integridad étnica y cultural del territorio indígena al que pertenecen, todavía no existe un marco regulatorio para que dichas poblaciones puedan garantizar el manejo local y colectivo del agua, en el cual se promueva la autogestión comunitaria.

2.1.4 Alternativas tecnológicas en el agua rural

Dentro de los desafíos en la zona rural está garantizar la cantidad y calidad suficiente de los servicios de agua para las comunidades. Dentro de la literatura, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) con la Agencia Suiza para Desarrollo y Cooperación (COSUDE) y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia se pueden encontrar distintas alternativas aplicadas en el contexto rural.

Dentro de las generalidades de la prefactibilidad del proyecto es importante tener presente para las alternativas de aprovisionamiento de agua:

- **Demografía:** el número de usuarios beneficiados por el servicio, la dotación de agua en litros por habitante y día, si la vivienda es concentrada o dispersa, y si la población es permanente, flotante o migratoria.

- La fuente de abastecimiento de agua: clasificada según su procedencia, como las aguas superficiales (quebrada, río, mar), las aguas subterráneas y las aguas atmosféricas (lluvias y neblina).
- Condición económica: los niveles de ingresos económicos de los usuarios afectan directamente el monto de inversión, operación y mantenimiento de la alternativa, limitando así la opción tecnológica y el nivel del servicio.

En el caso de los servicios de agua rural, las alternativas tecnológicas pueden dividirse según la captación de agua o el tratamiento del agua, dentro de las cuales se pueden encontrar tanto sistemas convencionales y sistemas no convencionales (OPS & COSUDE, 2006).

2.1.4.1 Alternativas según la captación del agua

Las alternativas según la captación del agua en zonas rurales son factibles según la naturaleza de la fuente de abastecimiento de agua. En la Tabla 1 se presentan algunas, dentro de las que se encuentran algunas convencionales como la captación por bombeo y no convencionales como la captación de aguas lluvias y de agua de niebla.

Tabla 1: Tecnologías para la captación del agua en zonas rurales

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Captación por bombeo	Son sistemas cuyas fuentes de agua son subterráneas, afloran o se encuentran por debajo de la cota mínima de abastecimiento. También se utilizan para las aguas superficiales. Pueden ser: manuales, centrífugas accionadas con gasolina, diesel o eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fácil operación. ▪ No requiere de mucho mantenimiento y no es tan riguroso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere elevada inversión para su implementación. ▪ Las tarifas del servicio de energía o compra de combustible puede resultar costosa.
Captación de aguas lluvias	Son sistemas unifamiliares o multifamiliares en donde las aguas lluvias se captan en los techos de las viviendas y se acumulan en tanques de almacenamiento.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Buena calidad físicoquímica del agua. ▪ Apropiado para comunidades dispersas. ▪ No requiere el uso de energía eléctrica. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerable costo inicial para la inversión. ▪ La cantidad de agua depende del área recolectada y la intensidad de lluvias.
Captación de agua de niebla	Son sistemas hechos para captar el agua de la atmósfera en zonas donde las	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La cantidad de agua depende de la

condiciones climáticas son de neblina permanente. Se utilizan mallas planas que son capaces de capturar gotas de agua de la neblina.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Buena calidad fisicoquímica del agua. ▪ Apto para sistemas unifamiliares. ▪ No requiere el uso de energía eléctrica 	condición climática de neblina.
--	---	---------------------------------

Elaboración propia a partir de OPS & COSUDE (2006) y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010)

2.1.4.2 Alternativas según el tratamiento del agua

Para la selección de las alternativas de tratamiento del agua, se debe realizar primero una evaluación de la calidad del agua. Según Romero (2013) son:

- Características físicas: color, olor, sabor, turbidez y sólidos.
- Características químicas: alcalinidad, acidez, dureza, grupo de nitrógeno, oxígeno disuelto, DBO, DQO, entre otros.
- Características microbiológicas: bacterias, virus y parásitos.

Para tratar la calidad del agua para consumo humano, existen tratamientos físicos, químicos, biológicos y combinaciones de ellos. Todos los tratamientos tienen ventajas, desventajas y limitaciones de implementación (Leal, 2005). Las alternativas según el tratamiento del agua, se pueden clasificar, según Loo *et al.* (2012) en:

- **Tecnologías de agua sin membranas:** son los métodos que envuelven tratamientos físicos, como los métodos químicos; y los métodos de procesos térmicos o basados en la luz. La Tabla 2 detalla algunas de las alternativas.

Tabla 2: Tecnologías para el tratamiento del agua sin membranas

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Filtro de arena lento	Comúnmente usado para cada hogar. Se utilizan camas de arenas con microorganismos que forman una película delgada, responsable de eliminar los patógenos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No requiere el de uso químicos. ▪ Fácil de usar. ▪ Puede ser construido con material local. ▪ Bajo costo de inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere gran superficie. ▪ No mantiene un régimen continuo de flujo. ▪ Mala remoción de virus. ▪ Demorado al inicio.

Filtros de cerámica	El sistema filtra el agua a través de un material poroso denominado "filtrón".	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puede ser construido con material local. ▪ Elimina bacterias y protozoos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El mantenimiento debe ser regular. ▪ Lixiviación de algunos metales. ▪ Bajo caudales de agua.
Cloración	Usa generalmente hipoclorito de sodio para la desinfección. Es colocado en los tanques de las casas en forma de pastillas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Protección al agua residual. ▪ Bajo costo de inversión y operación. ▪ Reducción significativa de microorganismos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formación de subproductos. ▪ Posible problema en la aceptación de la comunidad por su sabor.
Hervir el agua	Hervir el agua en la casa puede eliminar algunos patógenos en el agua como bacterias y virus.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Posibilidad de alta aceptación social. ▪ Fácil de realizar. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo debido al uso de energía. ▪ No remueve contaminantes químicos
SODIS: desinfección solar de agua	Utiliza botellas PET en el techo que elimina bacterias gracias al efecto sinérgico entre los rayos UV y el incremento de la temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mejora la calidad microbiológica. ▪ Fácil de usar. ▪ Muy bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No puede tratar aguas turbias. ▪ Necesita de suficiente radiación solar. ▪ Bajo caudales de agua.
Destilador solar	Es una tecnología que utiliza el principio del ciclo hidrológico, donde se evapora el agua por la radiación solar, dejando remanente los sólidos, luego el agua ya purificada se condensa para consumo.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desinfecta y desaliniza. ▪ Utiliza materiales locales. ▪ Bajo costo en la implementación y operación. ▪ Fácil mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere mucha mano de obra y habilidades para la instalación. ▪ Depende de factores del clima, como: la radiación solar y las precipitaciones. ▪ Bajo rendimiento.

Elaboración propia a partir de Leal (2005), OPS & COSUDE (2005) y Loo *et al.* (2012)

- **Tecnologías de agua con membranas:** los procesos con filtros de membrana pueden ser clasificados en función de la fuerza impulsora de separación, como la presión, la temperatura y las diferencias osmóticas a través de la membrana (ver Tabla 3).

Tabla 3: Tecnologías para el tratamiento del agua con membranas

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Microfiltración	Contiene poros de aproximadamente 0,03 a 10 µm. Remueve material particulado como arena, arcilla y algunos microorganismos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fácil de operar. ▪ Elimina ciertos tipos de microorganismos. ▪ Puede ser automatizado. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo moderado de inversión y operación. ▪ Son necesarios los pretratamientos.

Ultrafiltración	Se realiza por medio de membrana de tamaño de poro aproximado entre 0,002 y 0,1 μm y ejercicio de presión para que el agua atraviese la membrana.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fácil de operar. ▪ Excelente removedor de microorganismos. ▪ Reduce la turbiedad del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo elevado de inversión y operación. ▪ Son necesarios los pretratamientos. ▪ Descomposición de la membrana.
Ósmosis inversa	Se basa en el uso de una membrana semipermeable que permite el paso del agua, pero no de iones disueltos. La membrana tiene poros mejores a 1 nm.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Remueve todos los iones y los sólidos presentes en el agua. ▪ Mejor flexibilidad cuando se desconoce la calidad del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alto consumo de energía. ▪ Costo muy elevado de inversión y operación. ▪ Se necesitan habilidades avanzadas para la operación.

Elaboración propia a partir de Leal (2005) y Loo *et al.* (2012)

También, en las zonas rurales, podemos encontrar sistemas que integran distintos procesos, como por ejemplo las plantas convencionales y compactas (ver Tabla 4).

Tabla 4: Tipos de plantas utilizadas en las zonas rurales

Tecnología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Planta convencional	Contiene los procesos unitarios separados de pretratamiento, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneja altos caudales de agua. ▪ Puede emplear a varios pobladores. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necesita una gran cantidad de espacio. ▪ Altos costos en la implementación.
Planta compacta (procesos integrados)	Integra algunas operaciones de coagulación, floculación, filtración y desinfección unidas en un único equipo.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poco espacio utilizado. ▪ Fácil para la operación y el mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los tiempos de residencia no se adecúan con las necesidades. ▪ Los caudales son limitados. ▪ Muy ligado a la fuente de agua.

Elaboración propia a partir de las notas del curso de Tratamiento de la calidad del agua

2.1.5 Selección de alternativas tecnológicas en el agua rural

Con la identificación de los tipos de tecnologías más usados en las zonas rurales, el paso siguiente es la selección y priorización de dichas alternativas, para lo cual se han usado metodologías para el aprovisionamiento del agua en América Latina como lo describe la Tabla 5.

Tabla 5: Metodologías de selección de tecnologías aplicados en las zonas rurales

Metodología	Autor	Descripción
Selección de tecnologías y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua (SelTec)	Galvis & Vargas (2000)	El modelo presenta niveles de selección que actúan como “filtro” donde se van descartando las tecnologías que no cumplen las condiciones de acuerdo con los valores asignados en cada nivel.
Seleção de tecnologias de tratamento de água em função do risco e eficiência das ETAs	Sabogal-Paz & Bernardo (2009)	Es un modelo conceptual de selección en función de la eficiencia y el riesgo de las tecnologías de tratamiento de agua. Está categorizado en quince sub-niveles, de acuerdo a los datos de entrada, criterios, procedimientos y selecciones establecidos en la estructura.
Consideraciones para la selección de la opción tecnológica y nivel de servicio en sistemas de abastecimiento de agua	OPS & COSUDE (2006b)	El CEPIS desarrolló un algoritmo que facilita la selección de las opciones técnicas convencionales y no convencionales para el abastecimiento de agua y el nivel de servicios en comunidades rurales. Lo anterior, se realiza teniendo en cuenta factores como: sociales (características población), económicos (recursos económicos), técnicos (dotación de agua, tipo de fuente de abastecimiento y su ubicación).

Elaboración propia

2.2 La sostenibilidad en el agua rural

Antes de empezar a hablar sobre la sostenibilidad, primero hay que referirse a la definición de desarrollo sostenible. Tanto así, que, a finales del Siglo XX, el paradigma prevaleciente sobre lo que se consideraba desarrollo se estaba comenzando a cuestionar. Los países identificaron la relación entre el progreso económico, la protección del medio ambiente y la inclusión social, temas que se fueron asociando al concepto de desarrollo sostenible (Marques *et al.*, 2015). Dentro de las definiciones más utilizadas, se encuentra la que fue promulgada en el año 1987 por “Our Common Future”, también conocida como el Informe de Brundtland, de la Comisión en Medio Ambiente y Desarrollo de la UN, donde afirma que: “es el desarrollo (sostenible) que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones”.

La definición de Brundtland del desarrollo sostenible está estrechamente relacionada con el objetivo de la equidad intergeneracional (Hunter *et al.*, 1993). Tal objetivo se puede describir como:

El desarrollo sostenible reconoce la responsabilidad de cada generación de ser justa con la siguiente generación, mediante la entrega de una herencia de riqueza que no puede ser menor que la que ellos mismos han recibido. Alcanzar este objetivo, como mínimo, requerirá hacer énfasis en el uso sostenible de los recursos naturales para las generaciones siguientes y en evitar cualquier daño ambiental de carácter irreversible.

En la línea de la afirmación anterior, dentro de los recursos naturales que debemos garantizar a las próximas generaciones está el recurso del agua. El concepto de sostenibilidad en el sector del agua rural es usado liberalmente y hay numerosas interpretaciones de lo que pueda significar en una amplia variedad de literatura disponible (Lockwood & Smits, 2011). Una definición muy simple y contundente que describe la sostenibilidad es: “si algo que continúa en el tiempo” (Abrams *et al.*, 1998). Ampliada la frase, significaría que el agua continúa estando disponible durante el período para el que fue diseñada en la misma cantidad y en la misma calidad.

También, con la creciente importancia del modelo de la gestión comunitaria, la sostenibilidad se puede definir en términos de la capacidad que tiene la comunidad para mantener el servicio (Schouten & Moriarty, 2003). Para el World Bank (2009), uno de los determinantes de la sostenibilidad en la gestión comunitaria son la recaudación de tarifas para cubrir los costos recurrentes y la presencia de alguna forma de financiamiento externo a largo plazo.

Hoy en día, gracias al escenario que plantean los nuevos compromisos establecidos por los ODS y el consenso que existe entre varios académicos y organizaciones a nivel mundial, se han podido identificar factores que dan un enfoque holístico y que intervienen de forma directa en la sostenibilidad de los servicios de aprovisionamiento de agua en las zonas rurales. Los factores son: sociales, ambientales, económicos, tecnológicos e institucionales (Brikké & Bredero, 2003; IRC & World Bank, 2000; Mejía *et al.*, 2016).

2.2.1 Factores de sostenibilidad

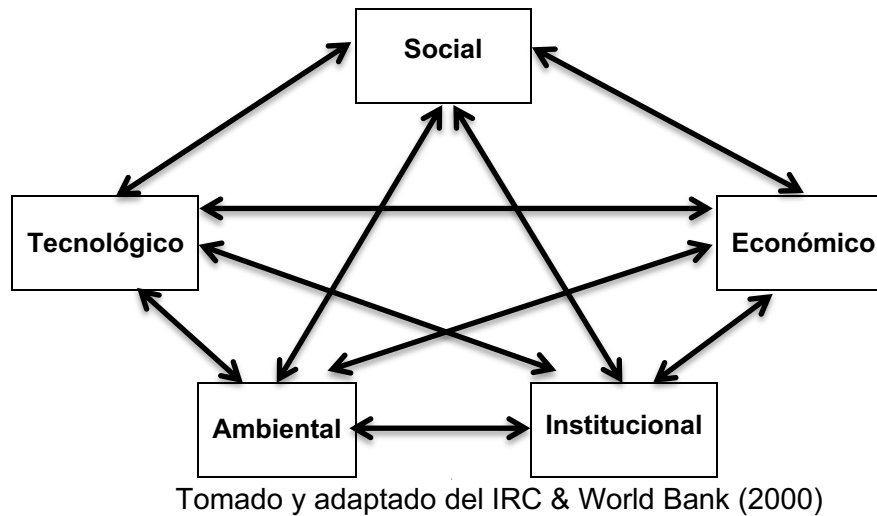
En la Figura 3, se detallan los factores que influyen la sostenibilidad del servicio del agua en las zonas rurales. A continuación, se presenta una breve reseña sobre cada uno de ellos:

Factor social: es considerado uno de los factores más sensibles para la sostenibilidad del servicio. Cuando se habla del componente social de los servicios del agua, ciertamente hay que referirse sobre las organizaciones comunitarias y su gestión frente al recurso. Mejía *et al.* (2016), menciona aspectos importantes, los cuales son:

- La estructura y funcionamiento de la organización comunitaria, la administración de los servicios, sus fortalezas y debilidades, la capacidad y voluntad para operar y mantener el sistema y el relacionamiento con otras entidades del sector.
- La claridad del papel de las organizaciones en cada fase del proyecto y cómo sus actuaciones inciden en el fortalecimiento de la participación comunitaria.
- Las características demográficas de la población para estimar la demanda real y por lo tanto establecer la dotación del agua actual y futura. También permite conocer el grado de educación y cómo a través de sus habilidades pueden contribuir a la mano de obra del sistema.
- Aspectos socio-culturales como las creencias, los hábitos tradicionales, la religiosidad y el enfoque de género, los cuales son decisivos en la aceptación de la tecnología y la gestión referente al recurso del agua.
- El acceso a otros servicios como la educación, salud, vivienda, saneamiento, energía eléctrica, tecnologías de la información y la comunicación, transporte y disposición de los residuos sólidos.
- Los indicadores de salud, mortalidad y morbilidad en niños menores de cinco años.

Factor ambiental: la interacción de la tecnología con el medio ambiente debe ser sostenible en el tiempo. Debe darse la protección y la utilización eficiente de los recursos ambientales (Balkema *et al.*, 2002). En este factor, se abordan los impactos ambientales de la tecnología, la emisión de contaminantes, la recuperación y protección de las fuentes de agua.

Figura 3: Factores que influyen la sostenibilidad del servicio del agua rural



Factor económico: tiene en cuenta los aspectos económicos en el momento de seleccionar la alternativa, tanto para la implementación, como en la operación y el mantenimiento. De igual forma, considera la situación económica de la comunidad, lo que incluye la ocupación y las principales actividades productivas de la población, limitando muchas veces la opción tecnológica y el nivel del servicio por la capacidad de pago de los usuarios (Mejía *et al.*, 2016).

Factor tecnológico: se refiere al adecuado funcionamiento de la tecnología, la cual incluye el conjunto de equipos, materiales y procesos, que garanticen la cantidad suficiente de agua y la calidad aceptable para consumo humano (IRC & World Bank, 2000). Para el factor tecnológico se deberá tener en cuenta:

- La facilidad de acceso al lugar donde se encuentra ubicada la fuente de agua.
- La simplicidad y flexibilidad de la tecnología.
- La adaptación adecuada frente a cambios en el entorno.
- La disponibilidad y durabilidad de materiales locales para el buen desempeño de la tecnología.
- La calidad del agua aceptable para consumo humano según los estándares y las normas locales.

Factor institucional: son las estrategias locales, regionales y/o nacionales para brindar acceso a coberturas sostenibles o mejorar los servicios mediante las políticas y la presencia del ente rector o de una voluntad política promotora, indicando los roles y responsabilidades de los actores involucrados (Mejía *et al.*, 2016).

En este factor es importante la creación de las capacidades en todos los niveles de gobierno, especialmente en un entorno cambiante en el cual los modelos de desarrollo introducen nuevos roles y responsabilidades. Por ejemplo, a nivel nacional, deben crearse políticas y estrategias claras que respalden la sostenibilidad del servicio del agua. Muchas de ellas pueden ser actividades de apoyo, como la asistencia técnica, la capacitación, el monitoreo y la creación de mecanismos de financiamiento, que influyen directamente en la operación y el mantenimiento. Por lo tanto, debe haber una comunicación clara entre los niveles de gobierno central y local, donde no sea tan dificultosa la coordinación de tareas específicas y la implementación de las políticas del sector (Brikké & Bredero, 2003).

2.2.2 Modelos de sostenibilidad

Adicional a lo anterior, se han venido creando distintos modelos de sostenibilidad con herramientas para englobar dichos factores y facilitar la prestación adecuada del servicio. Los marcos los han estado proporcionando gobiernos, organizaciones no gubernamentales, organismos multilaterales, agencias para la cooperación internacional, entre otros. Dentro de los que más se destacan se encuentran: International Water and Sanitation Centre (IRC), Dutch Water Alliance, Water Aid, UNICEF, USAID y World Bank. Por su parte, el IRC es una organización sin ánimo de lucro, reconocida a nivel mundial por su trabajo en numerosos gobiernos, para lograr el acceso a los servicios de agua potable, saneamiento y la promoción de la higiene, para las zonas rurales (IRC, 2017). En Colombia, durante varias décadas el IRC también ha liderado en conjunto con el Instituto de Investigación CINARA numerosos proyectos de la región del Valle del Cauca.

El IRC ha planteado varios modelos de sostenibilidad para el aprovisionamiento del servicio del agua rural, de los cuales se resalta: la Metodología de Evaluación Participativa y el proyecto Triple-S. Con el Instituto CINARA, se realizaron metodologías de evaluación participativa en Bolivia (CINARA *et al.*, 1997) y en Nicaragua (CINARA *et al.*, 2003). Para Colombia, se elaboró un documento, que se desarrolló bajo el proyecto Triple-S, donde se caracterizaron distintas estrategias del país con respecto al apoyo al acceso al agua rural

y para su análisis se aplicaron en los Departamentos del Valle del Cauca y Caldas (Rojas *et al.*, 2011).

El proyecto Triple-S, financiado por la Fundación Bill & Melinda Gates, nació en el 2008 y duró seis años, buscó catalizar el cambio en el sector del agua rural a través de: un enfoque de prestación de servicios; armonización, alineación, de un sector de aprendizaje; y un soporte de cada nivel para ofrecer servicios sostenibles a escala (Schouten & Moriarty, 2013). La literatura lo citaba como un modelo prometedor para entender la sostenibilidad del servicio en las zonas rurales, pero fracasó debido a la falta de financiación de ciclos más largos de proyectos (Moriarty, 2015). En este proyecto, se efectuó la observación de literatura con más de 220 modelos de sostenibilidad de distintas organizaciones a nivel mundial. Al final, en el documento de Schweitzer *et al.* (2014) se presentan los 25 modelos determinados por el mapeo, donde se tuvo en cuenta la aplicabilidad, la complejidad, el enfoque en todos los factores y su escalabilidad. En la Tabla 6 se presentan algunos modelos más destacados.

Tabla 6: Modelos de sostenibilidad para el acceso del agua en zonas rurales

Modelos de sostenibilidad	Institución	Definición
Metodología de Evaluación Participativa	IRC y World Bank	Es una metodología que a través de actividades participativas se realiza la planeación, monitoreo y evaluación, con el fin de mejorar y medir la sostenibilidad de los proyectos de aprovisionamiento de agua. Integra tanto datos cualitativos como cuantitativos.
Sustainability Assessment Tool (SAT)	AGUASAN Group	Realiza una evaluación integral de la sostenibilidad de las áreas económicas, humanas, sociales, tecnológicas y ambientales. Pero, presenta demasiado número de indicadores con un total de 110.
Sustainability Monitoring Framework(SMF)	Dutch WASH Alliance	Se consideran factores relacionados a las precondiciones de la sostenibilidad. El modelo está en etapa piloto, lo cual es demasiado temprano para ver algún impacto.
Technology Applicability Framework (TAF) y Technology Introduction Process (TIP)	Skat Foundation	Son modelos para ser usados como pre-implementación de la tecnología. Incluye procesos participativos de todos los actores. Dentro de sus limitaciones se encuentra que se enfocan en una tecnología específica.

Elaboración propia a partir de Schweitzer *et al.* (2014)

De igual forma, como ya se ha mencionado, la gestión comunitaria ha sido clave a lo largo de la historia para el desarrollo de los proyectos de aprovisionamiento de agua en las zonas rurales. Por lo que para el año 2011, la organización sin fines de lucro WaterAid presentó un marco conceptual para la gestión comunitaria eficaz de los servicios de agua con la necesidad del apoyo externo. El marco estipula cinco requerimientos generales para la sostenibilidad de la prestación del recurso, los cuales son (WaterAid, 2011):

- Debe existir una demanda real por parte de los usuarios que se evidencie en el uso constante de servicios mejorados de agua y saneamiento y en la práctica de mejores conductas higiénicas.
- Debe haber ingresos adecuados para cubrir los costos recurrentes, con estructuras tarifarias adecuadas que incluyan a los más pobres y marginados.
- Debe existir un sistema de gestión y mantenimiento que comprenda herramientas, cadenas de suministro, transporte, equipos, capacitación e individuos/instituciones con responsabilidades claras.
- Cuando los sistemas son administrados por comunidades o instituciones, debe haber un apoyo externo eficaz a esas estructuras e instituciones a nivel comunitario.
- Los recursos naturales y los aspectos ambientales del sistema necesitan la debida atención.

Por otra parte, Smits *et al.* (2013), con información recolectada a partir de los requisitos para los prestadores según el marco legal, y también complementado por factores identificados en estudios anteriores sobre la gestión comunitaria en Colombia, describe que para medir el rendimiento de los sistemas de agua se deben tener en cuenta 21 indicadores agrupados en tres categorías de responsabilidades para las organizaciones. Las categorías y los indicadores son:

- Organización interna: estatus legal del prestador del servicio, relación con el usuario, valores de la organización, estructura organizacional, gestión de activos, equidad de género, mecanismo de contabilidad y relaciones inter-institucionales.
- Administración del servicio del agua: entrenamiento del personal del prestador del servicio, inventario de los materiales y herramientas, registro de los usuarios, tasa de deudor y mantenimiento de cuentas.
- Operación y mantenimiento: capacidad operacional, estado de la infraestructura, medidas de gestión de los recursos hídricos y gestión de la calidad del agua.

2.2.3 Métodos de evaluación de la sostenibilidad

En el caso de las alternativas tecnológicas, durante décadas se han desarrollado distintas metodologías y herramientas para evaluar la sostenibilidad de las mismas. Para Ness *et al.* (2007), los métodos se pueden dividir en evaluaciones no integradas, evaluaciones relacionadas con la alternativa y evaluaciones integradas. En la Tabla 7 se puede detallar la definición de cada uno de ellos y los métodos más aplicados.

Tabla 7: Tipos de evaluaciones de la sostenibilidad y los métodos usados

Evaluaciones	Definición	Métodos
No integradas	Medidas simples, mayormente cuantitativas, que representan un estado de desarrollo económico, social y/o ambiental en un lugar definido, a menudo a nivel nacional. Las herramientas en la categoría de indicadores no están integradas, lo que significa que no integran distintos parámetros en la evaluación como lo ambiental-social. Consideran los flujos en relación con la producción y el consumo de bienes y servicios. Estas metodologías evalúan el uso de recursos e impactos ambientales a lo largo de la producción de la cadena o durante el ciclo de vida del producto. Algunas veces, dichas herramientas no se integran con otros tipos de sistemas (institucionales y los sociales) ya que se centran en aspectos ambientales.	Enfoque de Huella, el Índice de Desarrollo Humano, el Índice de Sostenibilidad Ambiental
Relacionadas con la alternativa	Se usan más para respaldar decisiones relacionadas con una política o un proyecto en un lugar específico. se utilizan para las evaluaciones a escala local, mientras que las políticas se centran en las evaluaciones a escala local y global. Los métodos de evaluaciones integradas son capaces de integrar diferentes sistemas considerando las interrelaciones e interdependencias entre ellos.	Ciclo de vida y el análisis de emergencia
Integradas		Análisis multicriterio, análisis costo-beneficio, dinámica de sistema y análisis de riesgos

Elaboración propia a partir de Ness *et al.* (2007) y Cinelli *et al.* (2014)

En el caso de los servicios de agua, Xue *et al.* (2015) hace una recopilación de los métodos más utilizados y sus limitaciones (ver Tabla 8), entre los cuales se encuentran: el análisis beneficio-costos, la evaluación del ciclo de vida, el enfoque de huella y el análisis de emergencia. A continuación, las definiciones y limitaciones de estos métodos:

Tabla 8: Métodos de evaluación de sostenibilidad de las alternativas

Método	Definición	Limitaciones
Análisis beneficio-costos	Incorpora variedad de costos y beneficios directos e indirectos, con el objeto de proveer una evaluación cuantitativa en términos monetarios para la toma de decisiones.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ambigüedad e incertidumbre en la cuantificación y asignación de un valor monetario a elementos intangibles.

Evaluación del ciclo de vida	Cuantifica aspectos específicos de los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del producto y de la salud humana.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de consideración de: la escasez de agua; los impactos del clima y el cambio demográfico. ▪ Varios aspectos están en desarrollo como la integración de procesos dinámicos.
Enfoque de huella	Incluye la huella de carbono, la huella ecológica y la huella hídrica.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ambigüedad en el concepto de huella hídrica, lo que dificulta el diseño y la posterior evaluación de la alternativa
Análisis de emergencia	Está basado en un sistema aplicable a varias escalas que incorpora aspectos ambientales, sociales y económicos en una unidad común de medida no monetaria. En el futuro, los sistemas de agua, incluidos los componentes naturales y de construcción, deberán evaluarse con el método de emergencia.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los estudios de emergencia se han centrado principalmente en sólo uno de los subsistemas (como por ejemplo el tratamiento del agua potable o el tratamiento de aguas residuales).

Elaboración propia a partir de Arbault *et al.* (2013), Xue *et al.* (2015) y Odum (1996)

Debido a la necesidad de realizar evaluaciones a escala local y a las limitaciones con la diversidad de enfoques con respecto a los indicadores no integrados y las evaluaciones sólo relacionadas con la alternativa, para esta investigación se tendrá en cuenta las evaluaciones integradas. Por ende, dentro de los métodos más utilizados en esta categoría se encuentra el análisis de decisión multicriterio, que se considera como un conjunto apropiado de herramientas para realizar las evaluaciones, al considerar diferentes criterios de sostenibilidad, perspectivas, partes interesadas, valores, incertidumbres y consideraciones intra e intergeneracionales. Debido a la complejidad de la evaluación de la sostenibilidad, las decisiones deben tomarse en una forma estructurada, transparente y confiable, donde el análisis de decisión multicriterio puede contribuir a lograr dichos objetivos (Cinelli *et al.*, 2014).

2.2.4 Análisis de Decisión Multicriterio

El análisis de decisión multicriterio (MCDA, por sus siglas en inglés) es una metodología que consiste en una agrupación de enfoques que permiten apoyar individuos, grupos e instituciones sobre la base de un conjunto de múltiples criterios de evaluación, para clasificar, seleccionar y/o comparar un número finito de diferentes alternativas (Belton & Stewart, 2002). Gracias a su flexibilidad, el MCDA se ha usado en contextos de zonas rurales, urbanas, y tanto en países desarrollados como en proceso de desarrollo (Mohanty,

1992). En particular, Garfi *et al.* (2009) comenta que existen las siguientes ventajas con el MCDA en los países en desarrollo:

- Se pueden adaptar a cada problema particular y los múltiples criterios pueden ser incluidos en el análisis.
- Puede funcionar con datos mixtos y el análisis no necesita tener datos intensivos. Tanto la información cuantitativa como cualitativa puede incorporarse a la metodología, lo que cual es importante cuando los datos exactos no están disponibles.
- Múltiples expertos, grupos de interés y partes interesadas pueden involucrarse directamente y el análisis sería más transparente para los participantes.
- Incluye mecanismos de feedback sobre los juicios realizados.

El MCDA ha demostrado ser una metodología conveniente para la participación de las partes interesadas que permite incorporar el conocimiento y los valores asignados en las fases de planificación del proyecto (Lück & Nyga, 2017). En algunos casos, los investigadores han tenido en cuenta las opiniones de los grupos de la comunidad local y otras partes interesadas a través de grupos focales, encuestas y otras herramientas que integran formalmente estas opiniones en el proceso de decisión. Muchos autores manifiestan que la aplicación de los métodos del MCDA y la participación de los involucrados en el proyecto han generado impactos positivos, debido a que: proporciona una mejora significativa en el proceso de decisión; fortalece la aceptación pública de la alternativa; ayuda a estructurar la planificación; crea marcos de discusión y se producen aprendizajes entre las partes interesadas (Huang et al., 2011; Lück & Nyga, 2017).

El MCDA se divide en tres enfoques para alcanzar una solución (Ishizaka & Nemery, 2013), los cuales son:

- **Enfoque de agregación completa:** una valoración es evaluada para cada criterio y luego es sintetizada en una puntuación global. Algunos modelos son: teoría de multi-atributo (MAUT, por sus siglas en inglés), proceso de análisis en red (ANP, por sus siglas en inglés), proceso de análisis jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés).

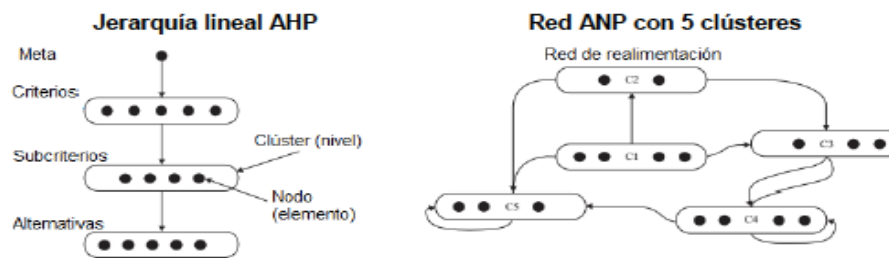
- **Enfoque outranking o de ordenamiento:** se basa en la comparación entre pares de opciones para verificar si “la alternativa a es al menos tan buena como la alternativa b”. Los métodos más usados son ELECTRE y PROMETHEE.
- **Enfoque de meta, aspiración o nivel de referencia:** define una meta para cada criterio y luego se identifican las opciones más cercanas a la meta ideal o nivel de referencia. Los modelos más conocidos son: Goal Programming, TOPSIS y DEA.

Si se conoce la función de utilidad para cada criterio (representación de la utilidad percibida en un criterio específico dada la ejecución de la alternativa) se recomienda el método MAUT. Sin embargo, debido a su complejidad, se tienen en cuenta los siguientes métodos de calificación completa que usan las comparaciones entre criterios y alternativas (Ishizaka & Nemery, 2013), como es el caso de las metodologías de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) y el Proceso de Análisis en Red (ANP, por sus siglas en inglés).

- **Modelo AHP:** se introdujo por Saaty con el propósito de analizar las relaciones que hay entre criterios de diferente jerarquía, permitiendo un análisis más claro, sistémico y estructurado del problema. Evalúa criterios cuantitativos y cualitativos en términos relativos por medio de una escala absoluta (Saaty, 2005). El proceso estándar requiere, en primer lugar, la identificación de una estructura en forma de árbol que va desde el objetivo principal del problema de decisión, siguiendo por niveles de criterios de mayor a menor jerarquía y, en la capa final, un nivel compuesto por el conjunto de alternativas. Se asignan pesos a todas las relaciones entre niveles, que representan las importancias relativas, pero estos no son asignados directamente, sino mediante una metodología de comparaciones pareadas entre criterios del mismo nivel y un mismo criterio padre. Un método de síntesis permite valorar cada alternativa para posteriormente priorizar.
- **Modelo ANP:** desarrollado también por Saaty, representa mediante una red, todos los elementos que componen el problema de decisión como las alternativas, criterios, o actores representados por nodos, y las relaciones de interdependencia entre ellos representados por arcos, lo que permite una modelización más aproximada de la realidad (Saaty, 2005). Lo anterior permite distinguirse de la metodología AHP que sólo considera la estructura jerárquica (ver Figura 5). El modelo en red permite agrupar los

elementos (alternativas, criterios o actores) en “clústeres”. Un elemento de un clúster en la red puede tener influencia sobre algunos o todos los elementos de ese mismo clúster o de otro distinto en la red. Se denomina realimentación a la relación que existe entre los elementos de un mismo clúster y se denomina interdependencia a la relación que existe entre elementos de distintos clústeres (Baviera *et al.*, 2014). Los pesos de las conexiones se definen a partir de la importancia o influencia de un elemento sobre otro, y un método de síntesis permite asignar valores a las alternativas para luego proceder a priorizar.

Figura 4: Estructura básica de los modelos AHP y ANP



Tomado de Ishizaka & Nemery (2013)

2.2.5 Aplicaciones del análisis multicriterio para el aprovisionamiento del agua en zonas rurales

En la Tabla 9, se describen algunos ejemplos de análisis multicriterios aplicados en las zonas rurales. De los cuales, se destacan los trabajos de Garfi & Ferrer-Martí (2011), la cual realiza una indagación de los indicadores más relevantes para la evaluación de las alternativas.

Tabla 9: Ejemplos de aplicaciones del análisis multicriterio

<i>Autor</i>	<i>Descripción</i>
Bouchard <i>et al.</i> (2010)	Identifica varios sistemas alternativos de tratamiento de agua. Para los pesos de los indicadores se utilizó la participación de expertos. El modelo ELECTRE II fue usado para la evaluación de las alternativas con el fin de obtener una calificación de las mismas.
Garfi & Ferrer-Martí (2011)	Presenta una lista de indicadores, de tipo técnico, social, económico y ambiental, como una guía para la aplicación de análisis multicriterio en agua para proyectos en comunidades rurales pequeñas de países en vía de desarrollo.

Garfi <i>et al.</i> (2011)	Integra el modelo AHP a la metodología de Evaluación Estratégica Ambiental (SEA, en inglés) para programas de aprovisionamiento de agua en países en vía de desarrollo.
Mustafa & Salehin, (2015)	El lugar de estudio es una zona rural costera de Bangladesh. Dentro de las alternativas de abastecimiento evaluadas son los sistemas de captación de aguas pluviales y los pozos de longitud profunda. El modelo usado fue el AHP.
	Elaboración propia

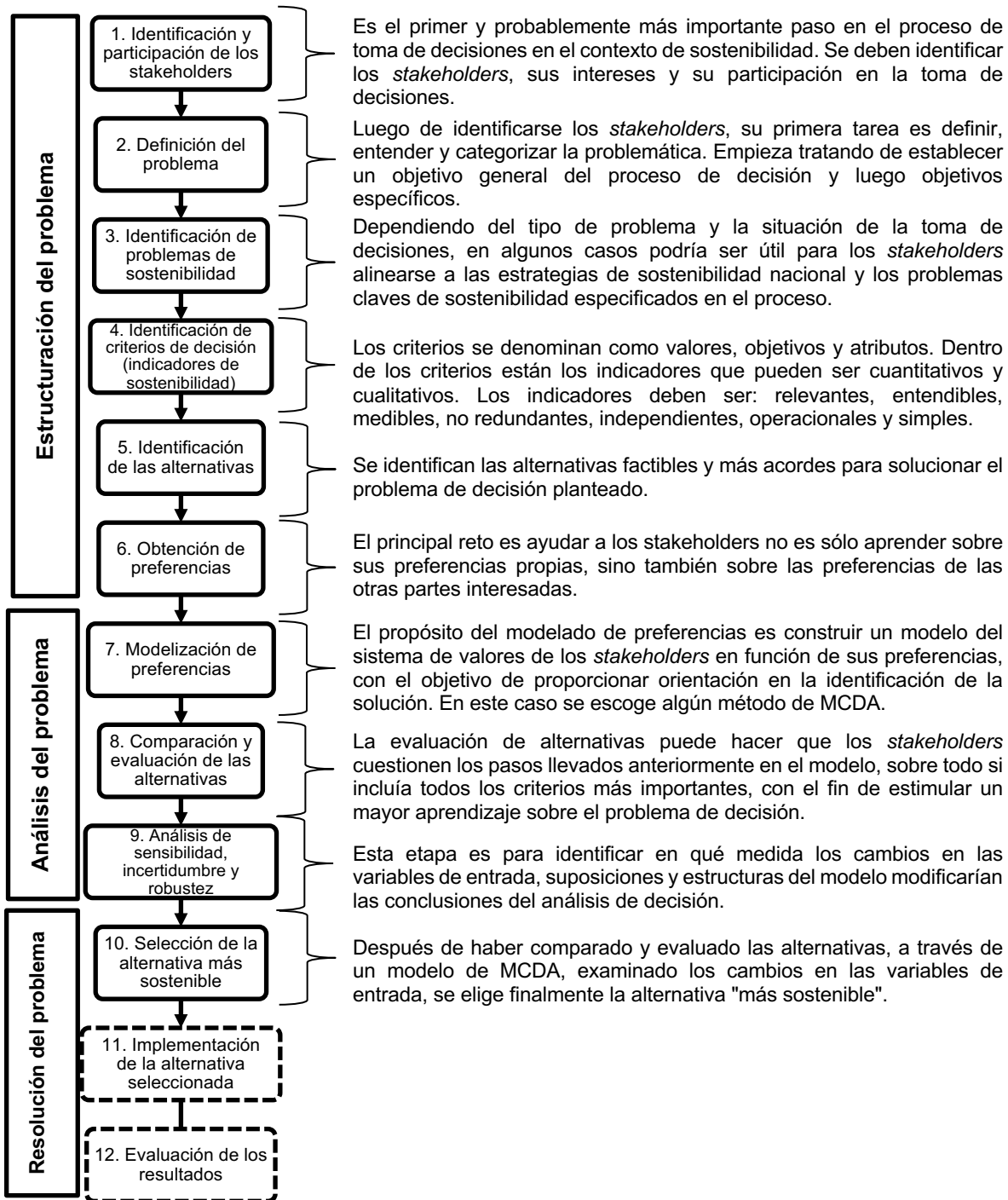
2.2.6 El desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación

Generalmente, los procesos de decisión envuelven tres dimensiones: la estructuración del problema, el análisis del problema y la resolución del problema (Belton & Stewart, 2002). En complemento, Azapagic & Perdan (2005) proponen un marco convencional integrado de apoyo a las decisiones de la sostenibilidad de 12 etapas (ver Figura 5). Las etapas para el análisis de decisión multicriterio sólo se involucran desde la identificación de los criterios hasta la comparación y evaluación de las alternativas.

Por esto, cada vez más importante garantizar la sostenibilidad de los servicios de agua en la nueva ruralidad. Pero, dentro de la búsqueda del marco de sostenibilidad, se han cuestionado los modelos del siglo pasado y los recientes como el proyecto Triple-S que buscan incidir en políticas desde un nivel nacional hasta lo local y sólo se enfocan en la mayoría de los casos en el factor institucional. De ahí, que es necesario lograr dimensionar las problemáticas con un mayor contexto local y enfoque holístico que pueda llegar a comprender las problemáticas de las zonas y las comunidades. Por lo tanto, modelos como el MPA que involucra la participación y la gestión comunitaria, buscan el fortalecimiento de la comunidad con una visión a partir de la construcción en el territorio.

De igual forma, métodos para la evaluación de la sostenibilidad como el análisis multicriterio sirven de apoyo para que la toma de decisiones pueda tener una visión integral. Pero los métodos tradicionales que siguen las etapas como los que plantea Azapagic & Perdan (2005) no incluyen un enfoque local con un trabajo de contextualización que pueda dar soporte al proceso y pueda responder realmente a la problemática encontrada, por lo cual es necesario desarrollar una metodología propia de priorización para aplicar al caso de proyectos de aprovisionamiento de agua en las zonas rurales de Colombia.

Figura 5: Marco integrado de apoyo a las decisiones de la sostenibilidad



Elaborado a partir de Azapagic & Perdan (2005)

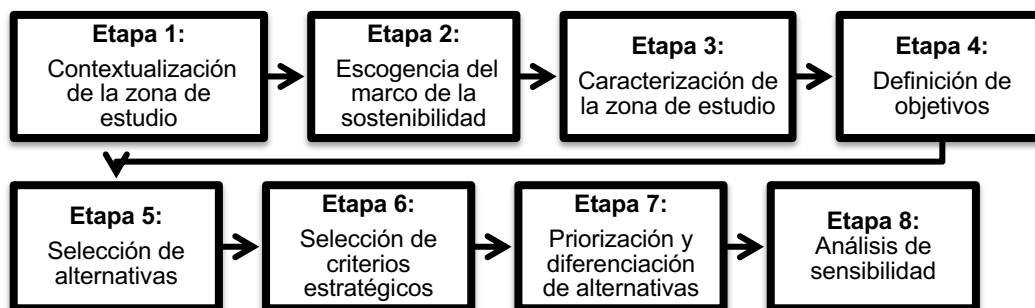
3. Metodología de priorización y diferenciación de las alternativas para el aprovisionamiento del agua rural

En este capítulo se detallan las etapas para el desarrollo de la metodología adaptada al aprovisionamiento del agua en una zona rural colombiana como contribución propia del trabajo de tesis (ver Figura 6). Para esta metodología se plantean y se justifican las etapas adicionales al método tradicional de toma de decisiones como la contextualización y la caracterización de la zona de estudio. Lo anterior sirve como soporte para la toma de decisiones con un fuerte enfoque local y la vinculación de la comunidad en el proceso. También se refuerza la idea de englobar las etapas en un marco de sostenibilidad con el fin de garantizar la sostenibilidad de los proyectos y el servicio del agua. En esta investigación sólo se busca la priorización y diferenciación de las alternativas tecnológicas, por lo que algunos aspectos de acuerdo al ciclo normal del proyecto de inversión de agua no se consideran.

La metodología se divide en dos partes: la zona de estudio y la priorización y diferenciación de alternativas. En la zona de estudio, se aborda inicialmente contextualización de la zona de estudio y la identificación de los *stakeholders* descritos como la Etapa 1. Para la Etapa 2, después de haber abordado las problemáticas de sostenibilidad a nivel nacional en el Capítulo 2 referente al servicio del agua rural, se da paso a la elección del marco de la sostenibilidad. Posteriormente, la Etapa 3 es la caracterización de la zona de estudio, poniendo énfasis en la participación comunitaria, para la comprensión de distintos factores y características propias de las comunidades y su contexto. Luego de definir la problemática, se continúa a la Parte II, donde se definen los objetivos como se describe en la Etapa 4. En la Etapa 5 se seleccionan las alternativas tecnológicas aplicables al contexto rural de estudio. Para la Etapa 6 se establecen los criterios e indicadores estratégicos de evaluación de las alternativas tecnológicas. Por último, en la Etapa 7 se

procede a la priorización de las alternativas con el método de evaluación seleccionado, considerando y comparando los proyectos de post-construcción presentes en la zona de estudio.

Figura 6: Etapas de la metodología de priorización y diferenciación



Elaboración propia

3.1 Etapa 1: Contextualización de la zona de estudio

En esta etapa se realiza una breve descripción de la región, el municipio y su ruralidad con datos económicos, sociales y ambientales, y se empieza a abordar la problemática desde el nivel regional hasta el local. También, se identifican los grupos con intereses relacionados con el sistema del agua (*stakeholders* en inglés). Un *stakeholder* es cualquier entidad, participante o comunidad con o sin decisión que afecta o es afectado por una organización, estrategia o proyecto de aprovisionamiento de agua. Dentro de los *stakeholders* en la comunidad se deben conocer su estructura organizacional y los roles importantes que cumplen algunos individuos (Mejía *et al.*, 2016). Los *stakeholders* se pueden clasificar, como se observa en la Tabla 10, en las siguientes categorías:

Tabla 10: Clasificación y rol de los *stakeholders* en el servicio del agua

Clasificación	Rol
<i>Personas y familias</i>	Beneficiarias directas de los proyectos
<i>Juntas y organizaciones comunitarias</i>	Responsables de la prestación del servicio del agua
<i>Gobiernos locales y sus agencias especializadas</i>	Responsables de la ordenación y zonificación del suelo, las inversiones y prestación del servicio del agua

<i>Gobiernos regionales y sus agencias especializadas</i>	Responsables de la gestión del agua y servicios que involucran a más de una municipalidad
<i>Gobiernos nacionales, sus agencias especializadas y sus órganos legislativos</i>	Responsables en la formulación y aprobación de políticas públicas
<i>Organizaciones territoriales de cuencas hidrográficas</i>	Control, regulación y asignación de caudales
<i>Otros</i>	Organizaciones de la sociedad civil, organizaciones no gubernamentales, organizaciones financieras (públicas, privadas, nacionales e internacionales) y otros con intereses diversos

Tomado y modificado a partir de Mejía *et al.* (2016)

3.2 Etapa 2: Escogencia del marco de sostenibilidad

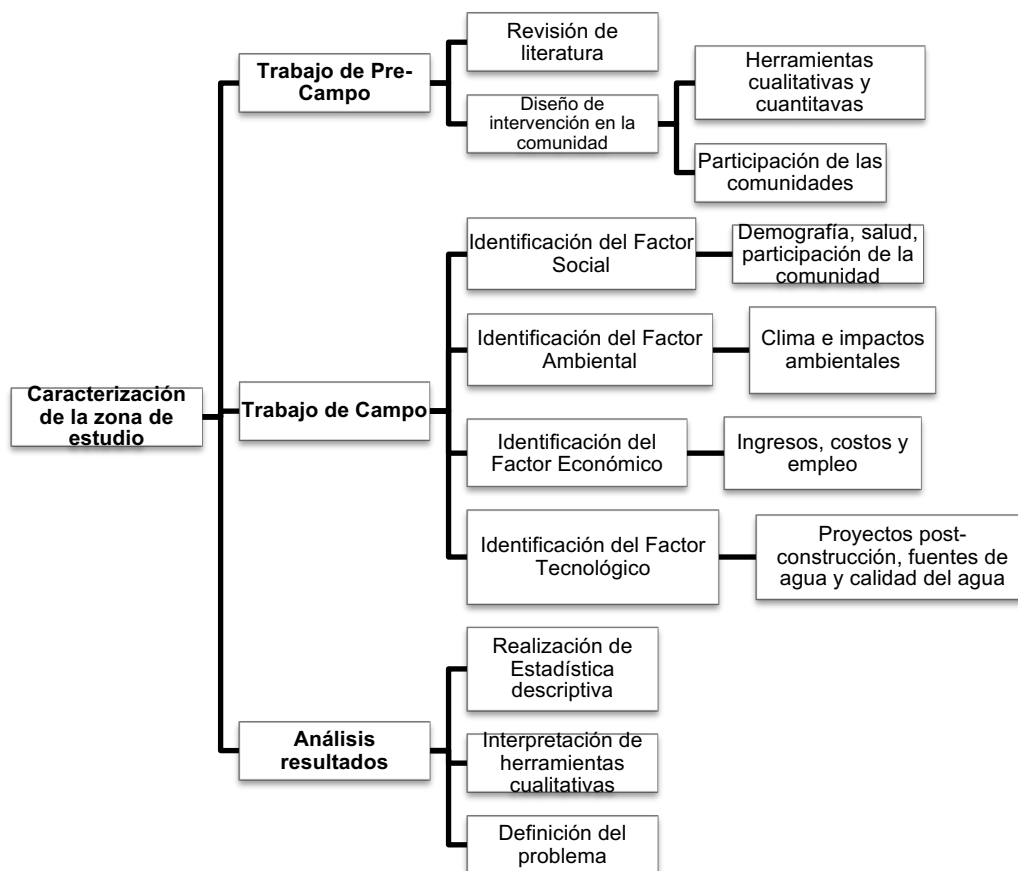
Después de definir quiénes son los encargados de tomar las decisiones se prosigue a la etapa de la escogencia del marco de la sostenibilidad. Lo anterior es causa a lo mencionado en el Capítulo 2, donde cada vez más se discute la necesidad de abordar la sostenibilidad para garantizar del aprovisionamiento del agua en las zonas rurales. Por ende, en esta investigación se plantea el uso de un marco de sostenibilidad, gracias a que sirve de guía en la toma de decisiones, estableciendo unos mandatos de nivel superior que deben ser tenidos en cuenta por los decisores al momento de escoger la alternativa más adecuada para su implementación (Azapagic & Perdan, 2005; CIFOR, 1999).

El marco de sostenibilidad puede variar dependiendo de los postulados que cada grupo de decisores tengan como prioridad de acuerdo a los intereses previstos. Algunos pueden venir del nivel nacional o internacional como por ejemplo: disminución de la mortalidad infantil, disminución de la pobreza, protección de los recursos naturales, entre otros. Otros, pueden surgir de contextos locales y la necesidad de resolver problemas estructurales. Por lo tanto, se resalta que en esta etapa cada grupo de tomadores de decisiones establezcan los compromisos más importantes y descubra qué asuntos son relevantes para los otros grupos. A partir de ahí, se pueden clasificar en temáticas y posteriormente se desagregan hasta encontrar los mandatos de nivel superior (Azapagic & Perdan, 2005).

3.3 Etapa 3: Caracterización de la zona de estudio

En la Etapa 3 se desarrolla la caracterización de la zona de estudio. La caracterización se divide en cuatro fases: trabajo de pre-campo, trabajo de campo y el análisis de los resultados. La Figura 7 presenta una forma de caracterización de la zona de estudio, para la cual se construyó a partir de las citas bibliográficas relacionadas con el servicio del agua rural como Mejía *et al.* (2016) y la nueva normativa del RAS del año 2017. Aunque, otras consideraciones técnicas se deben considerar en la caracterización para la implementación de los proyectos de aprovisionamiento de agua, en esta investigación sólo se abordan las que se pudieron implementar en el trabajo de campo.

Figura 7: Caracterización de la zona de estudio



Elaboración propia

3.3.1 Fase de Pre-campo

La fase de pre-campo implica un reconocimiento del territorio, donde se trabaja con fuentes de información secundaria, la cual involucra la revisión de literatura como: informes gubernamentales de tipo local-nacional, procesos investigativos previamente realizados, los datos de institutos ambientales, los resultados de los entes locales de salud para indagar sobre la mortalidad y morbilidad infantil relacionada por el consumo de agua, y se realiza un análisis de los informes del desempeño de los proyectos de pos-construcción (entiéndase como sistemas de aprovisionamiento de agua ya implementados en la zona de estudio).

Posteriormente, se establece el enlace con la comunidad y a través de visitas previas en el lugar se procede a la disertación y concertación con las personas líderes para llevar a cabo el desarrollo de la metodología. Aquí se debe tener en cuenta la etnicidad y el tipo de autonomía de la comunidad (Mejía *et al.*, 2016).

Finalmente, se hace un trabajo de diseño de intervención en la comunidad en el cual se puedan usar herramientas cuantitativas como las encuestas, que es la medición de variables susceptibles a ser cuantificados, y cualitativas como las entrevistas y la realización de talleres participativos donde se trata de abordar la comprensión de la realidad social de los usuarios del servicio del agua.

- Encuestas: dentro de las técnicas de recolección de información primaria en el trabajo de campo se encuentran las encuestas que son un cuestionario que permite la colección y sistematización de aquellos estados de opinión, cuando estén sustentados en temáticas que formen parte de la agenda de la población a la que irá dirigido (Cabrera, 2010). Para determinar la muestra a encuestar de la comunidad de estudio, se puede aplicar la Ecuación 3.1 que se usa para proporciones de poblaciones finitas (Singh & Masuku, 2004).

$$n = \frac{Z^2 N p q}{(N-1)e^2 + p q Z^2} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

n = tamaño de la muestra para proporciones en poblaciones finitas

N = tamaño de la población

Z = puntuación Z para un nivel de confianza escogido

e = error esperado

p = proporción esperada

q = 1 – p

- Entrevistas: es una técnica que se define como una conversación donde se plantea un fin determinado distinto al hecho de sólo tener una simple conversación. Como adicional a la encuesta, la entrevista logra obtener una información más profunda, además presenta la posibilidad de aclarar dudas durante el proceso. Por su parte, las entrevistas semiestructuradas exhiben un grado de mayor flexibilidad en comparación con otro tipo de entrevistas, debido a que parten de preguntas planteadas y se pueden ir adaptando a los entrevistados según sea el caso (Díaz *et al.*, 2013).
- Participación de la comunidad: La Metodología de Evaluación Participativa (MPA) aborda numerables herramientas para la participación de las comunidades en la toma de decisiones. Una de las más destacadas es la cartografía social que ayuda a representar visualmente a través del dibujo de mapas y analizar la situación de la comunidad en relación con las instalaciones de agua, tanto tradicionales como aquellos provistos por proyectos específicos (IRC & World Bank, 2000). Para la cartografía social, la participación de la comunidad es el insumo principal. De hecho, legitima la participación comunitaria y los lleva al empoderamiento, debido a que posee una documentación histórica que abarca descripciones desde los rasgos físicos naturales, los recursos y hasta los socioculturales, generando así una reconstrucción de los procesos espaciales locales y, por ende, da soporte para entender la actualidad de la comunidad. Al final, lo que se busca es aplicar y consolidar dicho conocimiento en los procesos de decisión para la representación, planeación y manejo territorial (FIDA, 2009; Lopez, 2012; Montoya, 2009).

3.3.2 Fase de Trabajo de Campo

En la fase de trabajo de campo se realiza la identificación de los factores de análisis de la sostenibilidad, los cuales son: factor social, factor ambiental, factor económico y factor tecnológico. Para la identificación de estos factores se deben incluir recolección de información primaria y secundaria, y herramientas cuantitativas y cualitativas.

Con relación al factor social, se deben tener en cuenta datos demográficos de la comunidad, dentro de los que se destacan la proyección futura de la población. Lo anterior es relevante porque se debe diseñar los proyectos de aprovisionamiento de agua con los datos de población de hoy y la población de futuro para garantizar su sostenibilidad a lo largo del tiempo. En la proyección de la población se pueden usar métodos como: aritmético, geométrico y exponencial (Mejía *et al.*, 2016).

El método aritmético asume que la población crece con una tasa constante de crecimiento. Este método es aplicable para pequeños lugares, como las zonas rurales (Velásquez, 2009). La siguiente ecuación (ver Ecuación 3.2) representa el método aritmético, así:

$$P = P_1 + \frac{n}{m} \times (P_1 - P_0) \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Dónde:

P = Población proyectada para el año t

P_1 = Población del año t_1 (último censo)

P_0 = Población del año t_0 (penúltimo censo)

$n = t - t_1$

$m = t_1 - t_0$

t = Año del censo P

t_1 = Año del censo P_1

t_0 = Año del censo P_0

En el factor social y económico son relevantes los datos tomados a partir de las encuestas, entrevistas y actividades de participación de la comunidad. Para la identificación del factor ambiental se deben considerar los informes relacionados con el clima de la zona de estudio. Por su parte, en el factor tecnológico prepondera la evaluación de las fuentes de agua, los proyectos de post-construcción de la zona y sus respectivas calidades del agua. Por lo anterior, será necesario la valoración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua.

3.3.3 Fase de análisis de resultados

El análisis de los resultados deberá ser detallado en cada factor de sostenibilidad seleccionado según las herramientas usadas. A través de un análisis estadístico descriptivo se pueden examinar los resultados de una encuesta. En el caso de las entrevistas, se tienen que destacar los comentarios de las comunidades con relación al servicio del agua. Los talleres de participación permiten discutir más a fondo sobre aspectos específicos con el servicio del agua y las expectativas con el mismo.

Por último, dentro de la caracterización de la zona de estudio está la definición del problema que surge luego de los análisis de los resultados en cada factor de sostenibilidad. Generalmente se identifican distintas problemáticas, algunas más obvias que otras, y adicionalmente son muchas cuando se trabaja con varias comunidades. Por lo tanto, definir las principales problemáticas y categorizarlas por el nivel de importancia dependerá del consenso entre los decisores.

3.4 Etapa 4: Definición de objetivos

A partir de esta etapa se comienza con la priorización y diferenciación de las alternativas. Luego de la caracterización de la zona de estudio y la definición de las problemáticas principales y la identificación de un marco de sostenibilidad, se empieza a trazar una lista de objetivos con acciones claras, desde el nivel más general hasta el nivel más específico, con el fin de dar soluciones efectivas a las mismas. Los objetivos tienen que definir unos alcances que limiten la toma de decisiones y posibiliten así un mayor éxito en su implementación (Azapagic & Perdan, 2005).

El objetivo general es el nivel superior o la meta de la de priorización y diferenciación de las alternativas (Garfi & Ferrer-Martí, 2011). Los objetivos que se plantean deben por lo tanto reflejar todas las inquietudes que son relevantes para los problemas de decisión, alinearse al marco de sostenibilidad y cumplirse mediante la implementación de las etapas posteriores de la metodología propuesta en este trabajo de investigación.

3.5 Etapa 5: Selección de alternativas

En esta etapa se identifican las alternativas factibles y más acordes para solucionar el problema de aprovisionamiento del agua en la zona rural escogida. Las alternativas deben ser completas, comparables y centradas en el valor (es decir, abordar aspectos clave), especificadas, internamente coherentes y distintas entre sí (Lienert *et al.*, 2015).

Muchas veces las situaciones de decisión con una gran cantidad de alternativas normalmente requerirán algún tipo de evaluación para reducir el número de opciones a cifras más manejables. Existen distintos métodos, dentro de los cuales se destaca el de concentrar las alternativas similares en varios grupos y luego tratar cada grupo como opción de decisión o valorarlos para escoger el más apropiado (Azapagic & Perdan, 2005).

El objetivo de esta etapa no es diseñar una planta o una tecnología de potabilización para las comunidades, sino la selección de la gama de proyectos de aprovisionamiento de agua, las cuales pueden ser según la fuente de agua y el tratamiento al agua (vistas en el Capítulo 2) que puedan aplicarse al contexto de estudio.

3.6 Etapa 6: Selección de criterios estratégicos

Los criterios deben reflejar el cumplimiento del objetivo planteado en las etapas anteriores. Cada criterio se subdivide en indicadores con el fin de evaluar las alternativas y su medición puede ser de tipo cuantitativa (valor numérico) o cualitativa (estimación del valor) según sus características y condiciones específicas (Cole *et al.*, 2018). En el caso de los indicadores cualitativos, Garfi & Ferrer-Martí (2011) proponen en la Tabla 11 un ejemplo de asignación de valores para la facilidad de la evaluación de las alternativas, donde los

números pueden ser reemplazados por términos como: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Tabla 11: Ejemplo de una evaluación de indicadores cualitativos para la comparación de alternativas

Valor	Definición
-2	Significa que tiene una fuerte influencia negativa en la alternativa
-1	Significa que tiene una influencia negativa en la alternativa
0	No cambia con la implementación de las alternativas
+1	Significa que tiene una influencia positiva en la alternativa
+2	Significa que tiene una fuerte influencia positiva en la alternativa

Tomado de Garfi & Ferrer-Martí (2011)

En esta fase es importante la participación de todos los actores involucrados, tanto los que toman la decisión como los beneficiarios del proyecto (Garfi & Ferrer-Martí, 2011). Según Belton & Stewart (2002) los indicadores deben ser:

- **Relevantes** porque relaciona cada indicador con los objetivos principales.
- **Entendibles**, donde existe una comprensión compartida de conceptos y los indicadores que se usarán en la toma de decisión.
- **Medibles** en el que los indicadores son cuantificables, ya sea tanto indicadores cuantitativos como cualitativos.
- **No redundantes** ya que cada indicador se mide diferente a los otros. Si existe similitud de indicadores, pueden combinarse en un sólo indicador.
- **Independientes**, es decir que son independientes uno del otro, con el fin de que no haya una dependencia de distintos niveles entre indicadores.
- **Operacionales**, donde la cantidad de información y nivel de detalle que se requiere para la medición sea lo más manejable posible.
- **Simples** sin llegar al extremo de ser demasiados simplistas y no capten la esencia de los problemas de sostenibilidad identificados.

Por último, se debe especificar el tipo de indicador, es decir, si se quieren maximizar o minimizar los resultados de la valoración de las alternativas.

3.7 Etapa 7: Priorización y diferenciación de alternativas

Para la priorización y diferenciación de alternativas se usa el análisis multicriterio por sus numerosas ventajas mencionadas en el Capítulo 2. Si bien, el modelo AHP es uno de los de más amplia difusión y aplicación, en su proceso exige considerar que los criterios son independientes entre sí, lo cual no suele ser cercano muchas veces con la realidad. Esta deficiencia es superada por el modelo de ANP, ya que considera la realimentación e interdependencias entre criterios estratégicos e indicadores escogidos y es de suma importancia para el caso en cuestión.

Para este trabajo, se va a utilizar el modelo del ANP, para lo cual uno de los productos del proyecto³ en el que se enmarcó esta tesis, fue el desarrollo un software de nombre Water Multi Decision que permite que los cálculos de valoración de relaciones y de síntesis del ANP sean fáciles de implementar. Tal motivación surge porque los softwares para aplicar la metodología ANP son muy limitados y los costos son considerablemente altos. El software se realizó utilizando un framework de desarrollo de aplicaciones denominado QT y es el resultado de un trabajo de grado en Ingeniería de Sistemas donde sus detalles completos se encuentran en Vanegas (2018).

A continuación, se presentan a modo groso los cuatro pasos principales para llevar a cabo el modelo ANP. Para mayor información, los detalles completos del modelo ANP se pueden encontrar en Saaty (2005):

- **Paso 1) Clúster y relaciones entre los elementos de la red:** primero se modela el problema de decisión como una red en la que los nodos son los elementos (objetivo, criterios, indicadores y alternativas) y los arcos son las relaciones de interdependencia. La calidad de la red depende en gran medida del grado de conocimiento que se posea de la definición del problema. La modelización se puede dividir en: (i) identificar los elementos de la red; (ii) agrupar los elementos en clústeres por alguna característica en común; y (iii) analizar las relaciones entre elementos de la red.

³ Proyecto HERMES 39394 aprobado por la Convocatoria Nacional para el Apoyo a Proyectos de Investigación y Creación Artística de la Universidad Nacional de Colombia 2017-2018

La información gráfica puede representarse también mediante una matriz cuadrada de valores 1 o 0, denominada matriz de correlaciones. En esta matriz tanto en filas como en columnas, se incluyen todos los elementos, y los términos 1 significa que hay dependencia del elemento de la fila sobre el de la columna y 0 que no existe dependencia.

- Paso 2) Asignación de pesos influencias:** luego, se establecen los pesos de las influencias entre elementos, que en procesos alternos como el AHP se realizan comparaciones pareadas entre los elementos conectados mediante el método de comparación pareada diseñado por Saaty. En el ANP, se utiliza el concepto de dominancia, que según Saaty, significa mayor influencia con respecto a una cierta propiedad. La escala fundamental de Saaty empleada para completar las entradas de las matrices de comparación pareada es del 1 al 9, desde igual importancia/influencia a extremada más importancia/influencia (ver Tabla 12). El autovector aproximado de cada matriz de comparaciones pareadas sintetiza los pesos de importancia/influencia relativa de cada uno de los elementos.

Tabla 12: Escala de preferencia entre dos elementos

<i>Intensidad de importancia/influencia</i>	Escala verbal	Explicación
1	Igualmente preferencia/influencia	Ambos elementos son de igual importancia
3	Moderadamente preferencia/influencia	Débil o moderada importancia uno sobre el otro
5	Fuertemente preferencia/influencia	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre el otro
7	Muy fuertemente preferencia/influencia	Importancia demostrada un criterio sobre otro
9	Extremadamente preferencia/influencia	Importancia absoluta de un criterio sobre otro
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios	Intermedios entre valores anteriores

Tomado a partir de (Saaty, 2005)

- Paso 3) Construcción de matrices:** después se construye una nueva matriz denominada supermatriz no ponderada con los valores de pesos de

importancia/influencia relativa de los elementos que reemplazan los valores 1 de la matriz de correlaciones. Las entradas de la supermatriz recogen los pesos de la influencia relativa de los elementos situados en las filas de la matriz sobre los elementos situados en las columnas. Incluidos, los valores de las alternativas respecto a los indicadores. Posteriormente se calculan las prioridades relativas entre clústeres mediante el planteamiento de matrices de comparación pareada. Se ponderan los bloques de la supermatriz no ponderada, a través de los pesos correspondientes de los componentes, para transformarla en la supermatriz ponderada. Dicha matriz se normaliza dividiendo cada valor por la suma de las columnas. De esta forma se obtiene una supermatriz ponderada estocástica por columnas. Por último, se eleva la supermatriz ponderada estocástica a potencias sucesivas hasta que sus entradas converjan y permanezcan de una manera estable. La supermatriz obtenida al final se denomina límite y sus valores con respecto a los indicadores indican la prioridad global de todos los elementos presentes en la red.

- **Paso 4) Selección de la mejor alternativa:** finalmente en la supermatriz límite se observan los valores en las entradas de las columnas correspondientes a las filas asociadas a las alternativas. Dichos valores se deben normalizar y posteriormente ordenar de mayor a menor. El puntaje más alto obtenido es la alternativa más sostenible de aprovisionamiento de agua para consumo humano de la zona rural de estudio.

3.8 Etapa 8: Análisis de sensibilidad

Según Muñoz *et al.* (2016) no hay un consenso sobre cómo determinar la calidad de un método de decisión y la confiabilidad de los resultados. Los criterios de evaluación y las alternativas seleccionadas impactan directamente los productos, por lo tanto, es necesario conducir un análisis de sensibilidad para entender cómo los resultados varían con posibles cambios en la entrada. Por lo tanto, Muñoz *et al.* (2016), afirma que el análisis de sensibilidad se puede definir como un proceso sistemático que permite la estabilidad del comportamiento de la solución a los cambios en las condiciones iniciales. Los cambios pueden darse para agregar, eliminar o cambiar aspectos relevantes en las alternativas, criterios, dependencias, entre otros, con respecto a las condiciones iniciales.

4. Caso de aplicación de la metodología: la zona de estudio

En este capítulo se presenta la primera parte de la aplicación de la metodología desarrollada que corresponde a la zona de estudio. Primero se detalla la contextualización del caso de estudio de un área rural de Colombia, la elección del marco de la sostenibilidad y la caracterización de la zona de estudio. En la caracterización, se abordan las descripciones de las herramientas que se usaron para la recolección de información y la participación de las comunidades. Posteriormente, se da paso a la identificación de los factores de sostenibilidad en los servicios de agua rural, los cuales son: social, ambiental, económico y tecnológico. Específicamente, en el factor tecnológico, se evalúan los proyectos de post-construcción ya implementados en la zona de estudio. Finalmente, se hace una descripción de las principales problemáticas encontradas.

4.1 Etapa 1: Contextualización del caso de estudio

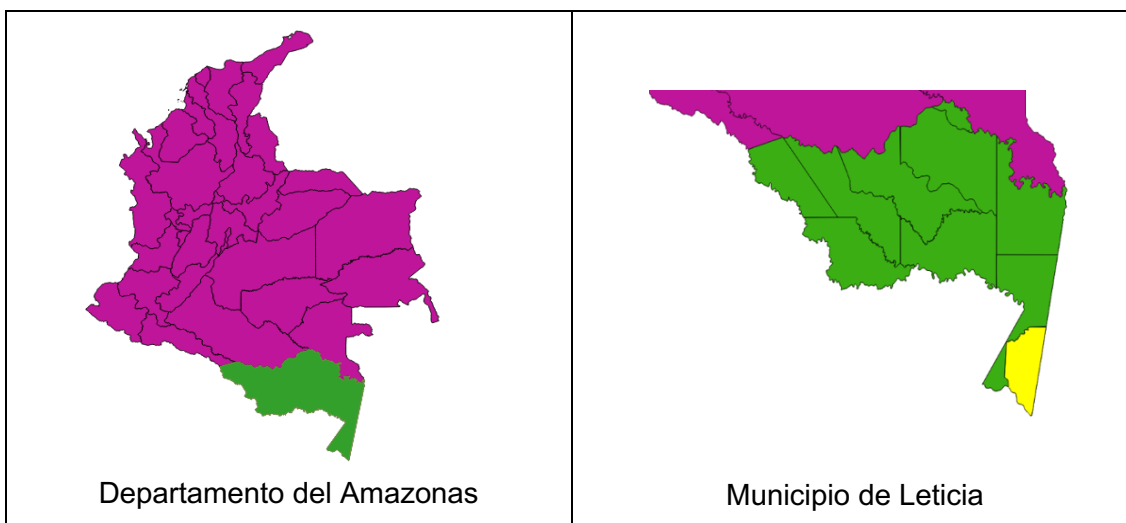
Dentro de los departamentos con mayores dificultades en el acceso al agua para consumo humano se encuentra el Departamento del Amazonas (MINSALUD, 2016). Éste departamento, con mayor extensión territorial en Colombia, lo conforman dos municipios: Leticia su capital, de color amarillo en la Figura 8, Puerto Nariño y nueve corregimientos (Gallo *et al.*, 2010; Gutierrez *et al.*, 2004). Todos estos lugares presentan fallas en los sistemas de abastecimiento de agua y en algunos casos ni siquiera se realiza algún tratamiento a la calidad del agua antes de ser consumida. Pero, es aún más drástica la situación para las poblaciones que viven en las zonas rurales, donde en su mayoría habitan comunidades indígenas, y la información que existe sobre la demanda, fuentes y calidad del agua no existe o es muy escasa (Gobernación del Amazonas, 2016b).

Por lo anterior, se procede a realizar una búsqueda de una zona rural con dificultades en el acceso al agua, que fuese cercana a la ciudad de Leticia para el fácil desarrollo de la

investigación y con experiencias distintas en proyectos de aprovisionamiento de agua y de organización frente a su gestión. Finalmente, se eligieron cuatro comunidades de la Quebrada Yahuaraca, los cuales son: San Pedro, San Juan, San Antonio y San Sebastián. Cabe resaltar que dependiendo de los resultados que se obtengan y con la definición de la problemática se priorizará en una o en algunas comunidades para la aplicación de la metodología.

Los pobladores de la Quebrada Yahuaraca son comunidades indígenas y con autonomía propia, por ende, hubo una consulta previa sobre la posibilidad de la realización de la investigación en cada una de ellas, con el fin de llevar a cabo los objetivos establecidos a través de la metodología propuesta.

Figura 8: Localización del Departamento del Amazonas y el Municipio de Leticia



Elaborado con el software gratuito QGIS

4.1.1 El Departamento del Amazonas

El departamento del Amazonas está ubicado en el extremo suroriental del país (ver Figura 8), donde ocupa un área de 109.665 km², lo que equivale aproximadamente un 10% del territorio nacional, representando así el 23% de la Amazonía colombiana y casi un 2% de toda la cuenca del río Amazonas. El departamento del Amazonas, que antes era Comisaría Especial, desde 1943 y gracias a la Constitución Política de Colombia de 1991, pasó a tener categoría de departamento, lo que significa que apenas lleva cerca de 25 años de haberse creado (Chaparro, 2007).

Según las proyecciones del Censo del DANE del 2005, la población del departamento del Amazonas para el año 2015 fue de 76.243 habitantes, divididos en 28.390 en las cabeceras municipales y en 47.853 en el resto del territorio. En el caso de la capital de Leticia, cerca del 40% de los habitantes viven en las zonas rurales. En el departamento albergan alrededor de 22 pueblos indígenas, quienes se destacan debido a su mayor presencia en el territorio, las etnias: ticuna, huitoto, cocama, entre otros (Gobernación del Amazonas, 2016a).

La actividad económica del departamento depende en mayor medida del comercio, con alrededor del 64,2% de los establecimientos dedicados a la distribución de productos de consumo final. La transformación de materias primas representa apenas el 4,6% de la economía total departamental (Gutierrez *et al.*, 2004). Por su parte, el turismo en el Departamento del Amazonas ha venido creciendo permanentemente desde el año 2004, impulsado en gran medida por la iniciativa privada (Ochoa, 2017).

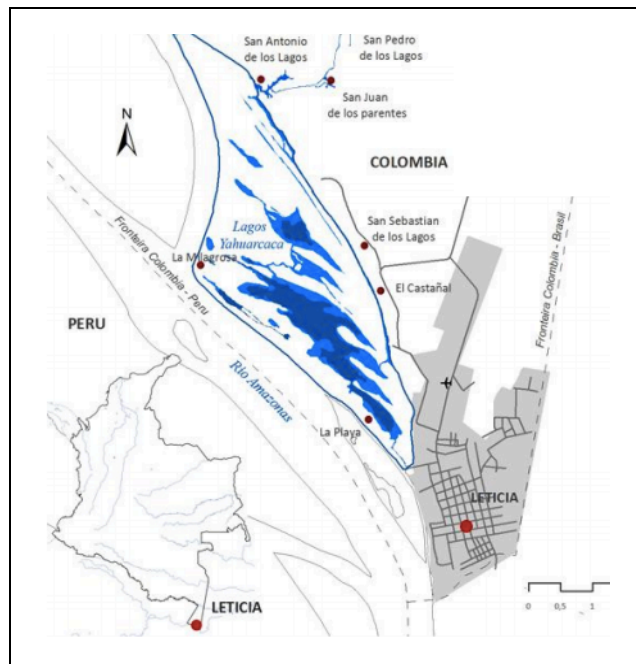
Dentro de la cuenca del río Amazonas, en el Departamento del Amazonas, sobresale la microcuenca de la Quebrada Yahuaraca, ya que drena sus aguas al río de norte a sur, y también porque constituye la zona rural más importante de la capital Leticia.

4.1.2 Microcuenca de la Quebrada Yahuaraca

La Quebrada Yahuaraca es la encargada de abastecer de agua a la ciudad de Leticia. La microcuenca de la Quebrada Yahuaraca tiene un área total de 4.107 hectáreas, hallada al oeste de la zona rural de ciudad de Leticia, con coordenadas 4°11'16" S y 69°58'16" W y una altitud de 82 msnm. El sistema está constituido por 17 lagos interconectados por canales naturales y por siete comunidades indígenas (ver Figura 9). Las comunidades son: San Pedro, San Juan, San Antonio, San Sebastián, La Playa, La Milagrosa y El Castañal (Salcedo *et al.*, 2012).

Tanto San Sebastián como el Castañal, son comunidades que hacen parte de la zona periurbana de la ciudad de Leticia. La Milagrosa y La Playa son comunidades rivereñas. Y San Pedro, San Juan y San Antonio son comunidades netamente rurales con acceso en bote en temporada de aguas lluvias o caminando en medio de la selva desde la carretera en temporada de sequía.

Figura 9. Mapa de la Microcuenca Quebrada Yahuaracaca



Tomado de Van Vliet (2012)

4.1.3 Stakeholders

En la Tabla 13 se señalan los *stakeholders* de la zona de estudio que se involucraron en la investigación: su clasificación según Mejía *et al.* (2016), su rol y su tipo de participación. Acá, es importante mencionar que como este trabajo es un proyecto de investigación, que no implica una verdadera implementación de la alternativa tecnológica, sino el desarrollo e implementación de la metodología, se ha limitado netamente a la participación de los *stakeholders* beneficiarios directos locales, en este caso, las comunidades indígenas de la Quebrada Yahuaracaca en la caracterización de la zona de estudio.

También, académicos de la Universidad Nacional de Colombia intervinieron en el apoyo para la selección de los criterios e indicadores estratégicos. Los demás *stakeholders*, como los gobiernos locales, regionales y nacionales, y las entidades especializadas en la gestión del agua ayudaron a la recolección e interpretación de la información de la zona de estudio provistas por ellos mismos.

Tabla 13: *Stakeholders* de la zona de estudio

Clasificación	Stakeholders	Rol	Tipo de Participación
<i>Personas o familias</i>	<i>Comunidades indígenas de la Quebrada Yahuaracaca</i>	Beneficiarios directos de los proyectos de aprovisionamiento de agua	Toma de decisiones en la Etapa de Caracterización
<i>Otros</i>	Académicos de la Universidad Nacional de Colombia	Apoyo para la selección de criterios estratégicos	Toma de decisiones en la Etapa de Selección de Criterios
<i>Gobiernos locales y agencias especializadas</i>	Unidad de Servicios Públicos y Domiciliarios de Leticia	Responsables de la prestación del servicio del agua en Leticia	Obtención de información secundaria
	Plan Departamental de Aguas del Amazonas	Responsables de la gestión, implementación y seguimiento a la ejecución de los planes de agua del Departamento del Amazonas	Obtención de información secundaria
	Secretaría de Salud Departamental	Responsables de la vigilancia y control de enfermedades causadas por el agua en el Departamento del Amazonas	Obtención de información secundaria
<i>Organizaciones territoriales y de cuencas hidrográficas</i>	Corpoamazonía	Autoridad ambiental del Departamento del Amazonas	Obtención de información secundaria
<i>Gobiernos nacionales y sus agencias especializadas</i>	<i>Ministerio de Salud</i>	Responsables de la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano del Departamento del Amazonas	Obtención de información secundaria
	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	Generación de datos e información ambiental del Departamento del Amazonas	Obtención de información secundaria

Elaboración propia

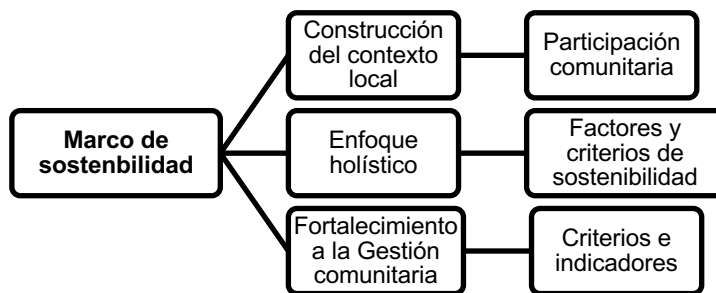
4.2 Etapa 2: Escogencia del marco de la sostenibilidad

Luego de identificar el contexto de la zona de estudio y los *stakeholders* se da paso a la escogencia del marco de sostenibilidad. En este trabajo, el marco de sostenibilidad surge del autoría propio a partir de la combinación de un contexto local, un enfoque holístico y el fortalecimiento de la gestión comunitaria (ver Figura 10). Lo anterior, como se mencionó en el Capítulo 1 y 2, se debe a la falta de contextualización de la zona en el diseño de las alternativas, los enfoques únicamente de tipo económico y técnico en la selección de las

tecnologías y la ausencia de apoyo a las organizaciones comunitarias quienes son los encargados en la mayoría de los casos de prestar el servicio del agua rural en Colombia.

Para la construcción del contexto local se realiza la caracterización de la zona de estudio, definidos en la Etapa 3 de la metodología, en la cual se usa la Metodología de Evaluación Participativa (MPA) para recoger la participación de la comunidad a través de herramientas como la cartografía social. Además, para el enfoque holístico se trabaja con los siguientes factores de análisis de la sostenibilidad en la caracterización: social, ambiental, económico y tecnológico. De igual forma, en la clasificación de los criterios para evaluación de las alternativas se utiliza el mismo enfoque (véase en el Capítulo 5). Por último, se busca fortalecer la gestión comunitaria, donde los modelos planteados por WaterAid (2011) y Smits *et al.* (2013) sirven como base para la definición del objetivo y la asignación de pesos de importancia entre criterios e indicadores estratégicos (véase en el Capítulo 5).

Figura 10: Marco de sostenibilidad propuesto



Elaboración propia

4.3 Etapa 3: Caracterización de la zona de estudio

En esta etapa, después de definir el marco de sostenibilidad y dada la necesidad en esta investigación de construir el contexto local, se realizó la caracterización de la zona de estudio a través de herramientas, como las encuestas y entrevistas para la recolección de información primaria y la revisión de literatura para información secundaria. También, en esta caracterización se fortaleció la participación de comunitaria debido que se emplearon talleres de cartografía social. Por último, se hizo una evaluación de los parámetros fisicoquímicos de las fuentes de agua utilizadas por las poblaciones indígenas y los

proyectos de post-construcción ya implementados en las comunidades. A continuación, se hace la descripción en cada uno de ellos.

4.3.1 Herramientas para la caracterización

a. Diseño y aplicación de la encuesta

Se diseñó la encuesta para las comunidades indígenas a partir de trabajos de investigación relacionados y los conceptos determinados por cada factor (ver Anexo A). El objetivo de la encuesta fue determinar características de los factores de sostenibilidad, generando así un total de 56 preguntas y 49 personas encuestadas.

Para determinar la muestra a encuestar según cada comunidad de estudio, se aplica la Ecuación 3.1, donde se puede calcular la muestra para proporciones de poblaciones finitas (Singh & Masuku, 2004). En este caso, se utilizaron datos demográficos de San Pedro, San Juan, San Antonio y San Sebastián, suministrados por la Asociación de Cabildos y Autoridades Indígenas de Tradición Autóctona – Trapecio Amazónico (AZCAITA). Se utilizó: un nivel de confiabilidad del 95%, con un valor de Z calculado en tablas de 1,96, un e de un 5% y con un valor de p del 50% para que maximice el tamaño de la muestra.

En la Tabla 14 se detalla los números de encuestas necesarias para que los resultados sean representativos. A los encuestadores se les explicó las instrucciones paso a paso para desarrollar la metodología, mientras que a los encuestados se les manifestó, con un lenguaje claro y conciso, el fin de la investigación y de la encuesta. Las encuestas se aplicaron al azar por cada hogar que tuviera acceso al proyecto de aprovisionamiento de agua y los encuestados fueron personas mayores de 18 años.

Tabla 14: Muestra seleccionada para la encuesta en las comunidades de la Quebrada Yahuaraca

<i>Comunidad</i>	<i>Población</i>	<i>Número de personas / hogar</i>	<i>Número de encuestas</i>
<i>San Pedro</i>	69	6	7
<i>San Juan</i>	107	5	11
<i>San Antonio</i>	480	6	15
<i>San Sebastián</i>	733	5	17

Por su parte, la encuesta estuvo estructurada en siete secciones. En la primera sección se indagó sobre los aspectos demográficos y el nivel educativo de la muestra. En la segunda

se refirió a la disponibilidad de los servicios básicos del hogar. En la tercera se investigó sobre las actividades socioeconómicas. En la cuarta se enfocó en el tema del agua, sus usos y satisfacciones. En la quinta se buscó identificar la capacidad financiera en relación con el servicio del agua. En la sexta se examinó lo relacionado con el tema de la salud por el consumo del agua. Finalmente, en la séptima sección se les preguntó a los encuestados sobre las habilidades para la organización y su relación con los entes gubernamentales.

En el análisis de los resultados de la encuesta se hace un análisis estadístico descriptivo con el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) en cada uno de los factores de sostenibilidad. Lo anterior, se debe a que el uso del SPSS es muy común debido a su facilidad en la organización, manejo y análisis de los datos obtenidos en las encuestas.

b. Realización de entrevistas semiestructuradas

Se realizaron siete entrevistas semiestructuradas de personas que estén o hayan desempeñado un rol importante en las comunidades indígenas distribuidas como los curacas (o líder comunal) de las comunidades. En total, se transcribieron más de 40 páginas con todos los entrevistados.

Las entrevistas recopilaron información relacionada con el tipo de organización de la comunidad y su gestión en torno al agua para consumo. Por ser una entrevista de tipo semiestructurada, se plantearon cuatro preguntas que condujeron en la mayoría de los casos a preguntas en cadena (ver Anexo B).

c. Realización de los talleres de participación

Siguiendo el modelo del MPA, se realizaron talleres de cartografía social en las comunidades de San Pedro y San Juan debido a que son comunidades pequeñas, y, por lo tanto, fue más fácil la concertación y la convocatoria para el desarrollo de estas herramientas (ver Figura 11). No se pudo realizar los talleres en las comunidades de San Antonio y San Sebastián por la dificultad de convocatoria y la limitación de tiempo. En los talleres se involucra a las comunidades para la participación en la toma de decisiones del método de priorización que se plantea en esta investigación. El objetivo es indagar sobre el impacto que ha tenido en la comunidad la implementación de los proyectos de post-construcción, las fuentes de agua utilizadas a lo largo del tiempo y qué expectativas tienen

a futuro con relación al servicio del agua. Lo anterior, será importante porque permitirá identificar sobre la necesidad, la aceptación y las consecuencias que puede dejar una nueva alternativa tecnológica que se lleve a cabo dentro de la comunidad.

En los talleres de cartografía social se trabajó con tres temporalidades referente a:

- Pasado: ¿Cómo era la comunidad 10 años antes de la implementación de los proyectos de post-construcción de aprovisionamiento de agua en cada comunidad?
- Presente: ¿Cómo es la comunidad actualmente después de la implementación de los proyectos de post-construcción de aprovisionamiento de agua en cada comunidad?
- Futuro: ¿Qué expectativas tiene la comunidad dentro de 10 años con relación al servicio del agua?

Figura 11: Participación de las comunidades a través de cartografía social



d. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua

Se evaluaron distintos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad actual del agua en las comunidades (ver Tabla 15). Se analizaron las fuentes de agua más utilizadas por las comunidades indígenas como los tanques recolectores de aguas lluvias y las quebradas cercanas. También, se midieron los respectivos indicadores en la salida de los proyectos de post-construcción de aprovisionamiento de agua ya instalados en las comunidades para la verificación de la calidad del agua obtenida.

Tabla 15. Parámetros evaluados en las comunidades según los puntos de recolección

Parámetros	Comunidad	Puntos de recolección
<u>Físico:</u> Turbiedad, Color, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, <u>Químicos:</u> pH, Nitrato, Nitrito, Fósforo Total y Nitrógeno Total, DBO y oxígenos disueltos <u>Microbiológicos:</u> Mesófilos, Coliformes Fecales y Coliformes Totales	San Pedro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proyecto de post-construcción. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quebrada.
	San Juan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proyecto de post-construcción. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quebrada. ▪ Aguas Iluvias.
	San Antonio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proyecto de post-construcción. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quebrada. ▪ Aguas Iluvias.
	San Sebastián	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proyecto de post-construcción.

En el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, se realizaron la evaluación de los parámetros fisicoquímicos, y en el Laboratorio de Microbiología de Aguas y Alimentos de la misma universidad se realizaron la medición de los indicadores microbiológicos.

4.3.2 Factores de sostenibilidad

A continuación, siguiendo lo propuesto por el marco de sostenibilidad, el enfoque holístico permite identificar los factores de análisis de la sostenibilidad, como lo propone IRC & World Bank (2000), los cuales son: social, ambiental, económico y tecnológico. Estos factores se analizan en las comunidades de San Pedro, San Juan, San Antonio y San Sebastián. Es de recalcar, que en esta aplicación no se tuvo en cuenta el factor institucional porque no será un criterio estratégico, ya que en el análisis multicriterio se dificulta la diferenciación entre las alternativas y, además, la presencia del estado en las zonas rurales sigue siendo todavía muy débil (Garfi *et al.*, 2011; Hajkowicz & Collins, 2007).

▪ Factor Social

▪ Demografía

Según la base de datos suministrada por la Asociación Zonal de Cabildos Indígenas de Tradición Autóctona del Trapecio Amazónico (AZCAITA), en la Tabla 16 se describe la población de las comunidades indígenas para los años 2006, 2011 y 2016. Cabe añadir que no existen reportes en el año 2006 para las comunidades de San Antonio y San Pedro. Del año 2011 al año 2016, es decir en cinco años, la población de San Pedro tuvo un

crecimiento importante del 32,7%, la de San Sebastián un 31,4%, la de San Antonio un 21,2% y la de San Juan tan solamente un 7,0%.

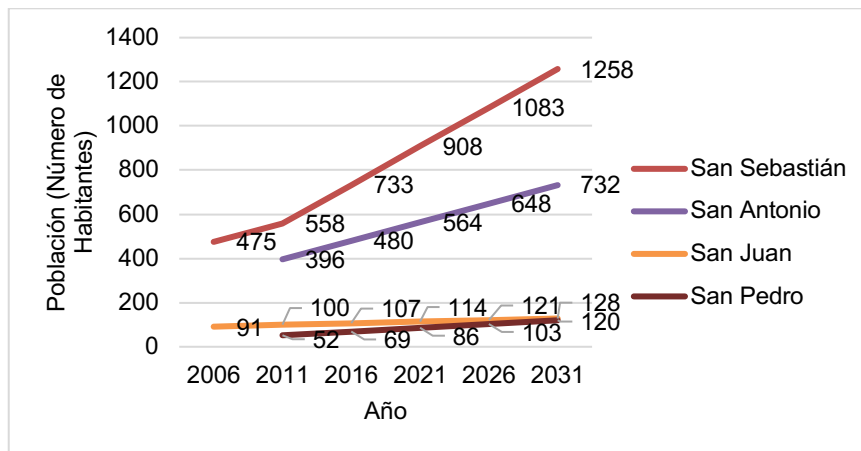
Tabla 16: Demografías de las comunidades en el año 2006, 2011 y 2016

Comunidad	2006	2011	2016
San Sebastián	475	558	733
San Antonio	-	396	480
San Juan	91	100	107
San Pedro	-	52	69

Tomado a partir de AZCAITA

Con el método aritmético (ver Ecuación 3.2) se calculó la proyección de las comunidades, debido a que son datos importantes para determinar la extensión del proyecto. A partir de la Tabla 16, se usaron: P como proyección a 2021, 2016 y 2031; t_1 como 2016 (último censo); t_2 como 2011 (penúltimo censo); P_1 población del 2016; y P_0 población del 2011. Por consiguiente, en la Figura 12 se detallan los resultados de la proyección de la población de las comunidades indígenas.

Figura 12: Crecimiento y proyección de la población de las comunidades



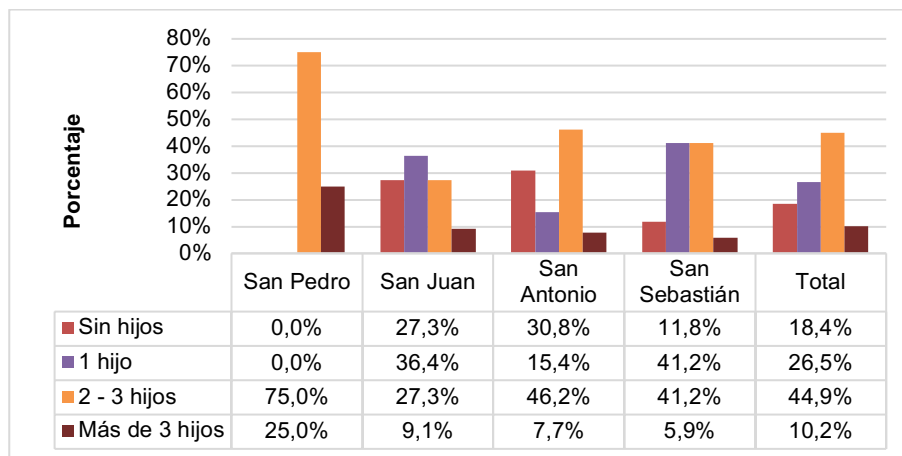
Para el año 2031, se espera que la población de San Sebastián alcance los 1258 habitantes, teniendo una alta probabilidad que pase a ser un barrio debido a su cercanía con la ciudad de Leticia. La comunidad de San Antonio tendrá un crecimiento del 52,5% para el 2031. Y, mientras tanto, el aumento de San Juan y San Pedro, no serán tan significativos en el período de tiempo. En la Figura 12 se presentan gráficamente los

censos reportados por AZCAITA y las proyecciones de las poblaciones que se realizan hasta el año 2031.

También, a través de las encuestas, se hallaron algunas características demográficas de la zona de estudio. En San Pedro, el 50,0% de los encuestados fueron mujeres y el otro 50,0% fueron hombres. Para San Juan, el 63,6% fueron hombres y el 36,4% fueron mujeres. En San Antonio, 53,8% hombres y 46,2% mujeres, y en San Sebastián, 53,1% mujeres y 46,9% hombres. Cabe resaltar que los porcentajes entre los dos sexos son cercanos, lo cual se hizo para que hubiera mayor participación de la mujer, quien es según Lasprilla (2009), la encargada en la mayoría de las veces, no sólo del cuidado de los hijos, sino del uso del agua para el consumo de los alimentos, y también, cuando el hombre está por fuera de la casa al cuidado de los cultivos agrícolas, o también llamados *chagras*.

El número de niños de 0 a 12 años en el hogar es importante porque da cuenta sobre los niveles de riesgos de exposición que tienen ellos sobre enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua (ver Figura 13). En San Pedro, el 100% de los hogares encuestados tienen más de dos niños. En San Juan y San Antonio, cerca del 60% tienen entre uno y tres niños en las familias, mientras que, en San Sebastián, alrededor del 80%. El promedio en total es de dos hijos por hogar en San Juan, San Antonio y San Sebastián, mientras que en San Pedro que es de 3 hijos por hogar.

Figura 13: Porcentaje de personas encuestadas según el número de hijos en el hogar

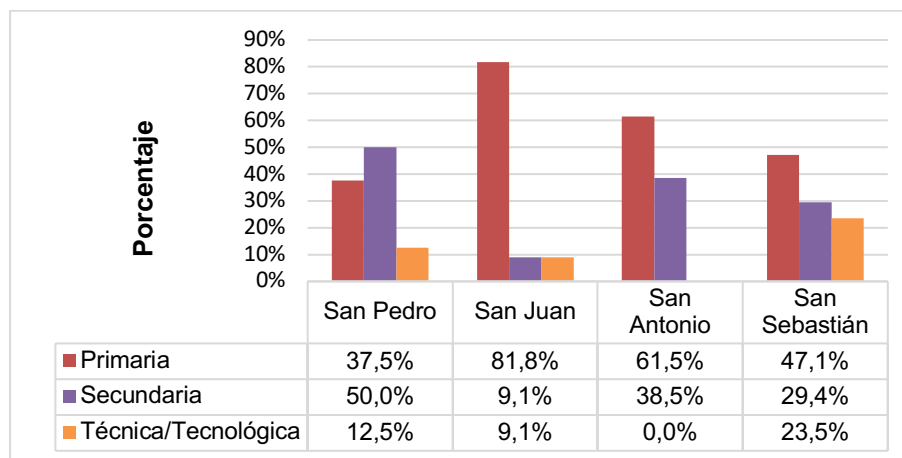


Con respecto al tema educativo, en cada comunidad existe un colegio, con excepción de San Pedro donde sus estudiantes deben salir y caminar hasta la carretera para asistir al

colegio Camilo Torres. Para todas las comunidades es significativo el porcentaje de pobladores que han cursado la primaria (ver Figura 14). Pero, aunque los últimos años ha venido creciendo el porcentaje, en la mayoría de los casos, a medida que aumenta el grado de escolaridad, son muy pocos los que pueden lograr el nivel más alto. En la comunidad de San Pedro, sólo el 50% de la población encuestada ingresó a la secundaria y menos del 13% ha alcanzado a realizar un técnico o un tecnológico. En San Juan, menos del 10% ha llegado a realizar técnico o un tecnológico. En San Sebastián, hay un 24% que ha realizado un técnico o tecnológico, debido a que hace parte de la zona periurbana de la ciudad de Leticia, lo cual hace más fácil el transporte hacia las instituciones de educación superior. Por último, se encontró que ninguna persona encuestada ha podido acceder a un título profesional.

Con relación al acceso a los servicios públicos, las cuatro comunidades indígenas tienen acceso a la red de energía eléctrica generalmente las 24 horas del día. No poseen alcantarillado sino pozos sépticos. Algunos de los pobladores de la comunidad de San Sebastián se movilizan por medio de moto propia o transporte público debido a que existe carretera pavimentada. En el caso de San Pedro, San Juan y San Antonio, algunos hogares poseen una canoa para el transporte en temporada de lluvias.

Figura 14: Porcentaje de personas encuestas según su grado de escolaridad



▪ **Salud**

En las comunidades no hay ningún puesto de salud ubicado en sus territorios. El punto de salud queda cerca del centro de la ciudad de Leticia, dificultando así muchas veces la atención oportuna y el no reporte de datos sobre casos de malestares. Los datos obtenidos

a través de la Secretaría de Salud Departamental, donde se presentan el número de casos relacionados con la Enfermedad Diarreica Aguda (EDA), la Infección Respiratoria Aguda (IRA) y la mortalidad perinatal, asociadas con la mala calidad del agua, pueden resultar en algunas casos muy confusos. Lo anterior es debido a que muy pocas veces registran la procedencia del usuario de las zonas rurales, por lo que los datos reportan a los pobladores como si todos vivieran en la ciudad de Leticia. También, hay casos en que no reportan los datos o hay inconsistencias entre los departamentales y los de nivel nacional.

Desde el año 2006 hasta el 2016, se han reportado 33 casos de mortalidad de niños EDA en el Departamento del Amazonas. En la mortalidad perinatal se consideran todas las muertes que ocurren entre la vigésimo octava semana de gestación y el séptimo día de nacimiento. El problema de lo anterior, es que todas las cifras de dichas enfermedades la engloban en una sola, presentándose como indicador de mortalidad perinatal, lo cual hace un arduo el trabajo de identificar las verdaderas razones de muerte de un bebé cuando en algunos casos puede ser causado por el agua. En el Departamento del Amazonas el número de estos casos abundan por año. En San Sebastián y en San Antonio, se han encontrado varios casos entre el 2007 y el 2011.

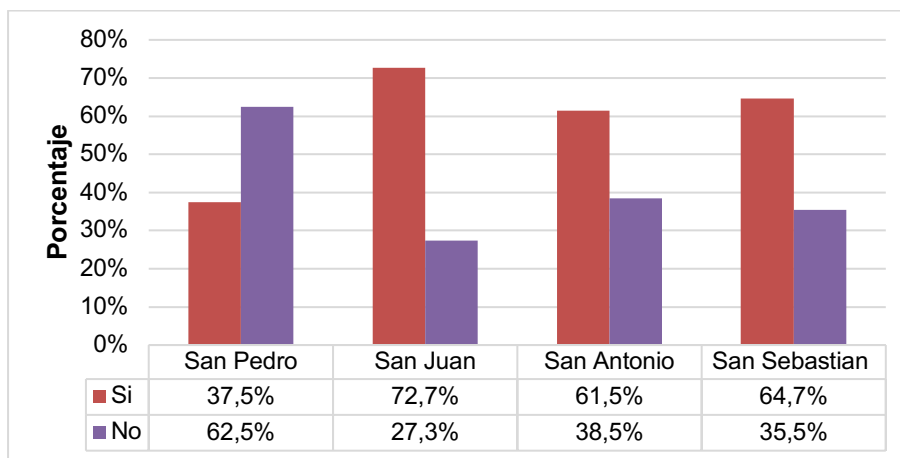
De igual forma, a las comunidades indígenas se les preguntó si conocían de las enfermedades que son producidas por el consumo de mala calidad del agua. En la Figura 15, se observa que cerca del 60% de los encuestados en San Juan, San Antonio y San Sebastián tienen idea de los malestares producidos por el agua no apta para consumo humano, los cuales detallaron que puede ser diarrea, dolor estomacal, vómitos, malaria, entre otros. De todas formas, el porcentaje restante que no conocen tiende a ser muy representativo.

Pero, en San Pedro, la cifra de desconocimiento de las enfermedades es muy alta porque llega al 62,5%. Uno de sus habitantes, manifestó lo siguiente en la entrevista cuando se le indagó si los niños se enfermaban por el agua:

“Pues yo creo que la gente acá está acostumbrada en eso. Porque eso es desde un principio.... En este momento no tenemos problemas. Los niños toman agua de esa

llave... No se enferman. Claro, hay enfermedad, pero no son producidos por el agua, sino a través del medio ambiente, de pronto por el aire”⁴

Figura 15: Conocimiento sobre las enfermedades causadas por el consumo de agua de mala calidad



Y cuando se siguió preguntando al entrevistado, si por ejemplo la diarrea era una enfermedad relacionada con el agua, respondió: *“Diarrea tampoco... de pronto... no sé si es del agua o de otras cosas”*. Lo que evidencia en este caso es que dentro de la población no hay una clara relación directa entre el tema del agua y las enfermedades que se puedan causar por el consumo de la misma, pero de mala calidad.

▪ **Participación de la comunidad**

En esta investigación, se ha mencionado mucho sobre la necesidad de la participación de las comunidades. Como son comunidades indígenas, tienen la facultad de tomar sus propias decisiones del territorio desde la Constitución de 1991. Pero, desde un nivel local, Cassú (2015), cuestiona que cuando las comunidades y asociaciones indígenas dependen de los recursos del Estado para ejercer su autonomía, todavía sigue siendo difícil discutir los términos de esa autonomía.

Dentro del organigrama para cada comunidad, en lo más alto existe una Asamblea General, donde se reúnen todos sus habitantes con el fin encabezar la toma de decisiones y dirigir el destino que más crean conveniente. Luego, en el organigrama, sigue el curaca,

⁴ Entrevista a un habitante de la comunidad de San Pedro.

quien es el Gobernador de la comunidad y quien la lidera. Por último, dependiendo del caso, le siguen los vice-curacas, el fiscal, el tesorero y los vocales.

Ante la pregunta, si la comunidad se reunía para realizar actividades en conjunto para resolver problemas, también desde San Pedro respondieron:

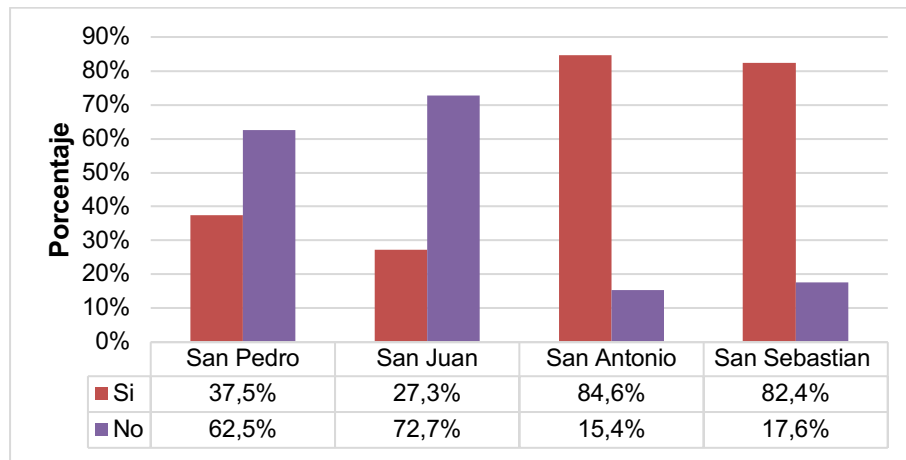
“Eso lo encabeza el curaca... Los problemas que pasa en la comunidad no solamente una persona lo va a saber, sino es conjuntamente, porque para eso dice que es una comunidad... Entonces ya tiene que traer la información y socializar conjuntamente con la comunidad... Si, por ejemplo, me sucede... en ese caso pues del agua... Entonces el curaca llama ya a la gente y empieza a dialogar, y a través del diálogo el curaca lleva la información a una empresa o la Alcaldía”.⁵

Como sucede en San Pedro, también pasa en las otras comunidades porque hacen parte de la misma comunidad étnica que es la ticuna. Pero, para detallar un poco más, además se les encuestó a los habitantes si donde vivían participaban en actividades en conjunto y si han planeado y ejecutado proyectos, los cuales afirmaron más de un 90% que sí lo hacían. Y es que, cuando llega un proyecto, generalmente se recibe, se discute y se intercambia con la comunidad y se toman decisiones que benefician a todos. Para Cassú (2015), el beneficio de la comunidad es el tema conductor del discurso político indígena, como lo demuestra otro comentario: *“Si el proyecto es productivo en la comunidad o no, entonces a es que llegan ya la última parte.”*

En la Figura 16, se observa que en San Pedro y en San Juan, entre el 60-70% de la comunidad se reúne muy poco a discutir sobre temas del agua. Lo anterior se debe a que son comunidades pequeñas y recientemente han tenido muy pocos problemas asociados con sus proyectos de post-construcción de aprovisionamiento de agua. Por otra parte, cerca del 80% en San Antonio y San Sebastián afirman que se reúnen ya que en la primera están en proceso de creación de un acueducto comunitario y en la segunda ya existe uno por el que se hacen reuniones periódicamente para tratar los temas sobre los consumos de agua y los pagos de las tarifas por usuario.

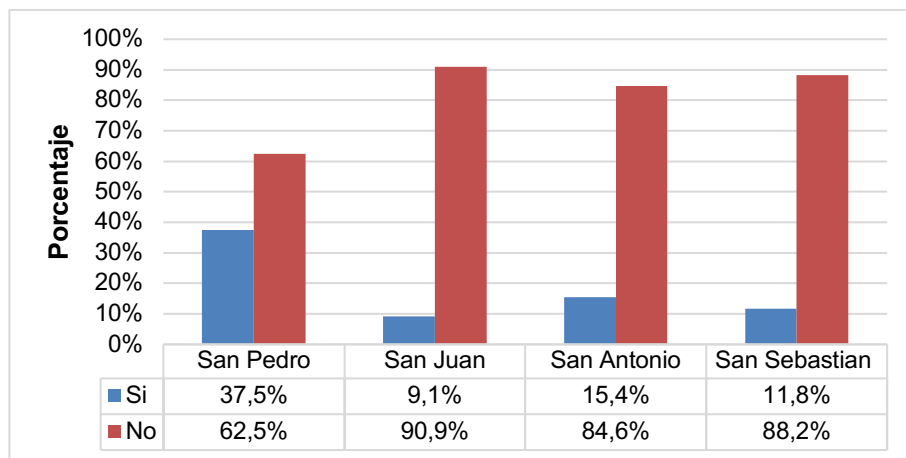
⁵ Entrevista a un habitante de la comunidad de San Pedro.

Figura 16: Porcentaje de encuestados que afirman o no si la comunidad se reúne para hablar sobre temas del agua



Con respecto a las habilidades locales y técnicas para reparar equipos dañados, importante en la operación y mantenimiento de los servicios de agua, se les preguntó a los encuestados, si existían tales destrezas en cada comunidad. En los cuatro casos, más del 60% dijeron que la comunidad no tenía (ver Figura 17). Lo anterior, sumado a la falta de nivel técnico en su grado de escolaridad, marca un precedente importante para tener en cuenta de la necesidad de realizar capacitaciones para la operación y mantenimiento de cualquier alternativa tecnológica que se llegue a implementar.

Figura 17: Porcentaje de encuestados que afirman o no si la comunidad tiene habilidades técnicas para reparar equipos dañados



- **Factor ambiental**

- **Los impactos ambientales**

La deforestación por parte de la ganadería y el incremento de la frontera agrícola en la Quebrada Yahuaraca está provocando que ciclos de agua se alteren y se produzcan sequías más fuertes y lluvias más intensas. Por ende, las temporadas son cada vez más impredecibles y extremas, afectando así las cadenas productivas de las comunidades indígenas (Santos *et al.*, 2013). De hecho, un habitante menciona:

*“Sabes, que hoy en día el cambio climático es muy raro. Entonces es tener agua potable, tratada, porque, no solamente la comunidad lo va a utilizar sino también llegan turistas, gente de la ciudad... acá en tiempo de sequía, toca cargar de hombro en garrafones, desde el kilómetro ocho hasta acá para los turistas”.*⁶

Con respecto a los consumos de un servicio y los impactos que pueda producir, como por ejemplo del agua, donde el mismo poblador afirma:

“Para mi sería controlar el agua, que cada cual controla su agua, que cantidad requiera pasa su uso, para que no desperdicie el agua”.

De lo anterior, será importante dar cuenta sobre la necesidad de implementar proyectos que genere los menores impactos ambientales posibles.

- **Clima**

Con los datos suministrados de la estación del IDEAM en la ciudad de Leticia, con fechas desde el 2006 hasta el año 2016, se realizaron las gráficas de temperatura, precipitación y brillo solar. En la Figura 18, se observa que los meses con mayor temperatura van entre agosto a abril y los meses con menor temperatura van de mayo a julio. La temperatura media es de aproximadamente 26 °C. Entre tanto, en la Figura 19, se detalla que los meses con mayor precipitación son diciembre, enero, marzo, abril y febrero (temporada de lluvias) y los meses con menor precipitación son junio, julio, agosto y septiembre (temporada seca). Y complementando, entre julio y mitad de octubre solamente llueve de 16 a 18 días

⁶ Entrevista a un habitante de San Pedro

al mes (ver Figura 20). Por último, en la Figura 21, se presenta la variación en meses del brillo solar por horas en cada mes, teniendo los picos más altos desde julio a septiembre.

Figura 18: Variación en meses de la temperatura (°C)

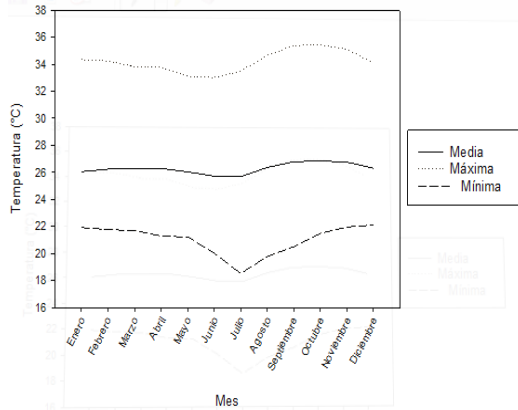


Figura 19: Variación en meses de la precipitación media (mms)

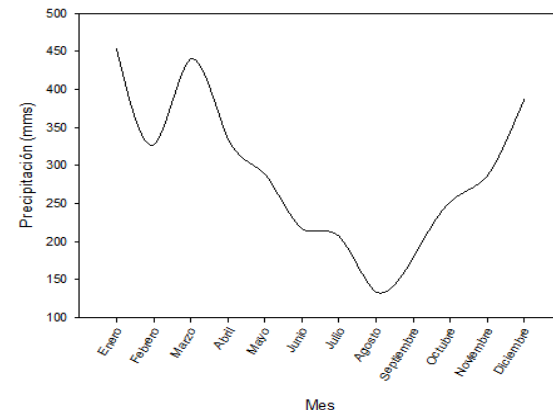


Figura 20: Variación en meses de los números de días de precipitación

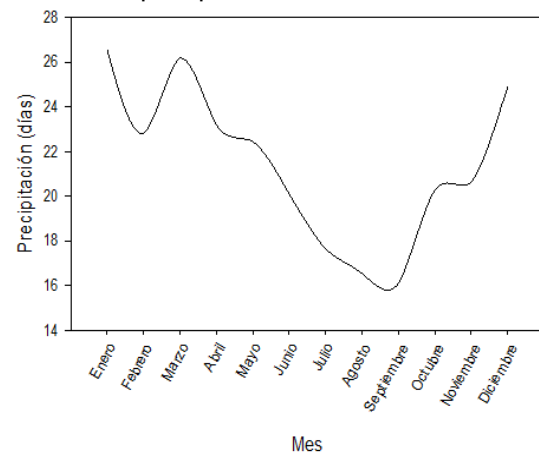
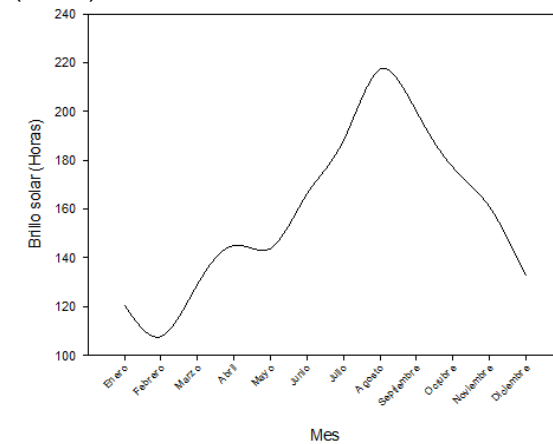


Figura 21: Variación en meses del brillo solar (horas)

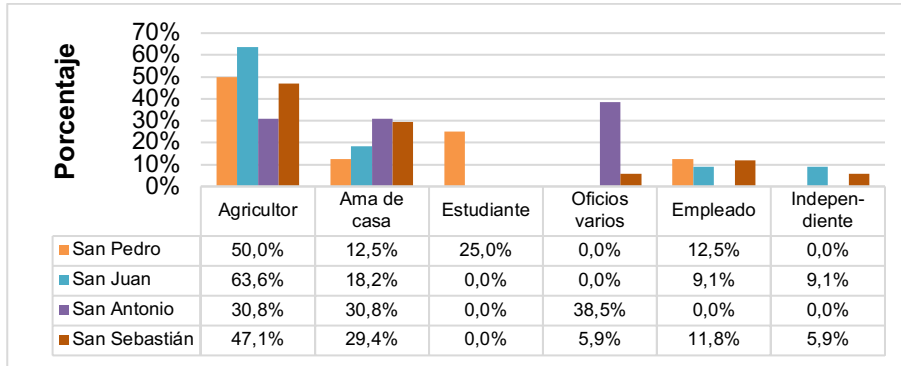


▪ **Factor económico**

▪ **Empleo**

A los encuestados de cada comunidad indígena, se les preguntó sobre el tipo de ocupación (ver Figura 22). La mayoría dijo desempeñar actividades de agricultura, que es algo muy común en las comunidades indígenas ticuna. En San Pedro, se presenta un considerable porcentaje de estudiantes debido a que la población encuestada fue mayormente joven. En San Antonio, hay un alto porcentaje que participan en pluriactividades.

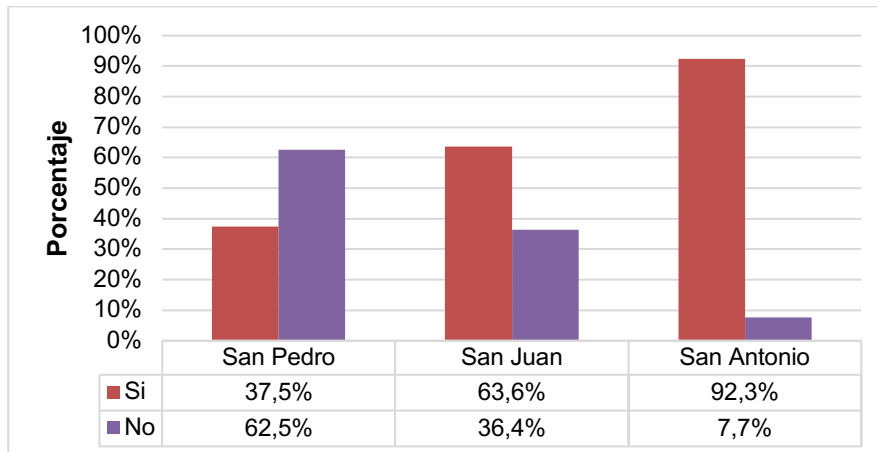
Figura 22: Tipo de Ocupación



▪ **Costo del servicio del agua**

Los usuarios del servicio de agua de las comunidades de San Pedro, San Juan y San Antonio no pagan ninguna tarifa debido a las características del proyecto de post-construcción de aprovisionamiento de agua. Pero, se les preguntó a los encuestados si aceptarían pagar una tarifa en caso que tuvieran la oportunidad de mejorar la calidad del agua (ver Figura 23). En San Antonio, los resultados mostraron que más del 90% tendrían la intención de pagar un valor para mejorar la calidad del agua. Lo anterior se debe a que el proyecto de agua queda retirado de los hogares, haciendo que la gente deba caminar mucho trayecto para cargarla en baldes. En San Juan, pasa algo similar que, en San Antonio, por eso el alto porcentaje de respuestas positivas. Mientras tanto, en San Pedro, la gente no estaría tan interesada porque están conformes con la calidad del agua de su proyecto.

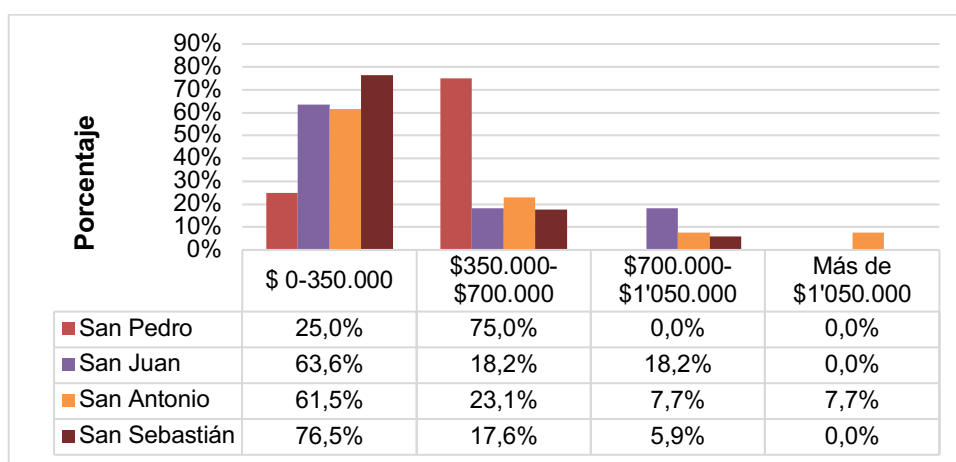
Figura 23: Porcentaje de personas dispuestas a pagar una tarifa para mejorar la calidad del agua



▪ **Ingresos económicos**

Los ingresos económicos provienen de actividades como: la agricultura, la pesca, venta de artesanías y madera, turismo, comercio y contratos laborales temporales. En la Figura 24, se detallan los ingresos económicos mensuales por cada familia. La mayoría de los encuestados, manifestó estar un rango de ingresos entre \$0-\$700.000, es decir, menos del salario mínimo. En San Juan, San Antonio y San Sebastián, el 60-77% de los encuestados reciben aproximadamente menos de la mitad de un salario mínimo. Solamente en San Pedro, el 75% alcanza a devengar entre \$350.000-\$700.000.

Figura 24: Ingresos económicos mensuales por cada familia

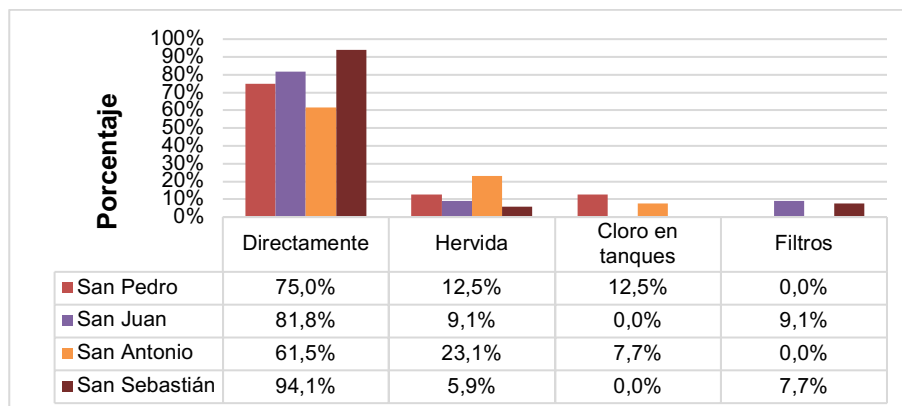


▪ **Factor tecnológico**

▪ **Consumo de agua**

Ante la pregunta si realizaban algún tratamiento previo en el hogar al agua que es para consumo (ver Figura 25), tanto en San Pedro como en San Juan, superaron el 75% afirmando que no hacían ninguno. En San Sebastián, el 94% afirmó que lo consumían directamente, lo que significa que hay una confianza en el proyecto de post-construcción y en la calidad del agua. Por otra parte, en San Antonio se observa que menos del 62% de la comunidad consume el agua directamente, evidenciando así la desconfianza que hay sobre el sistema.

Figura 25. Tratamiento en el hogar antes del consumo de agua

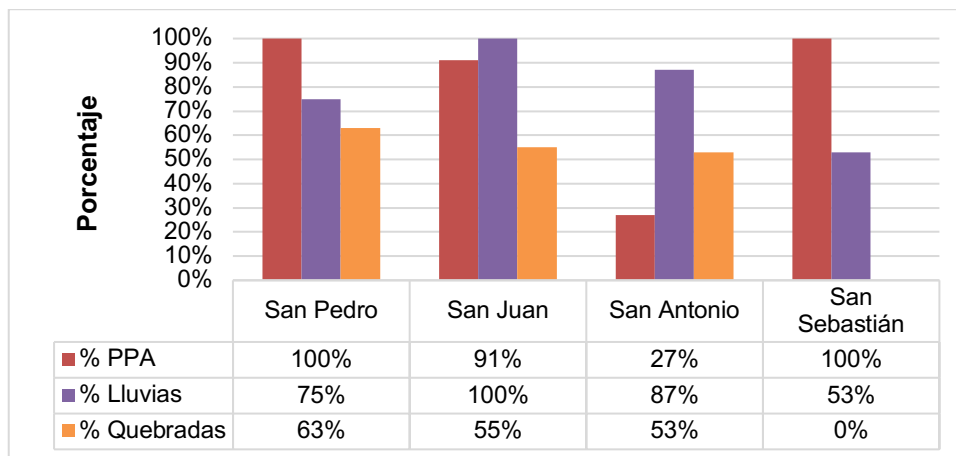


▪ **Fuentes de agua**

También se identificó la necesidad de relacionar el consumo de agua según la fuente de agua que usan las comunidades (ver Figura 26). Las fuentes de agua pueden cambiar dependiendo de la temporada de sequía o aguas lluvias en el año. En San Pedro, por ejemplo, el 100% de los encuestados usan el proyecto de post-construcción de aprovisionamiento de agua como fuente principal de agua para consumo. Aunque todavía cerca del 75% también siguen usando las aguas lluvias y el 63% las aguas provenientes de las quebradas cercanas.

En San Juan, el 100% usa las aguas lluvias como fuente de agua, le siguen un 91% con el proyecto de post-construcción y finalmente un 55% con el agua proveniente de la quebrada cercana a la comunidad. Por otra parte, en San Antonio, menos del 30% de los encuestados manifiesta que usa el proyecto de post-construcción, lo que puede deberse a los largos desplazamientos desde el punto de recolección de agua hasta las viviendas y también por la mala calidad de la misma. El 87% usa la fuente de las aguas lluvias para consumo mientras que un 53% usa el agua de la quebrada contigua a la comunidad. Y en San Sebastián, el 100% de los que fueron encuestados tienen acceso a la red de servicio del proyecto de aprovisionamiento de agua, por lo que para muchos es su fuente principal. Sin embargo, todavía existe un 53% que sigue usando la fuente de aguas lluvias para el consumo.

Figura 26: Consumo de agua según la fuente de agua



A partir de los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se evaluaron las distintas fuentes de agua en cada comunidad. En la Tabla 17 se observan solamente los parámetros que no cumplen las condiciones que establece la Resolución 2115. Se destacan la contaminación con mesófilos y coliformes fecales en todas las fuentes de agua y la presencia de *E. coli* en las quebradas cercanas a cada comunidad.

Tabla 17: Calidad de las fuentes de agua usadas por las comunidades

Comunidad	Fuente de agua	Resultado	Valor esperado
San Pedro	Quebrada	<u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos, coliformes fecales y <i>E. coli</i>	Según la Resolución 2115 del 2007:
San Juan	Quebrada	<u>Físicoquímicos:</u> Turbiedad (NTU) = 7,37 <u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos, coliformes fecales y <i>E. coli</i>	
		Lluvias	<u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos y coliformes fecales
San Antonio	Quebrada	<u>Físicoquímicos:</u> Turbiedad (NTU) = 9,12 Color real (UPC) = 45,0 <u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos, coliformes fecales y <i>E. coli</i>	Ausencia de coliformes fecales y <i>E. coli</i>
	Lluvias	<u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos y coliformes fecales	

▪ **Proyectos de post-construcción de aprovisionamiento de agua**

En esta parte, se describe los proyectos de pos-construcción de aprovisionamiento de agua ya implementados en cada comunidad de estudio (ver Tabla 18). En esta descripción, se utilizaron los análisis de las encuestas, las entrevistas y los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua.

En San Pedro, construyeron con sus propias manos una columna de madera que soporta los cuatro tanques. Como tecnología de extracción del agua subterránea, utilizan una electrobomba que llena los tanques aproximadamente dos veces al día. En casi toda la comunidad está instalada la red para la distribución del agua. No hay una tarifa del agua, pero entre todos pagan el servicio del consumo de la energía que es relativamente algo por el funcionamiento de la electrobomba. Presenta contaminación con mesófilos y coliformes totales. La satisfacción de calidad del agua es buena con más del 80% en satisfecho y muy satisfecho.

Tabla 18: Descripción de los proyectos de post-construcción de aprovisionamiento de agua de las comunidades

	<i>San Pedro</i>	<i>San Juan</i>	<i>San Antonio</i>	<i>San Sebastián</i>
Tipo de proyecto	Informal	Informal	Informal	Acueducto comunitario
Descripción del proyecto post-construcción	Electrobomba con cuatro tanques de 1000 L	Electrobomba con filtros de carbón activado, gravilla y un tanque de 1000 L	Electrobomba con un tanque de 1000 L	Planta compacta de potabilización con filtración, desinfección y uso de piedras calizas
Distribución del agua	Red de distribución	Las personas deben caminar para recolectar agua	Las personas deben caminar para recolectar agua	Red de distribución
Fuente de agua	Subterránea	Subterránea	Subterránea	Subterránea
Gasto de agua	Dos veces al día llenan los tanques. Aproximadamente 240 m ³ x mes	Tres veces al día llenan los tanques. Aproximadamente 90 m ³ x mes	Dos veces al día llenan el tanque. Aproximadamente 60 m ³ x mes	Aproximadamente 1.000 m ³ x mes
Tipo de tratamiento al agua	No realiza ningún tratamiento al agua	Filtros de carbón activado	No realiza ningún tratamiento al agua	Filtración y desinfección
Participación en el proyecto	Se reúnen cada 15 días, donde a veces tratan temas de agua	No se reúnen para hablar sobre temas del agua	Se reúnen cada 15 días, donde a veces tratan temas de agua	Cada mes para tratar temas netamente sobre el agua
Impactos ambientales	Elevada cantidad de consumo de energía	Elevada cantidad de consumo de energía	Elevada cantidad de consumo de energía	Elevada cantidad de consumo de energía
Costo del servicio	Los usuarios no pagan por el servicio, pero entre todos pagan la tarifa de energía consumida	Los usuarios no pagan por el servicio	Los usuarios no pagan por el servicio, pero entre todos pagan la tarifa de energía consumida	El costo es de \$1.200 x m ³ por consumo de agua

Empleos generados	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Bonificaciones a la junta directiva y al fontanero
Calidad del agua	<u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos y coliformes totales	<u>Físico-Químicos:</u> pH = 5,86 <u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos y coliformes totales	<u>Físico-Químicos:</u> pH = 6,09 <u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos y coliformes totales	<u>Físico-Químicos:</u> pH = 6,42 <u>Microbiológicos:</u> Contaminación con mesófilos y coliformes totales
Satisfacción de la calidad del agua	Muy satisfecho:37,5% Satisfecho: 50,0% Insatisfecho: 12,5% Muy insatisfecho: 0%	Muy satisfecho:18,25% Satisfecho: 45,5% Insatisfecho: 36,4% Muy insatisfecho: 0%	Muy satisfecho: 7,7% Satisfecho: 7,7% Insatisfecho: 38,5% Muy insatisfecho:46,2	Muy satisfecho: 70,6% Satisfecho: 23,5% Insatisfecho: 5,9% Muy insatisfecho: 0%

En San Juan, un grupo de evangélicos de España, instalaron hace varios años una electrobomba por debajo de la tierra, donde el agua pasa por filtros de carbón activado y gravilla. No poseen red para la distribución del agua, por lo tanto los usuarios deben recoger el agua en baldes. No se reúnen para hablar sobre temas del agua. El dueño del proyecto de pos-construcción paga el agua y la comunidad no. Presenta contaminación con mesófilos y coliformes totales, y un pH por debajo de la normativa con 6,09. La insatisfacción es del 36,4%.

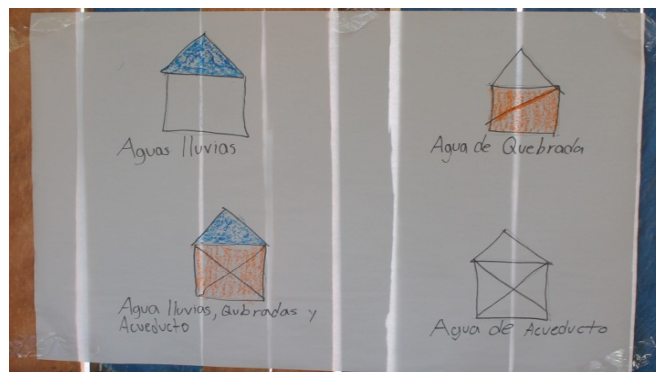
En San Antonio, al igual que San Pedro, posee una electrobomba para extraer agua subterránea en el colegio de la comunidad y un tanque de 1000 L. No poseen red de distribución, por lo que los usuarios manifiestan su mayor inconformidad por el servicio, debido a que los trayectos para la recolección del agua son muy largos. Presenta contaminación con mesófilos y coliformes totales, y un pH muy por debajo de lo establecido con 5,86. La insatisfacción es la más alta, comparado con las otras comunidades indígenas, superando el valor de 80%. Se reúnen cada 15 días donde eventualmente habla sobre temas del agua.

A diferencia de las anteriores comunidades, en San Sebastián ya existe una planta de tratamiento compacta, que fue entregada por la Corporación Ambiental “Corpoamazonía”. La planta tiene bombas eléctricas, sistemas de filtración y desinfección, tanque de concreto y sistema de distribución del agua. Tienen establecido legalmente un acueducto comunitario y realizan reuniones periódicas para discutir temas relacionados con tarifas y el no cumplimiento con las obligaciones. La calidad del agua analizada evidencia la presencia de mesófilos y coliformes totales, y un pH cercano a 6,42. Cerca del 80% de los encuestados manifiestan una alta satisfacción y moderada satisfacción del proyecto de post-construcción.

4.3.3 Talleres de participación: cartografía social

En las comunidades de San Pedro y San Juan se realizaron los talleres de cartografía social para recoger la participación en la toma de decisiones con el fin de aportar en el proceso de la metodología planteada. Para identificar los usos de las fuentes de agua través de los tiempos se utilizaron características como, por ejemplo: pintar en azul el techo si es de agua lluvia; pintar la casa (sin el techo) si proviene de agua de la quebrada, marcar una "x" si es de agua del acueducto; y pintar todo o la combinación de algunos dependiendo del caso. (ver Figura 27). Las fechas de los tiempos que se plantearon son 20 años antes, la actualidad y 20 años después aproximadamente con relación a la llegada del proyecto de aprovisionamiento de agua en la comunidad.

Figura 27: Consumo según la fuente de agua



En el mapa del pasado de San Pedro (ver Figura 28), con fecha de 1993, se observa el verde abundante correspondiente a la selva virgen. En esa época, las zonas de cultivos eran muy pocas y la población pequeña. No existía un proyecto de aprovisionamiento de agua, por lo que los habitantes recogían el agua lluvia como lo denota el color azul en el techo de todas las casas dibujadas. También, tomaban el agua de la quebrada, como se observa con el color amarillo, sobre todo en épocas de sequías cuando no llovía. Por lo tanto, según ellos, las enfermedades eran muy comunes en los niños.

La Figura 29, se observa el mapa del presente datado para el año 2013, cuando empezó a funcionar la bomba eléctrica y los tanques para la comunidad, los cuales estos últimos están soportados por columnas de maderas. Como algo nuevo dentro de su economía, aparecen los estanques piscícolas y la casa de la farriña. También, surge la Sede Comunal, donde se reúnen los habitantes para tomar las decisiones más importantes de su territorio,

incluso lo referente al tema del agua. Las familias empezaron a usar la fuente de agua proveniente del agua subterránea de la bomba, como se observa las “x” en las casas, lo que hizo que se disminuyera considerablemente el consumo de aguas lluvias y de la quebrada.

En el mapa del futuro, el grupo correspondiente lo elaboró pensando en el año 2027, donde afirman que la comunidad será un “centro turístico”. La zona estará mucho más poblada que hoy con mayor número de casas, mientras que los cultivos y la selva se verán reducidos con el pasar del tiempo. Debido a esto, mencionan que su economía ya no dependerá de los cultivos agrícolas. Esbozaron dos tanques de agua de concreto que distribuirá el servicio del agua en toda la zona. Todas las casas se abastecerán del acueducto y ya no dependerán de las aguas lluvias y de la quebrada (ver Figura 30).

Figura 28: Mapa del pasado para la comunidad de San Pedro

Figura 29: Mapa del presente para la comunidad de San Pedro

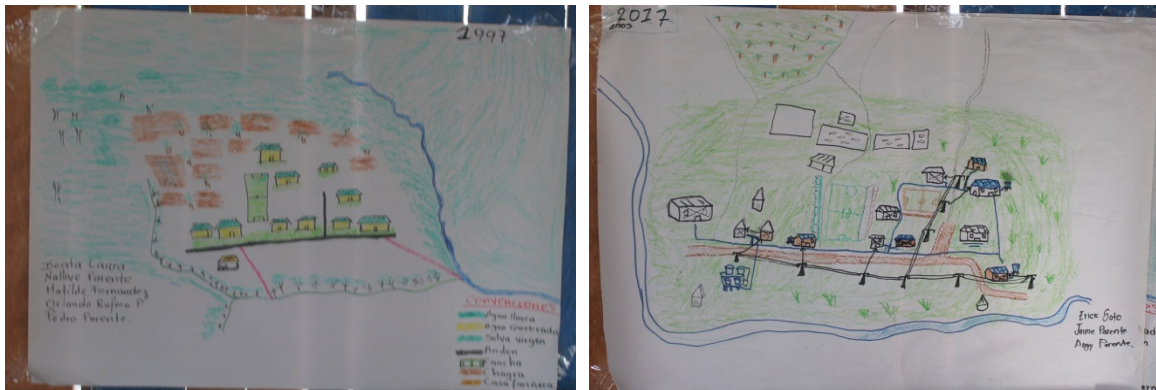


Figura 30: Mapa del futuro para la comunidad de San Pedro



Mientras tanto, en el mapa del pasado de San Juan, con fecha de 1993, se presenta una mayor cantidad de árboles y variedad de cultivos. Los habitantes recogían el agua lluvia a través de los techos de las casas y también consumían el agua de los nacimientos como se observa en la Figura 31. Las enfermedades que se producían en los niños por el agua, según lo relatan, era la diarrea, la malaria y el vómito. En el mapa del presente (ver Figura

32), los hogares empezaron a consumir el agua del proyecto de aprovisionamiento, ya establecido, pero todavía no han dejado de lado las fuentes de la quebrada y las aguas lluvias, debido a que el proyecto sólo es para consumo, mientras que las otras fuentes son para aseo y baño, respectivamente.

Figura 31: Mapa del pasado para la comunidad de San Juan

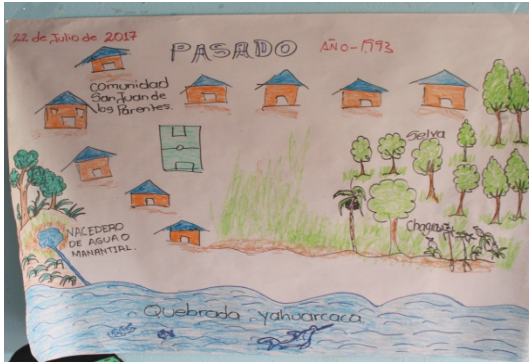


Figura 32: Mapa del presente para la comunidad de San Juan



Figura 33: Mapa del futuro para la comunidad de San Juan



En la Figura 33, en el mapa del futuro de San Juan, se detallan colegios que tienen piscina, bibliotecas, salas de internet, carreteras que conectan los hogares, parque de diversión como toboganes para los niños, puestos de salud; porque según afirman, estará la atención más cerca cuando los niños se enfermen. A diferencia de los habitantes de San Pedro, la comunidad sigue prefiriendo el uso de agua lluvias, por lo que la usarán en conjunto con el acueducto. De hecho, un participante exclamó lo importante del uso del agua lluvias:

“Importante es de que el tanque no se quede a un lado, porque también se necesita para recoger aguas lluvias para hacer otras cosas con esa agua”⁷

Por último, tanto en San Pedro y San Juan, las comunidades esbozaron los mapas del futuro donde incluían los proyectos de aprovisionamiento de agua con características similares a las plantas de tipo convencional. La causa puede deberse a la percepción común que tienen las comunidades sobre estos proyectos y más aún si han podido conocer de cerca la experiencia del sistema de la comunidad de San Sebastián.

4.3.4 Definición de problemática

En resumen, después de identificar cada factor de sostenibilidad en las comunidades, se da paso a la definición de las distintas problemáticas y desafíos que aquejan en cada comunidad con relación al acceso al servicio del agua (ver Tabla 19).

Tabla 19: Problemáticas en las comunidades con relación al servicio del agua

Comunidad	Social	Ambiental	Económico	Tecnológico
San Pedro	<ul style="list-style-type: none"> El 75% de los encuestados tienen entre 2-3 hijos, es decir, que hay mayor riesgo si se consume agua mala calidad. 	Alto consumo de energía con el proyecto de post-construcción actual.	No están dispuestos a pagar una tarifa para mejorar el servicio del agua.	<ul style="list-style-type: none"> Más del 50% consume agua directamente de la quebrada contaminada con <i>E. coli</i>. No se realiza ningún tratamiento a la calidad del agua. Hay contaminación con mesófilos y coliformes totales.
San Juan	<ul style="list-style-type: none"> La comunidad no se reúne para hablar sobre temas de agua. Alto porcentaje afirma que la comunidad no tiene habilidades para reparar equipos dañados. 	Alto consumo de energía con el proyecto de post-construcción actual.	Cerca del 60% están dispuestos a pagar para mejorar el servicio del agua.	<ul style="list-style-type: none"> Más del 50% consume agua directamente de la quebrada contaminada con <i>E. coli</i>. Hay contaminación con mesófilos y coliformes totales. El 36% de los encuestados está insatisfecho con la calidad del agua.
San Antonio	<ul style="list-style-type: none"> Tendrá un crecimiento del 52,5% para el 2031 según proyecciones. 	Alto consumo de energía con el proyecto de post-construcción actual.	Más del 90% están dispuestos a pagar por una tarifa para mejorar el	<ul style="list-style-type: none"> Más del 50% consume agua directamente de la quebrada contaminada con <i>E. coli</i>.

⁷ Participante del Taller de Cartografía Social en San Juan

	<ul style="list-style-type: none"> Alto porcentaje afirma que no tienen habilidades para reparar equipos dañados. 		servicio del agua.	<ul style="list-style-type: none"> No se realiza ningún tratamiento a la calidad del agua. Contaminación con mesófilos y coliformes totales de la calidad del agua. Alta insatisfacción de los encuestados sobre la calidad del agua. Solamente cerca del 27% de los encuestados consume agua del proyecto de post-construcción.
<p>San Sebastián</p>	<ul style="list-style-type: none"> Probablemente pasará a ser un barrio de Leticia debido a su cercanía y crecimiento demográfico. Alto porcentaje afirma que no tienen habilidades para reparar equipos dañados. 	Alto consumo de energía con el proyecto de post-construcción actual.	Tarifas considerables con relación a los ingresos en cada hogar.	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación con mesófilos y coliformes totales de la calidad del agua.

Finalmente, de las cuatro comunidades estudiadas en la caracterización, solamente en San Juan y San Antonio existe una insatisfacción considerable de la calidad del agua proveniente de los proyectos de post-construcción. Sin embargo, en San Antonio no se pudieron realizar los talleres de participación, los cuales son claves para la metodología y marco de sostenibilidad que se plantea en esta investigación. Por otra parte, aunque en San Juan hay muy poca discusión en torno al tema del agua, se logró realizar la cartografía social que involucra a las comunidades en la toma de de decisiones. De tal manera que se escoge la comunidad de San Juan de la Quebrada Yahuaraca para realizar la priorización y diferenciación de la alternativa tecnológica de aprovisionamiento de agua.

5.Caso de aplicación de la metodología: priorización y diferenciación de las alternativas

En este capítulo se presenta la segunda parte de la aplicación de la metodología desarrollada en esta investigación la cual corresponde a la priorización y diferenciación de las alternativas. Empieza con la definición de los objetivos para tratar de dar solución al problema en específico después de la caracterización de la zona de estudio. Posteriormente, se da paso a la selección de las alternativas y a los criterios estratégicos de evaluación de las alternativas. Continúa con la priorización de las alternativas tecnológicas para el aprovisionamiento de agua en la comunidad indígena de San Juan, comparando con el proyecto de post-construcción ya instalado en la zona de estudio, y finalmente se realiza un análisis de sensibilidad asignando mayores pesos a distintos clúster.

5.1 Etapa 4: Definición de los objetivos

Luego de construir el contexto local, definir la problemática y escoger el lugar específico para la priorización, se procede a la definición de objetivos, el cual está alineado al marco de sostenibilidad descrito en la Etapa 2. En esta investigación se plantea un objetivo general para la metodología propuesta, que es: seleccionar la alternativa de proyecto de aprovisionamiento de agua más sostenible en la comunidad indígena de San Juan de la Quebrada Yahuaraca, considerando un enfoque holístico, a partir de criterios e indicadores: sociales, ambientales, económicos y tecnológicos. Dentro de los objetivos específicos, están los de: fortalecer la participación y la gestión comunitaria en la comunidad de San Juan.

5.2 Etapa 5: Selección de alternativas

En la Tabla 20 se proponen algunas alternativas tecnológicas para el aprovisionamiento del agua en la comunidad de San Juan. Las alternativas son según el tratamiento del agua porque se buscan que sean para consumo humano. En esta parte se trata de presentar un ejemplo académico de revisar alternativas considerando distintas características, alcances y aplicaciones. Como se describió en el Capítulo 2, las alternativas en el área rural pueden ser: tecnologías sin membranas, tecnologías con membranas y tecnologías convencionales. Por lo anterior, se buscaron dos alternativas sin membranas (filtro lento y destilador solar); una de membrana (microfiltración); y una convencional (planta compacta), que fuesen aplicables al contexto rural de estudio. Acá, también se incluye el proyecto de post-construcción ya implementado en la comunidad porque al final se valida la metodología propuesta a través de la comparación con las anteriores alternativas seleccionadas.

La recolección de información para la evaluación con los indicadores de sostenibilidad es a partir de bibliografía para el filtro lento, microfiltración y destilador solar. En el caso de la planta compacta, debido a que es el mismo tipo de proyecto que está implementado en la comunidad de San Sebastián, se busca en esta investigación que dichas experiencias y resultados sean de insumo principal porque son datos obtenidos en campo más que consultados a través de la literatura. Por otro lado, la información con relación al desempeño del proyecto de post-construcción está descrito en la etapa de caracterización.

Tabla 20: Alternativas tecnológicas para el aprovisionamiento de agua

Tecnologías	Recolección de información
Proyecto de PAA (filtro de carbón activado, gravilla y electrobomba)	Encuestas, entrevistas y talleres de participación
Planta compacta (solamente procesos unitarios de filtración y desinfección)	Experiencias y resultados de la planta compacta de San Sebastián
Filtro lento	Loo <i>et al.</i> (2012) y Murphy <i>et al.</i> (2010)
Microfiltración	Loo <i>et al.</i> (2012)
Destilador solar	Loo <i>et al.</i> (2012) y Wassouf <i>et al.</i> (2011)

PAA = Proyecto de post-construcción de aprovisionamiento de agua

5.3 Etapa 6: Selección de criterios estratégicos

En esta etapa, los criterios estratégicos de análisis de la sostenibilidad con los que se van a trabajar son los mismos factores de sostenibilidad que se evaluaron en la caracterización del Capítulo 4, con el fin de darle un enfoque holístico a la metodología, los cuales son: sociales, ambientales, económicos y tecnológicos (ver Tabla 19). En la literatura podemos encontrar numerosos indicadores para medir dichos criterios de sostenibilidad de los proyectos de aprovisionamiento de agua. Dentro de la bibliografía consultada se encuentran manuales, artículos científicos e informes. En esta investigación se destacan los indicadores propuestos según: la sostenibilidad del aprovisionamiento de agua de Brikké & Bredero (2003); el análisis del ciclo de vida de los sistemas de aguas en las zonas rurales de Jones *et al.* (2012); los necesarios para los países en vía de desarrollado de Garfi & Ferrer-Martí (2011); los contextos rurales de Dickson *et al.* (2016); y el fortalecimiento de la gestión comunitaria planteados por WaterAid (2011) y Smits *et al.* (2013).

Se hallaron más de 50 indicadores, de los cuales, con el enfoque del marco de sostenibilidad y la consulta a expertos de la Universidad Nacional de Colombia, se eligieron solamente 16 indicadores adecuados al área de estudio. Asimismo, ya que la recolección de algunas alternativas es por bibliografía, se facilitó que la medición se hiciese de tipo cualitativo para todos los indicadores según el rango como lo plantea Garfi & Ferrer-Martí (2011). En la Tabla 21, también se presentan el tipo del indicador, es decir, si se busca maximizar o minimizar dependiendo de las características requeridas.

Tabla 21: Criterios e indicadores para proyectos de aprovisionamiento de agua

Criterio	Indicadores	Definición	Medición	Tipo
Social	Facilidad a la participación comunitaria local en el ciclo del proyecto	Es necesaria incluir la participación de la comunidad beneficiaria del proyecto durante todo su ciclo, procurando que los usuarios se apropien del proyecto, tome decisiones e internalice sus alcances y beneficios, ya que es una práctica que trae consigo buenos resultados (Hazeltine & Bull, 2003; Useche, 2012). Las etapas de participación del proyecto incluyen: implementación, operación y mantenimiento.	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar

	<p>Aceptación del proyecto con respecto a la cultura local</p>	<p>Trata sobre aspectos culturales que influyen la aceptación del tipo de tecnología. Para la aceptación del proyecto del agua por parte de la comunidad se deben tener en cuenta aspectos sociales, económicos, ambientales y tecnológicos (Hazeltine & Bull, 2003; Murphy <i>et al.</i>, 2009; Treurnicht & Treurnicht, 1991). Debido a las distintas mediciones de este indicador se evalúa sobre el nivel de confianza del proyecto.</p>	<p>Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)</p>	<p>Maximizar</p>
	<p>Uso de las habilidades locales e introducción de otras nuevas</p>	<p>El proyecto de aprovisionamiento de agua debe utilizar las habilidades locales existentes e introducir nuevas destrezas que puedan ser adquiridas fácilmente y en un corto período de tiempo. Se deben usar técnicas simples que están dentro de la capacidad de población local (Treurnicht & Treurnicht, 1991).</p>	<p>Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)</p>	<p>Maximizar</p>
<p>Ambiental</p>	<p>Cantidad de consumibles de químicos por año</p>	<p>Dentro de la lista de inventarios necesarios para la operación de la tecnología, según sea el caso, se encuentran químicos que son usados para el tratamiento del agua. La medición es la cantidad de químicos en kilogramos usados por año por cada usuario.</p>	<p>Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)</p>	<p>Minimizar</p>
	<p>Cantidad de energía consumida al año</p>	<p>Uno de los indicadores más importantes es la cantidad de energía eléctrica que consumen según la tecnología. La energía es un componente importante en el funcionamiento de la tecnología, pero contribuye a generar impactos en el medio ambiente y representa un alto porcentaje en costos totales en la operación (Smith & Liu, 2017).</p>	<p>Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)</p>	<p>Minimizar</p>
	<p>Cantidad de residuo sólido generado</p>	<p>El residuo sólido puede ser generado durante la fase de implementación, operación y mantenimiento. Se debe reducir lo más posible (Marianna Garfi & Ferrer-Martí, 2011). El indicador se mide según la cantidad de</p>	<p>Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)</p>	<p>Minimizar</p>

Económico		residuos generados por año por cada usuario.		
	Emisiones atmosféricas	Son actualmente una importante preocupación global. En este caso, el indicador se expresa por los gases de efecto invernadero y otras emisiones generados por las alternativas (Marianna Garfi & Ferrer-Martí, 2011).	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Minimizar
	Recuperación y protección de la fuente de agua	Cuando las fuentes de agua se gestionan de forma efectiva, es decir, se protegen y se conservan, se reducen los costos y los riesgos a exposiciones que resultan de fallas en los procesos de tratamiento. En algunos casos, la tecnología se priorizará por el uso de una determinada fuente de agua, por lo que teniendo en cuenta las características de la zona y la fuente, siempre se debe buscará proteger la disponibilidad de agua para las próximas generaciones de la comunidad (Cleaver, 1994; WHO, 2006).	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar
	Costos Totales	Son los costos de: inversión, implementación, operación y mantenimiento.	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Minimizar
	Número de empleos generados localmente	La tecnología debe proporcionar la mayor cantidad de empleo permanente para la población y así generar beneficios para la economía local.	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar
Tecnológico	Capacidad de extensión del proyecto	Para proyecciones futuras en las demandas de las comunidades se deberá tener en cuenta la capacidad de extensión del proyecto.	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar
	Compatibilidad con el recurso natural disponible	Según la fuente de agua que se escoja para el proyecto, se deberá garantizar la disponibilidad de agua durante todo el día y el año para la comunidad. Acá también se incluyen otros usos de recursos naturales, como por ejemplo la energía solar, que también debe asegurarse durante el mayor tiempo posible para el buen funcionamiento de la tecnología (Marianna Garfi & Ferrer-Martí,	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar

	2011). El indicador evalúa el nivel de compatibilidad de la tecnología con los recursos naturales disponibles de la zona.		
Disponibilidad de materiales y repuestos	El uso de materiales y repuestos locales por parte de la comunidad ayudará a reducir la búsqueda de importaciones, tanto a nivel nacional como internacional (Murphy <i>et al.</i> , 2009). El indicador calcula cualitativamente la capacidad de reemplazo de los materiales a nivel local.	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar
Durabilidad de los materiales	Un material altamente duradero puede proporcionar la solución más sostenible si reduce los requerimientos de mantenimiento o reemplazo (Brikké & Bredero, 2003).	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar
Nivel de tratamiento al agua según los estándares requeridos	El nivel de tratamiento del agua debe ser apta para consumo humano según los parámetros requeridos de la Resolución 2115 de 2007.	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar
Flexibilidad en la tecnología	Mide la posibilidad de adaptación de la tecnología en cualquier lugar y la capacidad de realizar ajustes que le permita que se actualice con el tiempo y responda a los distintos cambios ambientales (Harvey, 2009; Murphy <i>et al.</i> , 2009).	Cualitativamente (Muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo)	Maximizar

Elaboración propia

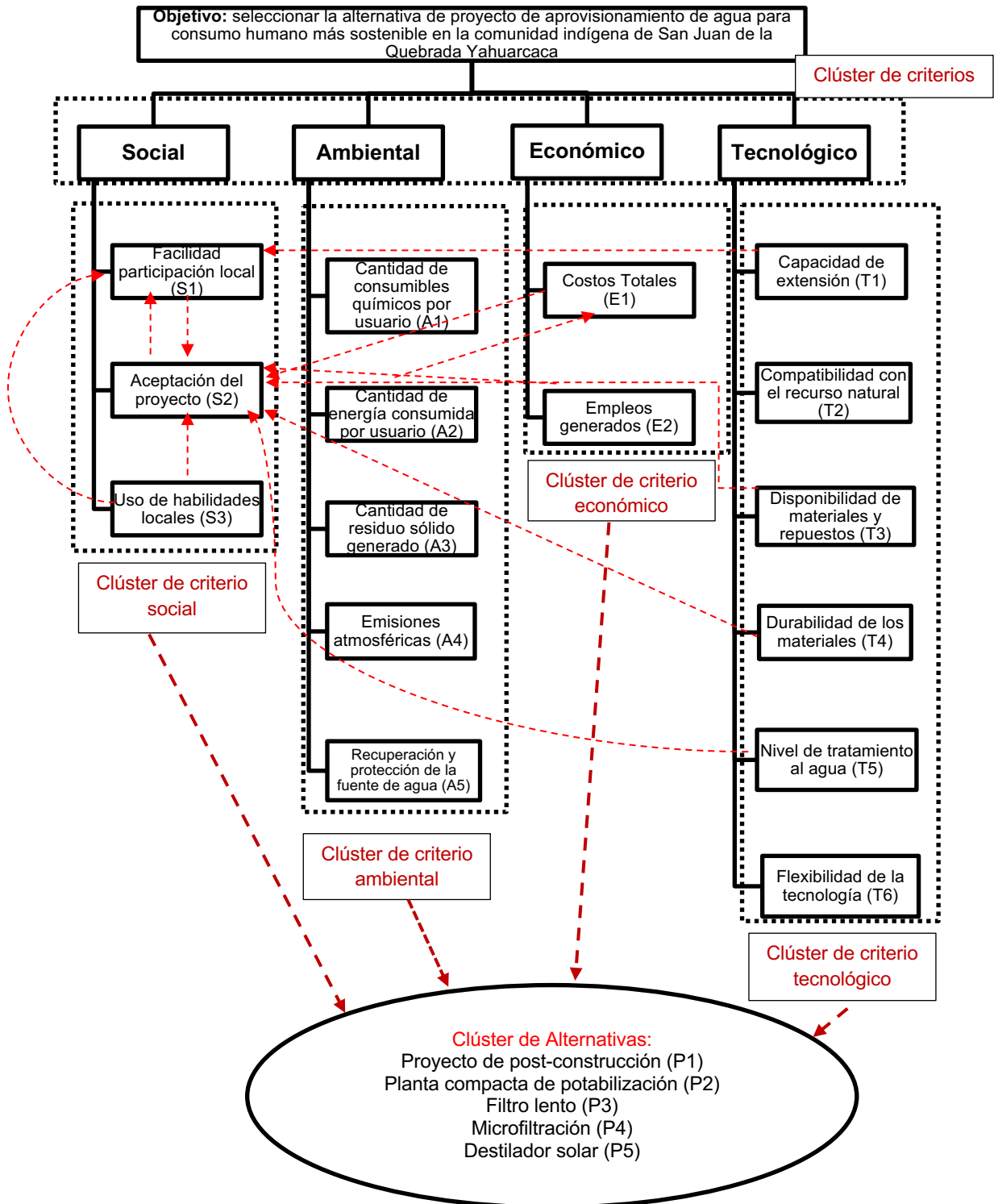
5.4 Etapa 7: Priorización y diferenciación de las alternativas

En esta etapa, se realiza la priorización y diferenciación de las alternativas tecnológicas y la comparación con el proyecto de post-construcción de la zona utilizando el modelo de análisis multicriterio ANP en la comunidad de San Juan. Se utilizó el *Software Water Multi Decision*, que fue desarrollado para esta investigación por (Vanegas, 2018), para facilitar el establecimiento de relaciones de influencia y todos los cálculos con las operaciones de matrices. A continuación, se presentan el paso a paso del modelo ANP con la aplicación:

5.4.1 Paso 1) Clúster y relaciones entre los elementos de red

En la Figura 34 se presenta la estructura del modelo ANP con los siguientes componentes: objetivo general, criterios, indicadores, alternativas tecnológicas, clústeres y relaciones entre los elementos de la red.

Figura 34: Estructura del modelo ANP para la selección de alternativas



Para el alcance en esta investigación, se agrupan los clústeres en los mismos criterios de evaluación de sostenibilidad, es decir: clúster de criterio social, clúster de criterio ambiental, clúster de criterio económico y clúster de criterio tecnológico. También, las cinco alternativas tecnológicas se engloban en el clúster de alternativas.

En la Figura 34, la dirección de la flecha roja muestra que el indicador A está relacionado con el indicador B, denotando la relación que hay entre los indicadores, tanto del mismo clúster (realimentación) como los de otro clúster (interdependencia). Aquí, es importante mencionar que pueden existir muchas más relaciones entre indicadores, pero en este caso de estudio solamente se van a limitar a lo citado en la bibliografía consultada.

Detalladamente, en la Tabla 22 se describen las relaciones de dependencia entre los indicadores, su explicación y la fuente bibliográfica donde se menciona dicha relación. De igual forma, en el Anexo D, se presenta la matriz de correlaciones entre los indicadores, donde la relación se asigna con el número 1 en la casilla entre los elementos y cuando no la hay es el número 0. En total se encontraron 12 relaciones entre los distintos indicadores.

Tabla 22: Relaciones entre indicadores

Indicador	Relación de dependencia	Explicación de la relación	Fuente
<i>Facilidad a la participación comunitaria</i>	Relacionado con S2	Entre más alta la participación de la comunidad en las etapas del proyecto mayor será la aceptación del mismo.	Hazeltine & Bull (2003)
<i>Aceptación del proyecto con respecto a la cultural local</i>	Relacionado con S1	A mayor aceptación del proyecto, más personas se involucran en la participación del sistema.	Hazeltine & Bull (2003)
<i>Uso de habilidades locales</i>	Relacionado con S1 y S2	Si el proyecto usa las habilidades locales de la comunidad habrá mayor participación y aceptación del proyecto.	Murphy <i>et al.</i> , (2009)
<i>Cantidad de energía consumida por usuario</i>	Relacionado con E1	A mayor gasto de energía por la tecnología los costos de la tarifa de la energía son más altos.	Brikké & Bredero, (2003)
<i>Costos totales</i>	Relacionado con S2	Si los costos de la implementación, operación y mantenimiento de la alternativa son bajos, por ende existirá una mejor aceptación del proyecto.	Murphy <i>et al.</i> , (2009)
<i>Número de empleos generados</i>	Relacionado con S2	Si la alternativa genera empleos formales habrá una mayor aceptación del proyecto por parte de la comunidad.	Murphy <i>et al.</i> , (2009)
<i>Capacidad de extensión del proyecto</i>	Relacionado con S1	Si la capacidad de extensión del proyecto llega a toda la comunidad, en consecuencia habrá más personas que puedan involucrarse en la participación del sistema.	Hazeltine & Bull (2003)
<i>Disponibilidad de materiales y repuestos</i>	Relacionado con S2	Si los materiales y repuestos se encuentran fácilmente y de tipo local, habrá una mayor aceptación del proyecto.	Murphy <i>et al.</i> , (2009)
<i>Durabilidad de los materiales</i>	Relacionado con S2	Si los materiales duran más de lo previsto, garantiza una mayor aceptación del proyecto.	Murphy <i>et al.</i> , (2009)
<i>Nivel de tratamiento al agua</i>	Relacionado con S2	Entre mejor sea la calidad del agua, habrá una mayor aceptación del proyecto en la comunidad.	Murphy <i>et al.</i> , (2009)

De la Figura 34, sólo existe una relación de realimentación que está en el clúster social con los indicadores de: facilidad a la participación local, aceptación del proyecto y habilidades locales. Dichos indicadores están intrínsecamente ligados debido a que son componentes relativos a la comunidad, su quehacer y su percepción desde el punto de vista local. Por otra parte, se observan relaciones de interdependencia de clúster económico y tecnológico hacia el clúster social. Lo anterior es causado por los indicadores de estos clústeres que influyen al indicador de aceptación social, ya que para que la comunidad apruebe cualquier implementación de una alternativa se deben tener en cuenta aspectos culturales que están enlazados con temas sociales, económicos y tecnológicos (Treurnicht & Treurnicht, 1991). Por último, se ve una relación de interdependencia de clúster económico con el clúster ambiental. Aunque dicha relación es porque la cantidad de energía consumida por cualquier alternativa termina siendo un indicador importante para los costos totales de implementación, que puede repercutir después económicamente en la comunidad.

5.4.2 Paso 2) Asignación de pesos de importancia/influencia

En este paso, se asignan los pesos de importancia/influencia entre clústeres e indicadores con la escala Saaty. Dentro de la definición de la problemática se encuentra que la comunidad de San Juan no se reúne para hablar sobre temas del agua y como el marco de sostenibilidad de esta metodología prioriza la participación de la comunidad y el fortalecimiento de la gestión comunitaria, por lo tanto, en este caso de estudio se asigna al clúster social un peso de importancia “fuertemente más importante que” (7 según la escala de Saaty) los clústers ambiental, económico y tecnológico. Los valores de la Tabla 23 reflejan los pesos de importancia de los elementos situados en las filas sobre los elementos situados en las columnas filas.

Tabla 23: Pesos de importancia entre distintos clúster

	Social	Ambiental	Económico	Tecnológico
Social	1	7	7	7
Ambiental	1/7	1	1	1
Económico	1/7	1	1	1
Tecnológico	1/7	1	1	1

La Tabla 24 presenta los pesos de influencia, característico del modelo ANP, de los indicadores del clúster social sobre el indicador de facilidad a la participación local. Como en la caracterización, la comunidad expresa en las encuestas que no tienen habilidades para reparar equipos dañados y el indicador aceptación del proyecto es muy relevante para la aprobación de la alternativa, por lo tanto éste último es mucho más importante (5 según la escala de Saaty) que el indicador de uso de habilidades locales.

Tabla 24: Pesos de influencia de indicadores del clúster social sobre el indicador de facilidad a la participación local

	Aceptación del proyecto	Uso de habilidades locales
Aceptación del proyecto	1	5
Uso de habilidades locales	1/5	1

En la Tabla 25, se detallan las asignaciones de pesos de influencia entre los indicadores del clúster social (realimentación) y los indicadores clúster económico y tecnológico (interdependencia) sobre el indicador del clúster social de aceptación del proyecto. Acá, debido a la necesidad de fortalecer el indicador de facilidad a la participación local de la comunidad de San Juan, dicho indicador se considera “mucho más importante” que el del uso de habilidades locales. Dentro de los del clúster económico, los costos totales es un indicador que siempre es relevante en cualquier implementación de un proyecto de aprovisionamiento de agua, de ahí que se considera “mucho más importante” que la generación de empleos dentro de la comunidad. El 36% de los encuestados de San Juan, manifiestan que no están satisfechos con la calidad del agua actual del proyecto de post-construcción, por ende, la alternativa debe garantizar un nivel de tratamiento adecuada, siendo este indicador “mucho más importante” que los de disponibilidad y durabilidad de los materiales.

Tabla 25: Pesos de influencia de indicadores del clúster social, económico y tecnológico sobre el indicador de aceptación del proyecto

Clúster social	<i>Facilidad a la participación local</i>	<i>Uso de habilidades locales</i>
<i>Facilidad a la participación local</i>	1	5
<i>Uso de habilidades locales</i>	1/5	1

Clúster económico	<i>Costos totales</i>	<i>Empleos generados</i>	
<i>Costos totales</i>	1	5	
<i>Empleos generados</i>	1/5	1	
Clúster tecnológico	<i>Disponibilidad de materiales</i>	<i>Durabilidad de materiales</i>	<i>Nivel de tratamiento al agua</i>
<i>Disponibilidad de materiales</i>	1	1	1/5
<i>Durabilidad de materiales</i>	1	1	1/5
<i>Nivel de tratamiento al agua</i>	5	5	1

5.4.3 Paso 3) Construcción de matrices

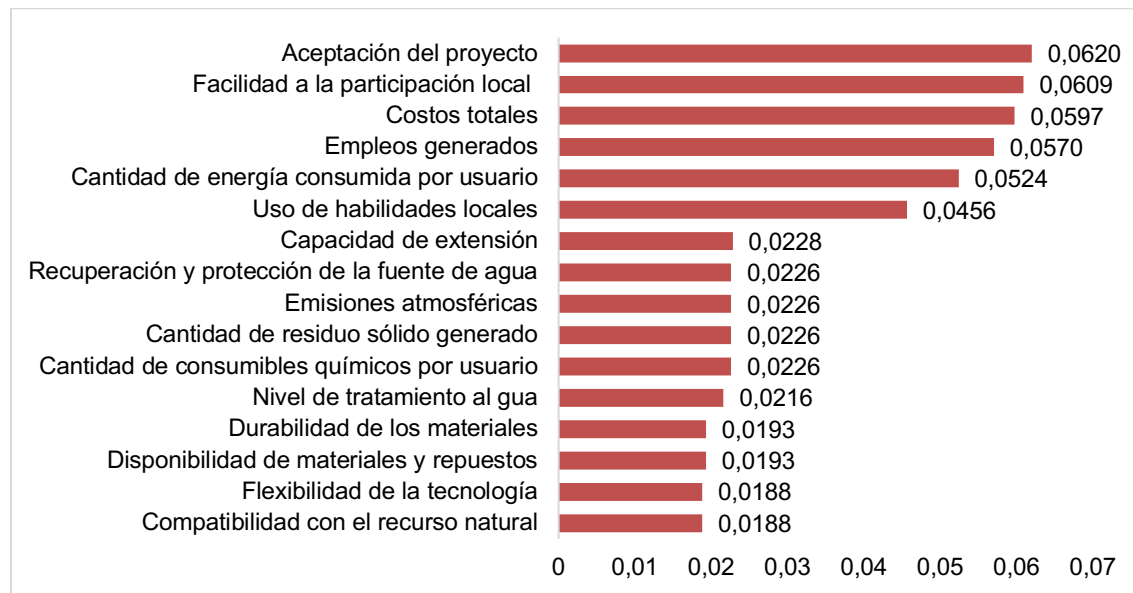
Con los pesos de influencia/importancia entre los indicadores presentados anteriormente se reemplazan los valores de 1 de la matriz de correlaciones. Se incluyen la valoración de las alternativas según los indicadores (ver Anexo E). Posteriormente se calculan las prioridades relativas entre clústeres de la Tabla 23 mediante las matrices de comparación pareada entre clusters y se calcula su vector propio. Los valores de este vector son multiplicados por cada una de las posiciones de la matriz teniendo en cuenta que dicha posición coincida con el cluster del respectivo valor del vector propio. Con lo anterior, se construye la supermatriz ponderada como se observa en el Anexo F. Posteriormente, después se normaliza dividiendo cada valor por la suma de las columnas, obteniendo la supermatriz ponderada estocástica detallado en el Anexo G.

Con la supermatriz estocástica se eleva potencias sucesivas hasta obtener la supermatriz límite donde convergen los datos. En esta matriz todas las columnas son iguales, consecuencia de una matriz estocástica. La supermatriz límite obtenida al final del modelo ANP en esta aplicación se presenta en el Anexo H.

La supermatriz límite presenta el puntaje obtenido para cada indicador, donde los indicadores con mayor valor son la aceptación del proyecto (0,0620) y la facilidad de la participación local (0,0609). Esto se debe a la asignación de “fuertemente más importante” del clúster social frente a los otros clúster y las influencias de otros indicadores. Los puntajes tanto de la aceptación social y la participación local permiten demostrar el alineamiento que se plantea en el marco de la sostenibilidad y dar así la relevancia de la participación y el fortalecimiento de la gestión comunitaria en el involucramiento en la toma de decisiones de los proyectos de aprovisionamiento de agua (ver Figura 35). Lo anterior soporta la necesidad encontrada en la definición de la problemática en la caracterización

de San Juan de comprometer más aún la comunidad en la participación, por lo que cualquier alternativa que se llegue a implementar se tiene que maximizar en estos indicadores.

Figura 35: Puntaje obtenido de la supermatriz límite para cada indicador

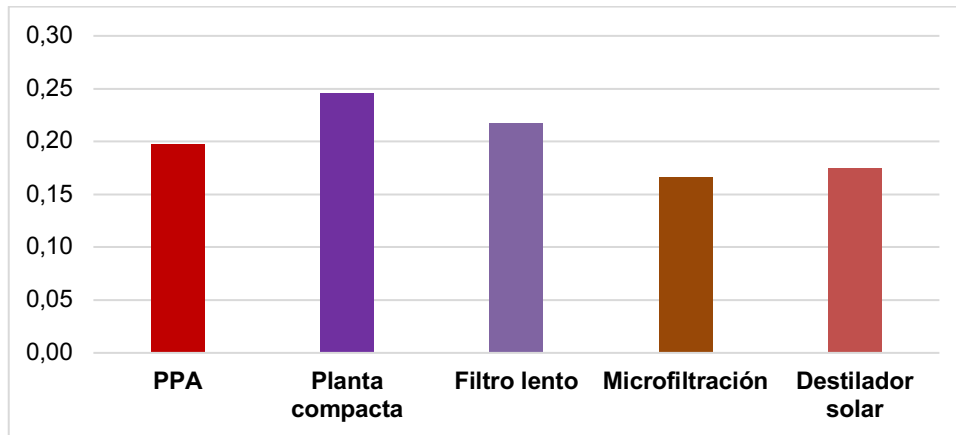


De igual forma, de la supermatriz límite (ver Anexo H) se detallan los puntajes obtenidos para cada alternativa tecnológica propuesta. En la Figura 36, se observa el puntaje normalizado para cada alternativa, incluyendo el proyecto de post-construcción ya implementado en la zona estudio. Los puntajes son en orden de mayor a menor: 0,25 para la planta compacta; 0,22 para el filtro lento; 0,20 para el proyecto de post-construcción; 0,17 para la microfiltración; y por último 0,17 para el destilador solar.

La planta compacta tuvo el mejor resultado con relación con las otras alternativas, causado por las altas valoraciones en la aceptación del proyecto con respecto a la cultura local y la facilidad a la participación local. Dichas valoraciones de la aceptación del proyecto, indicador con mayor puntaje, se dan porque los participantes de los talleres de cartografía social manifiestan tener expectativas alrededor de proyectos convencionales de aprovisionamiento de agua como es el caso de la planta compacta, por lo que será más fácil una implementación de este tipo de alternativas comparados con otras opciones muy poco comunes como la microfiltración o el destilador solar.

El filtro lento está de segunda opción, gracias a sus bajos costos y el uso de las habilidades locales, lo que posibilita una mayor aceptación y participación por parte de la comunidad de San Juan.

Figura 36: Puntajes normalizados para cada alternativa tecnológica



PPA = Proyecto de post-construcción de aprovisionamiento

Por su parte, el proyecto de post-construcción ya implementado en la zona de estudio se ubica como la tercera opción comparado con las otras alternativas. Y es que, en la etapa de caracterización de la metodología desarrollada se describe el desempeño de este proyecto, donde los resultados presentan que hay una baja participación de la comunidad y una poca aceptación del proyecto. Por lo tanto, como se observa en la Figura 36, demuestra que existen otras alternativas tecnológicas más sostenibles para la comunidad de San Juan por encima de la que está implementada, validando así la metodología que se propone en esta investigación.

Continuando, se encuentra el destilador solar, una alternativa que si bien su gasto de energía es mínimo, no es muy común y su operación hace difícil la aceptación por parte de la comunidad. Por último, se encuentra la microfiltración, que debido a los altos costos, la cantidad de energía requerida y la necesidad de habilidades específicas para la operación se ubica como última opción de implementación en San Juan.

5.4.4 Paso 4) Selección de la alternativa más sostenible

Por lo tanto, en este paso se selecciona el proyecto de aprovisionamiento de agua para consumo humano más sostenible (considerando criterios e indicadores sociales,

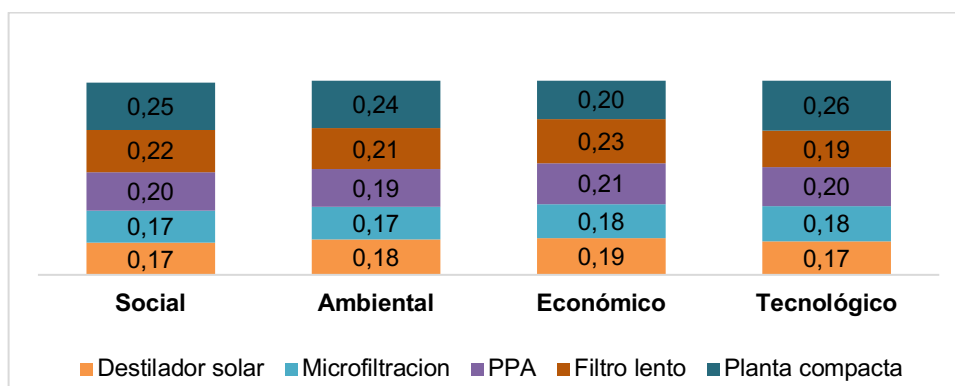
ambientales, económicos y tecnológicos), relaciones entre indicadores, participación en la toma de decisiones de la comunidad, previa contextualización y caracterización en la misma, que tuvo el mayor puntaje del modelo ANP y es la alternativa de la planta compacta.

5.5 Etapa 8: Análisis de la sensibilidad

En este caso de estudio, en el análisis de sensibilidad se propuso la variación a nivel de importancia de clúster. Los escenarios son: Escenario 1) Clúster ambiental: “fuertemente más importante” (7, según la escala de Saaty) que el clúster social, económico y tecnológico; Escenario 2) Clúster económico: “fuertemente más importante” (7, según la escala de Saaty) que el clúster social, ambiental y tecnológico; Escenario 3): Clúster tecnológico: “fuertemente más importante” (7, según la escala de Saaty) que el clúster social, ambiental y económico.

En la Figura 37, la barra del clúster social son los resultados obtenidos ya mencionados previamente. Ahora, con relación al escenario 1, el orden de las alternativas del clúster ambiental sigue siendo el mismo como el que se propone con el clúster social. Por su parte, en el escenario 2, con el clúster económico la planta compacta deja de ser la primera opción y pasa a ser la tercera después del filtro lento y el proyecto post-construcción. Lo anterior se debe a que el filtro lento es una alternativa mucho más económica y no requiere tantos recursos económicos para su mantenimiento como por ejemplo la planta compacta con el consumo de la energía. En el último escenario, el puntaje la planta compacta se destaca y se aleja aún más de los obtenidos por otras alternativas.

Figura 37: Análisis de sensibilidad



PPA = Proyecto de post-construcción de aprovisionamiento

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

En la presente tesis de investigación se planteó desarrollar una metodología de priorización y diferenciación, que buscara la sostenibilidad de los proyectos de aprovisionamiento de agua a una zona rural colombiana. Las conclusiones, son:

Al abordar la problemática de la sostenibilidad de las tecnologías para el aprovisionamiento del agua rural en Colombia, se encontró falta de metodologías y herramientas prácticas que sirvan de guía o apoyo en el proceso de toma de decisiones desde un enfoque local y se involucre la participación de las comunidades, indicando el gran sentido que tiene el estudio que se realiza en la tesis que se presenta.

La metodología desarrollada incluye las etapas de contextualización, caracterización y elección de un marco de sostenibilidad. Estas etapas son adicionales al método tradicional de toma de decisiones. Dichas etapas permitieron identificar el contexto local, las problemáticas y abordarla desde un enfoque holístico, considerando factores y criterios sociales, ambientales, económicos y tecnológicos.

Los pesos de importancia/influencia de los indicadores estuvo mediada en gran medida por la asignación muy fuerte del clúster social, debido al alineamiento del marco de sostenibilidad para fortalecer la participación y la gestión comunitaria. Lo anterior, más las relaciones entre indicadores, establecieron un mayor puntaje para los indicadores de aceptación social y la participación de la comunidad. Por lo tanto, cualquier proyecto de aprovisionamiento de agua que se vaya a realizar en la comunidad de San Juan, según las características planteadas deberá tener en cuenta estos aspectos para poder garantizar la sostenibilidad del servicio del agua.

En los tres escenarios definidos para el análisis de sensibilidad, cambiando las asignaciones de los pesos a nivel de clúster, la planta compacta sigue siendo la alternativa

con mayor puntaje en los criterios ambientales y tecnológicos. Lo anterior reconoce la robustez de esta alternativa frente a las otras consideradas en esta investigación, por lo que esta tecnología está más cercana a garantizar la sostenibilidad del servicio del agua.

Ahora, a continuación, se presentan las conclusiones respecto a los objetivos específicos abordados en esta investigación:

- Examinar distintos factores y características propias de la comunidad y su entorno rural de estudio: la etapa de caracterización de la zona de estudio permitió realizar una evaluación de los factores de sostenibilidad en la comunidad. También, determinar el desempeño del proyecto de post-construcción e identificar las principales problemáticas. Los talleres de participación de cartografía social sirvieron para profundizar en las expectativas de las comunidades con relación al servicio del agua y para comprender las facilidades en la aceptación del proyecto de aprovisionamiento.
- Identificar los proyectos de aprovisionamiento del agua para consumo humano aplicables al contexto rural de estudio: en el Capítulo 2 se describen los proyectos de aprovisionamiento del agua según la fuente y el tratamiento del agua. Dicho listado sirvió para la etapa de la selección de las alternativas del Capítulo 5. Aquí es importante detallar la necesidad de incluir un abanico diverso de alternativas, tanto de características y alcances, como se realizó en esta investigación y se pudieron constatar la diversidad de los resultados obtenidos en la priorización.
- Establecer y seleccionar los criterios estratégicos de evaluación adecuados al área de estudio para la metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento del agua para consumo humano: la investigación hace aportes para identificar los criterios de sostenibilidad cuando se trata del aprovisionamiento del agua en las zonas rurales. Los criterios son de tipo social, ambiental, económico y tecnológico, que aportan elementos para encontrar un modelo sostenible adecuado para el trabajo que sea aplicable a la zona de estudio y a los contextos locales. Se destaca en este sentido como se llega a reconocer la importancia de fortalecer la participación y la gestión comunitaria en el ciclo del proyecto.
- Validar la metodología propuesta a través de la comparación de proyectos post-construcción de aprovisionamiento de agua para consumo humano de la zona rural de estudio: como se mencionó en la introducción, la validación de la metodología no se realizó debido a las limitaciones con relación a la implementación de las tecnologías. Pero, gracias de los puntajes obtenidos en la priorización, la planta compacta se ubica

como la mejor alternativa, y con el análisis de sensibilidad demuestran la robustez de esta tecnología en el caso de estudio. Lo anterior, indica que los resultados de la planta compacta son mejores que el proyecto de post-construcción, y teniendo en cuenta la definición del problema, es necesario el desarrollo de una metodología como la planteada en esta investigación.

6.2 Recomendaciones

El desarrollo de la metodología sólo plantea la participación de la comunidad en la etapa pre-implementación de la tecnología. Por lo tanto, se espera que, futuras investigaciones recojan lo realizado y puedan incluir la participación comunitaria en posteriores etapas del ciclo del proyecto, para garantizar la aceptación y apropiación de la alternativa con el fin de fortalecer el servicio del agua rural.

Para la metodología propuesta, se espera que en posteriores trabajos, existan distintos grupos *stakeholders* que puedan aportar integralmente a la toma de decisiones, sobre todo en la definición de las relaciones de realimentación e interdependencia y la asignación de los pesos de influencia/importancia.

El marco de sostenibilidad de este trabajo pretendía darle un enfoque local, la participación y el fortalecimiento de la gestión comunitaria. Por lo tanto, si se desea implementar la metodología en otras investigaciones, es importante definir el propio marco de sostenibilidad que puede cambiar dependiendo de las necesidades del contexto rural. A partir de esto, tanto la definición de objetivos, la selección de los criterios estratégicos y las asignaciones de los pesos pueden variar para el caso de estudio en cuestión.

En futuros trabajos, se espera que se puedan incluir otros métodos complementarios al ANP para evaluar las alternativas como: la evaluación del ciclo de vida, que incluya los impactos ambientales del proyecto de aprovisionamiento de agua; el análisis de emergía, que estima los valores de emergías incorporados a la alternativa; y la dinámica de sistemas, que consiste en modelar el comportamiento del sistema a través del tiempo.

Recomendar al grupo de investigación de la universidad, mejorar el software desarrollado para la metodología de ANP empleado en este caso, con el objetivo de que sea más accesible y fácil de manejar no sólo para los decisores sino también para que sea manejado para seguimiento en las comunidades.

Bibliografía

- Abrams, L., Palmer, I., & Hart, T. (1998). *Sustainability Management Guidelines*. Pretoria: Department of Water Affairs and Forestry.
- Amar, J., & Judith, E. (2008). Participación comunitaria para el control ciudadano de los servicios públicos domiciliarios. *Revista de Derecho*, (29), 129–152.
- Arbault, D., Rugani, B., Tiruta-Barna, L., & Benetto, E. (2013). Emergency evaluation of water treatment processes. *Ecological Engineering*, 60, 172–182.
- Azapagic, A., & Perdan, S. (2005). An integrated sustainability decision-support framework Part I: problem structuring. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 12(2), 98–111.
- Babilonia, R. (2014). Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). Estudios e investigaciones: nueva ruralidad; enfoques y propuestas para América Latina. *Revista Colombiana de Geografía*, 23(1), 189–193.
- Balkema, A., Preisig, H., Otterpohl, R., & Lambert, F. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water*, 4(2), 153–161.
- Barragan, K. (2017). Cambio de paradigma de la ruralidad: el reto de la academia en el posconflicto. Bogotá. Recuperado a partir de <https://prensarural.org/spip/spip.php?article21061>
- Bastidas, S., & García, M. (2002). *La gestión comunitaria en proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento como base de sostenibilidad y de construcción social*. Cali: Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA).
- Baviera, A., García, G., & Gómez, T. (2014). Propuesta metodológica para la evaluación de las memorias de sostenibilidad del sector agroalimentario español. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 14(1), 81–101.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Kluwer Academic Publisher.
- Bernal, A., Rivas, L., & Peña, P. (2014). Propuesta de un modelo de co-gestión para los pequeños abastos comunitarios de agua en Colombia. *Perfiles Latinoamericanos*, 159–184.
- Bouchard, C., Beauchamp, N., Lamontagne, L., Desrosiers, J., & Rodriguez, M. (2010). Multicriteria decision analysis for the selection of a small drinking water treatment

- system, (1997).
- Brikké, F., & Bredero, M. (2003). *Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation*. Ginebra: World Health Organization (WHO).
- Cabrera, D. (2010). En defensa de las encuestas. *Revista POSTData: Revista de Reflexión y Análisis Político*, 15(2), 191–216.
- Cadavid, N. (2009). Acueductos comunitarios: Patrimonio social y ambiental del Valle de Aburrá. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 20, 57–64.
- Carrasco, W. (2011). *Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Cassú, E. (2015). El manejo indígena del mundo global: el caso de los tikuna de Yahuaraca. *Mundo Amazonico*, 6(1), 47–71.
- Center for International Forestry Research (CIFOR). (1999). *Guidelines for applying multi-criteria analysis to the assessment of criteria and indicators*. Yakarta: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Chaparro, O. (2007). *Construyendo Agenda 21 para el departamento del Amazonas: una construcción colectiva para el desarrollo sostenible de la Amazonia colombiana*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI.
- CINARA, International Water Sanitation Center (IRC), & Programa de Agua y Sanemiento (PAS) del PNUD. (1997). *Evaluación participativa de 15 sistemas de agua y saneamiento en la República de Bolivia*. La Paz, Bolivia: Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos.
- CINARA, United Nations Children's Fund (UNICEF), ASDI, & ENACAL. (2003). *Análisis de la sostenibilidad en sistemas de agua y saneamiento: 43 proyectos en la zona rural de Nicaragua*. Managua: CINARA.
- Cinelli, M., Coles, S., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 46, 138–148.
- Cleaver, F. (1994). Problems in the Planning of Rural Water Supply Projects: Lessons from Nkayi district, Zimbabwe. *Journal of International Development*, 6(2), 1–4.
- Cole, J., Sharvelle, S., Fourness, D., Grigg, N., Roesner, L., & Haukaas, J. (2018). Centralized and decentralized strategies for dual water supply: Case study. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(1), 1–11.
- CONPES 3810 del 2014. (2014). Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación (DNP).
- Constitución Política. (1991). Constitución Política Colombiana. Bogotá: Asamblea Nacional Constituyente.

- Correa, H. (2006). *Acueductos comunitarios, patrimonio público y movimientos sociales: notas y preguntas hacia una caracterización social y política*. Bogotá: ECOFONDO.
- Croteau, J. (2016). *La gestión comunitaria del agua en Colombia: una revisión de los acueductos comunitarios en Girardota y un análisis de sostenibilidad*. Cali: Plataforma de Acuerdos Públicos Comunitarios de las Américas, La Red Vida, Corporación Penca Sábila y SINTRACAUVALLE.
- Dardenne, B. (2006). *The role of the private sector in peri-urban or rural water services in emerging countries*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD).
- Decreto 1898 de 2016. (2016). Por el cual se adiciona el Título 7, Capítulo 1, a la Parte 3, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 18 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueduc. Bogotá: República de Colombia.
- Decreto 421 de 2000. (2000). Por el cual se reglamenta el numeral 4 del artículo 15 de la Ley 142 de 1994, en relación con las organizaciones autorizadas para prestar los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico en municipios menores, zonas rurales y áreas urbanas espe. Bogotá: República de Colombia.
- Decreto 77 de 1987. (1987). Por el cual se expide el Estatuto de Descentralización en beneficio de los municipios. Bogotá: República de Colombia.
- Defensoría del Pueblo. (2013). *La gestión comunitaria del agua*. Bogotá: Defensoría del Pueblo.
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M., & Varela, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, 2(7), 162–167.
- Dickson, S., Schuster-Wallace, C., & Newton, J. (2016). Water security assessment indicators: the rural context. *Water Resources Management*, 30(5), 1567–1604.
- Domínguez, I., Oviedo, E., & Restrepo, I. (2016). Service provision in rural water supplies: analysis of four community-based systems in Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 3(13), 117–140.
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). (2009). *Buenas prácticas en cartografía participativa*. Roma: Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA).
- Gallo, L., Guerrero, A., Lozano, A., & Rueda, J. (2010). Análisis regional del Departamento del Amazonas. *Revista Proyecta*, 5, 45–81.
- Galvis, A., & Vargas, V. (2000). Modelo de selección de tecnología y análisis de costos en el tratamiento de agua para consumo humano, SELTEC. *Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*, 6, 234–242.
- Garfi, M., & Ferrer-Martí, L. (2011). Decision-making criteria and indicators for water and sanitation projects in developing countries. *Water Science & Technology*, 83–102.
- Garfi, M., Ferrer-Martí, L., Bonoli, A., & Tondelli, S. (2011). Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in

- semi-arid region of Brazil. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 665–675.
- Garfi, M., Tondelli, S., & Bonoli, A. (2009). Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps. *Waste Management*, 29(10), 2729–2739.
- Gentes, I. (2001). *Derecho de agua y derecho indígena: hacia un reconocimiento estructural de la gestión indígena del agua en las legislaciones nacionales de los países andinos*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Giraldo, N. (2008). *Criterios de sostenibilidad para acueductos comunitarios. Caso: Periferia urbana del municipio de Envigado*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Giraldo, N., & Villada, M. (2011). *Guía para la caracterización de un acueducto comunitario: una estrategia para su fortalecimiento*. Medellín: Proyecto Mensajeros del Agua y Corporación Penca de Sábila.
- Gobernación del Amazonas. (2016a). Plan de Desarrollo Departamental de Amazonas 2016-2019: “Gestión y ejecución para el bienestar, la conservación ambiental y la paz”. Leticia: Gobernación del Amazonas.
- Gobernación del Amazonas. (2016b). *Plan General Estratégico de Inversiones PGEI - Plan Departamental de Aguas 2016 - 2017*. Leticia: Gobernación del Amazonas.
- Gobierno Nacional y Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC). (2016). Acuerdo final para la terminación del conflicto y la construcción de una paz estable y duradera. Recuperado el 5 de febrero de 2018, a partir de [http://www.altocomisionadoparalapaz.gov.co/procesos-y-conversaciones/Documentos compartidos/24-11-2016NuevoAcuerdoFinal.pdf](http://www.altocomisionadoparalapaz.gov.co/procesos-y-conversaciones/Documentos%20compartidos/24-11-2016NuevoAcuerdoFinal.pdf)
- Grajales, S., & Concheiro, L. (2009). Nueva ruralidad y desarrollo humano: una perspectiva desde los sujetos sociales. *Veredas*, 18, 145–167.
- Gutierrez, F., Acosta, L., & Salazar, C. (2004). *Perfiles urbanos en la Amazonia Colombiana: un enfoque para el desarrollo sostenible*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI.
- Hajkowicz, S., & Collins, K. (2007). A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resources Management*, 21(9), 1553–1566.
- Harvey, P. (2009). Sustainable operation and maintenance of rural water supplies: Are we moving in the right direction? *Perspectives Rural Water Supply Network*, (3), 1–3.
- Hazeltine, B., & Bull, C. (2003). *Field Guide to Appropriate Technology. Field Guide to Appropriate Technology*. Amsterdam: Academic Press.
- Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3578–3594.
- Hunter, D., Sommer, J., & Vaughan, S. (1993). *Concepts and principles of international environmental law an introduction*. Washington: United Nations Environment

Programme.

- Hutchings, P., Chan, M. Y., Cuadrado, L., Ezbakhe, F., Mesa, B., Tamekawa, C., & Franceys, R. (2015). A systematic review of success factors in the community management of rural water supplies over the past 30 years. *Water Policy*, 17(5), 963–983.
- International Water Sanitation Center (IRC). (2017). *Annual Report 2016*. La Haya: International Water Sanitation Center (IRC).
- International Water Sanitation Center (IRC), & World Bank. (2000). *Sustainability Planning and Monitoring in Community Water Supply and Sanitation*. Washington: World Bank.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis multi-criteria decision analysis*. Londres: John Wiley & Sons.
- Jackson, S., Tan, P. L., Mooney, C., Hoverman, S., & White, I. (2012). Principles and guidelines for good practice in Indigenous engagement in water planning. *Journal of Hydrology*, 474, 57–65.
- Jones, S., Anya, A., Stacey, N., & Weir, L. (2012). A Life-cycle Approach to Improve the Sustainability of Rural Water Systems in Resource-Limited Countries. *Challenges*, 3(2), 233–260.
- Kayser, G., Moomaw, W., Orellana, J., & Griffiths, J. (2014). Circuit rider post-construction support: improvements in domestic water quality and system sustainability in El Salvador. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 4(3), 460.
- Leal, M. (2005). Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones, 63–72.
- Ley 11 de 1986. (1986). Por la cual se dicta el estatuto básico de la administración municipal y se ordena la participación de la comunidad en el manejo de los asuntos locales. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Ley 142 de 1994. (1994). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Ley 1753 de 2015. (2015). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”. Bogotá: Congreso de Colombia.
- Lienert, J., Scholten, L., Egger, C., & Maurer, M. (2015). Structured decision-making for sustainable water infrastructure planning and four future scenarios. *EURO Journal on Decision Processes*, 3(1–2), 107–140.
- Lockwood, H. (2002). *Institutional support mechanisms for community-managed rural: water supply & sanitation systems in Latin America*. Washington.
- Lockwood, H., & Smits, S. (2011). *Supporting Rural Water Supply: Moving towards a Service Delivery Approach*. Bourton on Dunsmore: International Water Sanitation Center (IRC).
- Loo, S., Fane, A., Krantz, W., & Lim, T. (2012). Emergency water supply: A review of

- potential technologies and selection criteria. *Water Research*, 46(10), 3125–3151.
- Lopez, C. (2012). *Cartografía social: instrumento de gestión social e indicador ambiental*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Lück, A., & Nyga, I. (2017). Experiences of stakeholder participation in multi-criteria decision analysis (MCDA) processes for water infrastructure. *Urban Water Journal*, 9006, 1–10.
- Marques, R. C., da Cruz, N. F., & Pires, J. (2015). Measuring the sustainability of urban water services. *Environmental Science and Policy*, 54, 142–151.
- Martinez, M. (2010). Nueva ruralidad, la “remake” del término pluriactividad. *Nómadas*, 26.
- Mejía, A., Castillo, O., & Vera, R. (2016). *Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina*. Bogotá: Centro de Desarrollo de América Latina (CAF).
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Título J. Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Salud y Protección Social (MINSALUD). (2016). *Informe Nacional de la Calidad del Agua para Consumo Humano INCA 2015*. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social.
- Mohanty, R. (1992). Project selection by a multiple-criteria decision-making method: an example from a developing country. *International Journal of Project Management*, 10(1), 31–38.
- Molina, C. (2012). La autonomía educativa indígena en Colombia. *Vniversitas*, (124), 261–292.
- Moncada, J., Pérez, C., & Valencia, G. (2013). Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. *Ecos de Economía*, (37), 125–159.
- Montoya, E. (2016). *Los acueductos y sistemas de distribución de agua comunitarios en el área rural de Bogotá y la gobernanza del agua en la ciudad*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Montoya, V. (2009). La cartografía social como instrumento para otras geografías: apuntes para un diálogo de saberes territoriales. En *Universos socioespaciales: procedencias y destinos*. Medellín: Instituto de Estudios Regionales (INER).
- Moriarty, P. (2015). Real movement, with more work needed: end of project evaluation of Triple-S. Recuperado el 30 de enero de 2018, a partir de <https://www.ircwash.org/blog/real-movement-more-work-needed-end-project-evaluation-triple-s>
- Moriarty, P. (2017). The Whole System IS the System. Recuperado el 18 de marzo de 2018, a partir de <https://www.ircwash.org/blog/whole-system-system>

- Munasinghe, M. (1990). Water Supply Policies and Issues in Developing Countries. *Natural Resources Forum*, 14, 33–48.
- Muñoz, B., Romana, M. G., & Ordóñez, J. (2016). Sensitivity analysis of multicriteria decision making methodology developed for selection of typologies of earth-retaining walls in an urban highway. *Transportation Research Procedia*, 18(June), 135–139.
- Murphy, H., Mcbean, E., & Farahbakhsh, K. (2010). A critical evaluation of two point-of-use water treatment technologies: can they provide water that meets WHO drinking water guidelines? *Journal of Water and Health*, 8(4), 611–630.
- Murphy, H., McBean, E., & Farahbakhsh, K. (2009). Appropriate technology - A comprehensive approach for water and sanitation in the developing world. *Technology in Society*, 31(2), 158–167.
- Mustafa, A., & Salehin, M. (2015). Multi-criteria decision making methods for rural water supply: A case study from Bangladesh. *Water Policy*, 17(6), 1209–1223.
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., & Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 60(3), 498–508.
- Ochoa, I. (2017). El desarrollo en la Amazonia y el enfoque de cadenas globales de valor en el escenario de postconflicto en Colombia. *Perspectivas Rurales*, 15(29), 153–176.
- Odum, E. (1996). *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. New York: John Wiley.
- ONU. (2017). Sustainable Development Goal 6. Recuperado el 23 de abril de 2018, a partir de <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg6>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). (2005). *Tecnologías para abastecimiento de agua en poblaciones dispersas*. Lima: OPS y COSUDE.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). (2006a). *Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento utilizadas en el ámbito rural del Perú*. Lima: OPS y COSUDE.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS), & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). (2006b). *Consideraciones para la selección de la opción tecnológica y nivel de servicio en sistemas de abastecimiento de agua*. Lima: OPS y COSUDE.
- Pérez, E. (2004). El mundo rural latinoamericano y la nueva ruralidad. *Nómadas*, (20), 180–193.
- PND. (2015). Plan Nacional de Desarrollo “Todos por un Nuevo País” 2014-2018. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación (DNP).
- Ramírez, J. (2011). *Retos a futuro en el sector de acueducto y alcantarillado en Colombia*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- RAS. (2000). Reglamento Técnico para el Sector del Agua Potable y Saneamiento Básico.

- Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico.
- RAS. (2017). Reglamento Técnico para el Sector del Agua Potable y Sanemiento Básico. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Red Nacional de Acueductos Comunitarios. (2017). *El derecho a la autogestión comunitaria del agua: iniciativa legislativa para el fortalecimiento y la defensa de los acueductos comunitarios*. Bogotá.
- Resolución 2115 de 2007. (2007). Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá: República de Colombia.
- Rojas, J. (2008). La agenda territorial del desarrollo rural en América Latina. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (96), 1–16.
- Rojas, J., Zamora, A., Tamayo, P., & García, M. (2011). *Abastecimiento de agua en zonas rurales: Experiencias en la prestación de servicios sostenibles*. La Haya: International Water Sanitation Center (IRC).
- Romero, J. (2013). *Calidad del agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rosas, M. (2013). Nueva ruralidad desde dos visiones de progreso rural y sustentabilidad: economía ambiental y economía ecológica. *Polis, Revista Latinoamericana*, 12(34), 225–241.
- Rural Water Supply Network (RWSN). (2018). *Strategy 2018-2023*.
- Saaty, T. (2005). The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. *International Series in Operations Research and Management Science*, 233, 363–419.
- Sabogal-Paz, L., & Bernardo, L. (2009). Seleçao de tecnologias de tratamento de agua em funçao do risco e eficiencia das etas. Recuperado el 30 de enero de 2018, a partir de http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/BR02279_Sabogal-Paz.pdf
- Salavarieta, D. (2017). *Análisis de los referenciales del enfoque diferencial étnico en la política pública de primera infancia en Colombia y sus implicaciones en las prácticas de atención a los pueblos indígenas durante los años 2012 a 2015*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Salcedo, M., Duque, S., Palma, L., Torres, A., Montenegro, D., Bahamón, N., ... Alba, Á. (2012). Ecología del fitoplancton y dinámica hidrológica del sistema lagunar Yahuaraca, Amazonas, Colombia: análisis integrado de 16 años de estudio. *Mundo Amazónico*, 3, 9–41.
- Santos, A., Cassú, E., Pérez, M., & Duque, S. (2013). Memoria ambiental de los tikuna en Los Lagos de Yahuaraca (Amazonía colombiana). *Revista Colombia Amazónica*, 6.
- Sara, J., & Katz, T. (1997). *Making rural water supply sustainable: report on the impact of project rules*. Washington.
- Schouten, T., & Moriarty, P. (2003). Community water, community management: from

- system to service in rural areas (p. 192). London: ITDG.
- Schouten, T., & Moriarty, P. (2013). *The Triple-S Theory of Change*. Recuperado a partir de http://www.waterservicesthatlast.org/content/download/2149/23603/version/2/file/2013_WP3_Theory%2Bof%2BChange.pdf
- Schweitzer, R., Grayson, C., & Lockwood, H. (2014). *Mapping of Water, Sanitation, and Hygiene Sustainability Tools* (No. 10) (Vol. 10).
- Singh, A., & Masuku, M. (2004). Sampling Techniques & Determination of Sample Size in Applied Statistics Research: an Overview. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 11(1), 1–22.
- Smith, K., & Liu, S. (2017). Energy for conventional water supply and wastewater treatment in urban China: a review. *Global Challenges*.
- Smits, S., & Lockwood, H. (2015). *Reimagining rural water services: the future agenda*.
- Smits, S., Rojas, J., & Tamayo, P. (2013). The impact of support to community-based rural water service providers: Evidence from Colombia. *Water Alternatives*, 6(3), 384–404.
- Smits, S., Tamayo, S. P., Ibarra, V., & Rojas, J. (2012). *Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia*. Bogotá: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Treurnicht, G., & Treurnicht, S. (1991). Appropriate technology: a discussion of some key issues. *Africanus*, 21(1), 70–75.
- Useche, C. (2012). *Agua y saneamiento rural: oportunidades para la participación comunitaria en Colombia*. Bogotá: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Valencia, G. (2004). Metamorfosis del Estado: de empresario a regulador: El caso de los servicios públicos domiciliarios en Colombia. *Ecos de Economía*, 8(18), 1–34.
- Van Vliet, K. (2012). *La relación entre los peces vegetación de la várzea y usos directos*. Universidad de Ciencias Aplicadas Van Hall Larenstein.
- Vanegas, L. (2018). *Desarrollo de un aplicativo como apoyo a la selección de proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en zonas rurales*. Universidad Nacional de Colombia.
- Vega, J. (2016). Acueductos rurales no garantizan agua potable. Recuperado el 24 de febrero de 2018, a partir de <https://www.larepublica.co/economia/acueductos-rurales-no-garantizan-agua-potable-2388361>
- Velásquez, J. (2009). *Estimación de la demanda de agua urbana residencial: factores que la afectan, conservación del recurso y planteamiento metodológico desde el ordenamiento territorial y las medidas de conservación*.
- Villada, M. (2012). *Estudios de caso sobre la gestión y gobernanza del agua rural como un bien común*. Medellín.

- Wassouf, P., Peska, T., Singh, R., & Akbarzadeh, A. (2011). Novel and low cost designs of portable solar stills. *Desalination*, 276(1–3), 294–302.
- WaterAid. (2011). *Sustainability Framework*. London.
- Whaley, L., & Cleaver, F. (2017). Can ‘functionality’ save the community management model of rural water supply? *Water Resources and Rural Development*, 9, 56–66.
- Whittington, D., Davis, J., Prokopy, L., Komives, K., Thorsten, R., Lukacs, H., ... Wakeman, W. (2009). How well is the demand-driven , community management model for rural water supply systems doing ? Evidence from Bolivia , Peru and Ghana, 11, 696–718.
- WHO. (2006). Section IV: Approaches to drinking-water source protection management. En *Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources* (pp. 431–536). World Health Organization (WHO).
- World Bank. (2009). *Post-Construction support and sustainability in community-managed rural water supply: case studies in Peru, Bolivia, and Ghana*. Washington.
- World Bank. (2017a). *Sustainability Assessment of Rural Water Service Delivery Models: Findings of a Multi-Country Review*. Washington: World Bank.
- World Bank. (2017b). *Sustainability of Demand Responsive Approaches to Rural Water Supply: The Case of Kerala*. World Bank.
- World Health Organization (WHO). (1992). *Evaluation of the international drinking water supply and sanitation decade, 1981-1990*.
- World Health Organization (WHO), & United Nations Children’s Fund (UNICEF). (2017). *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 update and SDG baselines*.
- Xue, X., Schoen, M., Ma, X., Hawkins, T., Ashbolt, N., Cashdollar, J., & Garland, J. (2015). Critical insights for a sustainability framework to address integrated community water services: Technical metrics and approaches. *Water Research*, 77, 155–169.

A. Anexo: Encuesta

Cordial saludo, mi nombre es _____, soy estudiante de la Universidad Nacional de Colombia, y estamos realizando la investigación para la tesis: "Desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en una zona rural colombiana". Esta investigación podrá contribuir a diseñar políticas y estrategias requeridas, desde diferentes organismos competentes, que posiblemente servirá de guía o apoyo en la toma de decisiones para asegurar la sostenibilidad del servicio de agua potable en las zonas rurales del país.

Su nombre no será utilizado y la información aquí suministrada se tratará de manera confidencial. A partir de los resultados, se buscará construir propuestas para mejorar el bienestar de la comunidad que está siendo afectada por el consumo de agua no potable.

De antemano agradezco su colaboración prestada.

Instrucciones para los encuestadores:

1. La encuesta sólo le responderán las personas mayores de 18 años.
2. La encuesta sólo lo responderá (1) persona por vivienda.
3. Si no hay respuesta para la pregunta entonces marcar NR.
4. Puede marcar múltiples respuestas en algunos casos.
5. Lea al entrevistado todas las posibles respuestas a una pregunta.

Todos los encuestadores deben hacer algunas encuestas pilotos antes de aplicar el cuestionario actual.

Número de la encuesta: _____

Encuestador: _____

Fecha: _____

Información del Hogar

1. Etnia: _____
2. Resguardo: _____
3. Comunidad: _____
4. Sexo:
 M F
5. Edad: _____
6. Lugar de nacimiento: _____
7. Nacionalidad: _____
8. Ocupación: _____
9. Nivel Educativo:
 Primaria Secundaria Técnica Tecnológica Profesional

134 Desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en una zona rural colombiana

10. ¿Hace cuánto vive en la comunidad?: _____
 11. ¿Hace cuánto vive en la vivienda?: _____
 12. ¿Cuántos niños de 0-12 años viven en esta vivienda?: _____
 13. Número de personas en la vivienda u hogar: _____

Servicios Básicos

14. ¿Posee energía eléctrica?:
 Si No
 15. ¿Cuántas horas al día tiene energía eléctrica?: _____
 16. Tipo de Transporte
 Moto Canoa Peque-peque
 17. ¿Posee algunos de estos servicios?
 Teléfono fijo Internet Televisión Celular
 18. La vivienda cuenta con:
 Primaria Secundaria Técnica

Actividades Socioeconómicas

19. ¿Cuáles son los ingresos mensuales propios de la vivienda?
 Entre 0-350.000 Entre 350.000-700.000 Entre 700.000-1'050.00
 Más de 1'050.000
 20. ¿Qué actividades propias de la familia generan ingresos a la vivienda?
 Agricultura Pesca Comercio Industria Minería
 Artesanías Madera Turismo Contratos laborales permanente
 Contratos laborales temporales
 21. ¿Cuáles son los gastos mensuales propios de la vivienda?: _____

Servicio del agua

22. ¿De dónde obtiene el agua que consume?
 Acueducto Aguas subterráneas Recolección de aguas lluvias
 Agua superficial
 23. ¿Realiza algún tratamiento al agua?
 Si No ¿Cuál?: _____
 24. ¿Cómo consume el agua?
 Directamente Hervida Filtro
 25. ¿Cuánto consume de agua al día?: _____

Usos	Acueducto	Aguas lluvias	Subterránea	Quebrada, Lagos o Ríos	26. ¿De dónde proviene el agua para los siguientes usos?
Baño diario					
Lavar ropa					
Limpieza del Hogar					
Agricultura					
Comercial e industrial					
Lavar platos					
Otro, ¿cuál?					

27. ¿En su casa tienen pozos artesianos?
 Si No ¿Cuántos?: _____
 28. ¿De cuánto es la profundidad aproximada del pozo?: _____
 29. ¿En su casa tienen tanques de agua?
 Si No ¿Cuántos?: _____
 30. ¿De cuántos litros o volumen es el tanque?: _____
 31. ¿Cómo sabe si el agua que consume es buena, regular o mala?
 Olor Color Sabor Otro, ¿cuál?: _____

32. ¿Qué tan satisfecho están usted y su familia con el suministro actual de Colombia? () Muy satisfecho () Satisfecho () Indiferente () Insatisfecho () Muy insatisfecho
33. ¿Qué tan satisfecho están usted y su familia con la calidad del agua? () Muy satisfecho () Satisfecho () Indiferente () Insatisfecho () Muy insatisfecho

Tema Financiero

34. ¿Paga por el servicio del agua en su vivienda? () Si () No
35. Si su respuesta fue Si, ¿cuánto?: _____
36. ¿Estaría dispuesto a pagar por una tarifa por tener una buena calidad del agua? () Si () No
37. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar?: () Entre \$1.000-\$10.000 () Entre \$10.000-\$20.000 () Entre \$20.000-\$30.000
38. ¿Quién debería pagar por el servicio de agua potable? () Sólo el Gobierno () Sólo los Usuarios () Compartido entre Gobierno y Usuarios

Servicio de Salud

39. ¿Con qué frecuencia en la vivienda se enferman? () Siempre () Casi siempre () Algunas veces () Muy pocas veces () Nunca
40. ¿Quiénes se enferman más dentro de la vivienda? () Adulto mayor () Joven () Niño () Recién nacido
Otro, ¿cuál?: _____
41. ¿Conoce las enfermedades por ingerir agua de mala calidad? () Si () No
42. Si su respuesta fue Si, ¿cuáles?: _____
43. ¿Qué tan satisfecho están usted y su familia con el servicio de salud? () Muy satisfecho () Satisfecho () Indiferente () Insatisfecho () Muy insatisfecho

Tema Institucional

44. ¿Se une con la comunidad para realizar actividades? () Si () No
45. ¿Tiene la comunidad habilidades técnicas para reparar equipos dañados? () Si () No
46. ¿La comunidad tiene un representante que participe en la toma de decisiones de los proyectos de abastecimiento de agua? () Si () No
47. ¿Se ha organizado la comunidad para planear y ejecutar algún proyecto comunitario? () Si () No
48. ¿Ha solicitado alguna vez a las autoridades que mejoren el servicio del agua? () Si () No
49. ¿Qué factores impiden la instalación de un mejor servicio de agua en la comunidad? () Falta de apoyo de autoridades locales () Falta de capacitación técnica () Falta de recursos Otro, ¿cuál?: _____
50. ¿La comunidad se reúne para hablar temas sobre el agua? () Si () No
51. Si su respuesta fue Si, ¿cada cuánto: _____ y en dónde: _____

B. Anexo:

Entrevistas

semiestructuradas

Cordial saludo, mi nombre es _____, soy estudiante de la Universidad Nacional de Colombia, y estamos realizando la investigación para la tesis: “Desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en una zona rural colombiana”. Esta investigación podrá contribuir a diseñar políticas y estrategias requeridas, desde diferentes organismos competentes, que posiblemente servirá de guía o apoyo en la toma de decisiones para asegurar la sostenibilidad del servicio de agua potable en las zonas rurales del país. A partir de los resultados de esta entrevista, se buscará construir propuestas para mejorar el bienestar de la comunidad que está siendo afectada por el consumo de agua no potable.

De antemano agradezco su colaboración prestada. Las preguntas son las siguientes:

Nombre:

Edad:

Rol en la comunidad:

1. **¿Cuéntenos, la comunidad se reúne para realizar actividades? ¿Cada cuánto? ¿Por qué lo hace o no lo hace?**
2. **¿La comunidad se reúne para hablar temas sobre el agua? ¿Cada cuánto? ¿Por qué lo hace o no lo hace?**
3. **¿La comunidad tiene problemas con el consumo de agua no potable? ¿Cuáles?**
4. **¿Desearía tener agua potable en su comunidad? ¿Por qué sería importante? ¿Estaría dispuesto a pagar una tarifa por el servicio?**

C. Anexo: Taller (San Pedro y San Juan)

Cordial saludo, mi nombre es Juan Carlos Cueva, soy estudiante de la Universidad Nacional de Colombia, y estamos realizando la investigación para la tesis: “Desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en una zona rural colombiana”. Esta investigación podrá contribuir a diseñar políticas y estrategias requeridas, desde diferentes organismos competentes, que posiblemente servirá de guía o apoyo en la toma de decisiones para asegurar la sostenibilidad del servicio de agua potable en las zonas rurales del país.

Su nombre no será utilizado y la información aquí suministrada se tratará de manera confidencial. A partir de los resultados, se buscará construir propuestas para mejorar el bienestar de la comunidad que está siendo afectada por el consumo de agua no potable.

De antemano agradezco su colaboración prestada.

Hora: 2:00 p.m. – 4:00 p.m

Espacio: Salón Comunal San Pedro y San Juan

Lugar: Comunidad San Pedro y San Juan de la Quebrada Yahuaraca

Presentación

Objetivo: Conocer a todos los participantes del Taller, sus expectativas y demás.

Inicio: 2:00 p.m. / **Duración:** 30 minutos / **Finalización:** 2:30 p.m.

Metodología:

1. Se sientan en un círculo todos los participantes.
2. Se pasará una pelota a cada participante dónde manifestarán las expectativas del taller.

Nota: Se debe pasar una lista de asistencia.

Taller: Antes, ahora y después

Inicio: 2:30 p.m. / **Duración:** 1:30 minutos / **Finalización:** 4:00 p.m.

Objetivo: Identificar las expectativas de la comunidad en relación al proyecto del agua.

Materiales: Pliegos de papel periódico, marcadores de colores y cinta adhesiva

Metodología:

140 Desarrollo de una metodología de priorización y diferenciación de proyectos de aprovisionamiento de agua para consumo humano en una zona rural colombiana

1. Se divide a los participantes en grupos. Se entregan tres hojas de papel periódico y marcadores por cada grupo.
2. Se solicita que cada grupo dibuje la comunidad, primero en el pasado, luego en el presente y por último cómo quisieran vivir en el futuro (*Las fechas pueden estar con el proyecto de abastecimiento de agua*).
3. Se trabajará con las siguientes preguntas base (ejemplo para el caso del pasado):
¿Cómo era la comunidad antes? ¿Cuántas viviendas había? ¿Cuánta población había? ¿Cómo era la selva, las chagras, las quebradas? ¿De dónde tomaban el agua para bañarse, aseo y la alimentación? Pintar los polígonos. ¿Cuáles eran los principales problemas asociados con el agua?
4. Las mismas preguntas base para el presente.
5. Las mismas preguntas para el futuro.
6. Luego, cada grupo presenta los dibujos alusivos al pasado, presente y futuro de la comunidad.
7. Al finalizar las presentaciones, la comunidad puede realizar aportes al taller realizado.

Nota: Se debe grabar las exposiciones y las intervenciones de las personas asistentes al taller.

E. Anexo: Valoración de las alternativas con respecto a los indicadores

Alternativa Indicador	<i>Proyecto de post- construcción</i>	<i>Planta compacta</i>	<i>Filtro lento</i>	<i>Microfiltración</i>	<i>Destilador solar</i>
Facilidad a la participación comunitaria	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Bajo
Aceptación del proyecto	Medio	Muy alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Uso de habilidades locales	Medio	Medio	Medio	Bajo	Muy bajo
Cantidad de consumibles químicos por usuario	Muy bajo	Alto	Bajo	Muy bajo	Muy bajo
Cantidad de energía consumida por usuario	Alto	Alto	Bajo	Muy alto	Bajo
Cantidad de residuo sólido generado	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Emissiones atmosféricas	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Recuperación y protección de la fuente	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Medio
Costos totales	Medio	Alto	Bajo	Muy alto	Medio
Empleos generados	Bajo	Muy alto	Bajo	Bajo	Bajo
Capacidad de extensión	Medio	Muy alto	Bajo	Bajo	Bajo
Compatibilidad con el recurso natural	Medio	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Disponibilidad de materiales y repuestos	Alto	Alto	Alto	Muy bajo	Medio
Durabilidad de los materiales	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Nivel de tratamiento al agua	Bajo	Alto	Medio	Muy alto	Medio
Flexibilidad de la tecnología	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo

F. Anexo: Supermatriz ponderada

		Social			Ambiental					Econ.		Tecnológico						Alternativas				
		S1	S2	S3	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P1	P2	P3	P4	P5
Social	S1	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
	S2	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
	S3	0,14	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Ambiental	A1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	A3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	A4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	A5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Económico	E1	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	E2	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Tecnológico	T1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	T2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	T3	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	T4	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	T5	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
	T6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Alternativas	P1	0,15	0,21	0,25	0,27	0,15	0,20	0,15	0,15	0,21	0,15	0,21	0,23	0,25	0,29	0,12	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P2	0,31	0,36	0,25	0,07	0,15	0,20	0,15	0,15	0,15	0,38	0,36	0,31	0,25	0,29	0,24	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P3	0,23	0,21	0,25	0,13	0,29	0,20	0,23	0,23	0,30	0,15	0,14	0,23	0,25	0,14	0,18	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P4	0,15	0,14	0,17	0,27	0,12	0,20	0,23	0,23	0,12	0,15	0,14	0,15	0,06	0,14	0,29	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P5	0,15	0,07	0,08	0,27	0,29	0,20	0,23	0,23	0,21	0,15	0,14	0,08	0,19	0,14	0,18	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Los valores están redondeados a dos cifras decimales*.

G. Anexo: Supermatriz ponderada estocástica

		Social			Ambiental					Econ.		Tecnológico						Alternativas				
		S1	S2	S3	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P1	P2	P3	P4	P5
Social	S1	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	S2	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	S3	0,07	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Ambiental	A1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	A2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	A3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	A4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	A5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Económico	E1	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
	E2	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Tecnológico	T1	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	T2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	T3	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	T4	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	T5	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	T6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Alternativas	P1	0,07	0,09	0,25	0,27	0,15	0,2	0,15	0,15	0,10	0,15	0,21	0,23	0,25	0,29	0,12	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P2	0,14	0,16	0,25	0,07	0,15	0,2	0,15	0,15	0,08	0,38	0,35	0,31	0,25	0,29	0,24	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P3	0,11	0,09	0,25	0,13	0,29	0,2	0,23	0,23	0,15	0,15	0,14	0,23	0,25	0,14	0,17	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P4	0,07	0,06	0,17	0,27	0,12	0,2	0,23	0,23	0,06	0,15	0,14	0,15	0,06	0,14	0,29	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P5	0,07	0,03	0,08	0,27	0,29	0,2	0,23	0,23	0,10	0,15	0,14	0,08	0,19	0,14	0,18	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Los valores están redondeados a dos cifras decimales*.

H. Anexo: Supermatriz límite

		Social			Ambiental					Econ.		Tecnológico						Alternativas				
		S1	S2	S3	A1	A2	A3	A4	A5	E1	E2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	P1	P2	P3	P4	P5
Social	S1	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	S2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	S3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ambiental	A1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	A2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02
	A3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	A4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	A5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Económico	E1	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	E2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Tecnológico	T1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	T2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	T3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	T4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	T5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	T6	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Alternativas	P1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	P2	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	P3	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	P4	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	P5	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Los valores están redondeados a dos cifras decimales*.