

**METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS  
SOSTENIBLES PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE Y  
SANEAMIENTO BÁSICO EN COMUNIDADES RURALES  
DISPERSAS.**

**ESTUDIO DE CASO: VEREDA LA PITA, CORREGIMIENTO  
LÁZARO (CARMEN DE BOLÍVAR)**

**MARÍA FERNANDA MUÑOZ ARAUJO**

**PAOLA ISABEL CASTRO ARROYO**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARTAGENA D. T. Y C.**

**2017**

**METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES  
PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN  
COMUNIDADES RURALES DISPERSAS.**

**ESTUDIO DE CASO: VEREDA LA PITA, CORREGIMIENTO LÁZARO  
(CARMEN DE BOLÍVAR)**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN: MODELACIÓN AMBIENTAL (GIMA)  
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**INVESTIGADORES:  
MARÍA FERNANDA MUÑOZ ARAUJO  
PAOLA ISABEL CASTRO ARROYO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de  
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR  
JAVIER ALEJANDRO MOUTHON BELLO  
INGENIERO CIVIL, PhD. EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
CARTAGENA D. T. Y C.**

**2017**



## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos en primer lugar a Dios, ya que con Él todo y sin Él nada, por iluminarnos y fortalecer nuestro espíritu para emprender este camino hacia el aprendizaje.

Brindamos nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que hicieron posible la realización y culminación de este trabajo, donde están plasmados de manera resumida nuestros esfuerzos a lo largo de la carrera. De manera muy especial a nuestro director, el ingeniero Javier Mouthon Bello, por todo el apoyo brindado, por su calidad humana, por instruirnos, guiarnos y ofrecernos sus conocimientos durante todo este proceso.

A la Universidad de Cartagena por brindarnos la oportunidad de formarnos académica, personal y profesionalmente y a todos aquellos que de alguna manera han hecho parte de nuestro crecimiento y preparación como personas e ingenieras. A nuestros amigos de clase, que son como hermanos; con quienes convivimos en todo este proceso, compartiendo alegrías y penas, trabajos y conocimientos.

Por último, quisimos dejar a unas personas que son el tronco de este gran árbol ramificado que somos cada una de nosotras, que son la fortaleza hecha persona, quienes son las que verdaderamente se merecen todos nuestros esfuerzos, ¡Nuestras madres! No olvidando el apoyo incondicional de nuestro padre y demás familiares.

***Nunca desistas de tus sueños, sigue las señales. Paulo Coelho.***



## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	8
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN .....	12
1 MARCO DE REFERENCIA.....	15
1.1 MARCO TEÓRICO .....	15
1.1.1 Comunidad Rural Dispersa (CRD) .....	15
1.1.2 Sostenibilidad de los servicios .....	16
1.1.3 Agua Potable .....	19
1.1.4 Saneamiento Básico .....	22
1.1.5 Procedimiento para elaborar una metodología.....	23
1.2 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE .....	25
1.3 MARCO LEGAL .....	29
2 OBJETIVOS .....	32
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	32
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	32
3 ALCANCE.....	33
4 METODOLOGÍA.....	36
4.1 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS APLICABLES A COMUNIDADES RURALES DISPERSAS. ....	39
4.2 ESTABLECIMIENTO DE VARIABLES O INDICADORES PARA LA SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGIAS APLICABLES A CRD.....	40
4.3 REVISIÓN DE LAS METODOLOGÍAS EXISTENTES Y CONSTRUCCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EN CRD.....	41
4.3.1 Consulta a expertos .....	43
4.4 APLICACIÓN AL CASO DE ESTUDIO .....	43
4.4.1 Recorrido de campo, encuesta y entrevista .....	44



4.4.2	Planteamiento de alternativas.....	46
5	RESULTADOS .....	47
5.1	TECNOLOGÍAS APLICABLES PARA COMUNIDADES RURALES DISPERSAS.....	47
5.1.1	Tecnologías para el suministro de agua potable .....	48
5.1.2	Tecnologías para saneamiento básico .....	62
5.2	INDICADORES O VARIABLES SELECCIONADOS PARA CADA CRITERIO DE SOSTENIBILIDAD.....	64
5.2.1	Criterio técnico.....	67
5.2.2	Criterio sociocultural.....	72
5.2.3	Criterio ambiental.....	74
5.2.4	Criterio económico.....	77
5.3	ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS EXISTENTES Y CONSTRUCCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA CRD. ....	78
5.3.1	Panel de expertos y asignación de valores o pesos a cada indicador .....	82
5.3.2	Metodología para la selección de alternativas para el suministro de agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales dispersas. ....	85
5.4	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL CASO DE ESTUDIO .....	100
5.4.1	Características de la zona de estudio.....	100
5.4.2	Validación de la metodología y alternativas seleccionadas .....	111
5.4.3	Recomendaciones e instrucciones para el diseño de las alternativas seleccionadas. ....	122
6	CONCLUSIONES.....	124
7	LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES .....	127
7.1	Limitaciones .....	127
7.2	Recomendaciones.....	128
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
	ANEXOS.....	134



## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Técnicas para la captación de aguas subterráneas. ....	49
<b>Cuadro 2.</b> Técnicas para la captación de aguas superficiales y pluviales.....	52
<b>Cuadro 3.</b> Tecnologías para el tratamiento de potabilización de aguas subterráneas.....	56
<b>Cuadro 4.</b> Tecnologías para el tratamiento de potabilización de aguas superficiales y agua lluvia.....	58
<b>Cuadro 5.</b> Alternativas de saneamiento In situ aplicables a CRD .....	62
<b>Cuadro 6.</b> Revisión de metodologías asociadas a la selección de alternativas y medición de la sostenibilidad.....	79
<b>Cuadro 7.</b> Porcentaje de importancia de cada indicador para agua potable (captación), según los expertos consultados.....	83
<b>Cuadro 8.</b> Porcentajes de importancias del criterio técnico en el tratamiento de potabilización.....	84
<b>Cuadro 9.</b> Porcentaje de importancia de cada indicador para saneamiento básico, según los expertos consultados. ....	84
<b>Cuadro 10.</b> Guía para la evaluación del criterio técnico en la selección de las tecnologías para la captación de agua potable.....	88
<b>Cuadro 11.</b> Guía para la evaluación del criterio socio-cultural en la selección de las tecnologías para la captación de agua potable. ....	89
<b>Cuadro 12.</b> Guía para la evaluación del criterio ambiental en la selección de las tecnologías para la captación de agua potable.....	90
<b>Cuadro 13.</b> Guía para la evaluación del criterio económico en la selección de las tecnologías para la captación de agua potable.....	91
<b>Cuadro 14.</b> Guía para la evaluación del criterio técnico en la selección del tratamiento de potabilización.....	93
<b>Cuadro 15.</b> Método de evaluación para la selección de las alternativas.....	94
<b>Cuadro 16.</b> Guía para la evaluación del criterio técnico en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.....	96
<b>Cuadro 17.</b> Guía para la evaluación del criterio socio-cultural en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.....	97



<b>Cuadro 18.</b> Guía para la evaluación del criterio ambiental en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales. ....	98
<b>Cuadro 19.</b> Guía para la evaluación del económico en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales. ....	98
<b>Cuadro 20.</b> Población en los últimos años de La Pita.....	101
<b>Cuadro 21.</b> Coordenadas de localización de los puntos de agua .....	107
<b>Cuadro 22.</b> Resultados de los parámetros medidos en las muestras .....	107
<b>Cuadro 23.</b> Fuentes de agua identificadas en la zona. ....	112
<b>Cuadro 24.</b> Puntajes resultantes en la evaluación de las técnicas de captación de fuentes subterráneas.....	115
<b>Cuadro 25.</b> Puntajes obtenidos en la evaluación de las tecnologías de tratamiento para aguas superficiales.....	117
<b>Cuadro 26.</b> Resultados de la evaluación de las alternativas. ....	120
<b>Cuadro 27.</b> Resultados obtenidos en la evaluación de las tecnologías de saneamiento básico. ....	122



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de La Pita.....	34
<b>Figura 2.</b> Proceso de búsqueda para la revisión bibliográfica.....	37
<b>Figura 3.</b> Esquema de la metodología empleada para el desarrollo del proyecto.....	39
<b>Figura 4.</b> Criterios de selección de tecnologías para comunidades dispersas.....	40
<b>Figura 5.</b> Elementos que construyen la sostenibilidad.....	42
<b>Figura 6.</b> Entrevista a miembros de la comunidad.....	44
<b>Figura 7.</b> Socialización con la comunidad acerca del proyecto.....	45
<b>Figura 8.</b> Ubicación geográfica de las fuentes de agua, viviendas y puntos estratégicos...	45
<b>Figura 9.</b> Toma de muestras en las fuentes 1 y 4. ....	46
<b>Figura 10.</b> Esquema de una bomba manual. ....	49
<b>Figura 11.</b> Esquema de una bomba con energía eólica.....	50
<b>Figura 12.</b> Uso de una electrobomba en la captación de agua subterránea.....	50
<b>Figura 13.</b> Uso de una electrobomba en la captación de agua.....	51
<b>Figura 14.</b> Esquema de un sistema de bombeo con energía solar.....	51
<b>Figura 15.</b> Esquema de la protección de un manantial. ....	52
<b>Figura 16.</b> Esquema de un ariete hidráulico.....	52
<b>Figura 17.</b> Captación a través de un vertedero lateral.....	53
<b>Figura 18.</b> Esquema de la recolección de agua lluvia.....	53
<b>Figura 19.</b> Captación de agua de niebla.....	54
<b>Figura 20.</b> Destilador solar tipo caseta.....	56
<b>Figura 21.</b> Filtro de arcilla cocida para la eliminación de flúor.....	56
<b>Figura 22.</b> Esquema del proceso de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso.....	57
<b>Figura 23.</b> Elementos que componen un filtro de mesa.....	58
<b>Figura 24.</b> Esquema de un sistema filtro lento de arena.....	58
<b>Figura 25.</b> Esquema de un filtro casero de CARPOM.....	59
<b>Figura 26.</b> Representación de uno de los métodos artesanales (tres vasijas).....	59



<b>Figura 27.</b> Esquema del uso de un Filtrón. ....	60
<b>Figura 28.</b> Esquema del proceso FIME.....	60
<b>Figura 29.</b> Uso de la técnica SODIS .....	61
<b>Figura 30.</b> Hipoclorador de goteo en funcionamiento. ....	61
<b>Figura 31.</b> Esquema de una LHS .....	62
<b>Figura 32.</b> Esquema representativo de una letrina con pozo seco ventilado.....	62
<b>Figura 33.</b> Esquema de la letrina con baño de sello hidráulico.....	63
<b>Figura 34.</b> Diagrama de una letrina abonera seca .....	63
<b>Figura 35.</b> Esquema de un tanque séptico.....	64
<b>Figura 36.</b> Indicadores seleccionados en agua potable para cada uno de los criterios estudiados.....	66
<b>Figura 37.</b> Indicadores seleccionados en saneamiento para cada uno de los criterios estudiados.....	67
<b>Figura 38.</b> Esquema del modelo metodológico para la selección de alternativas de agua potable.....	86
<b>Figura 39.</b> Esquema del modelo metodológico para la selección de alternativas de saneamiento básico.....	94
<b>Figura 40.</b> Ruta desde La Pita hasta EL Carmen de Bolívar.....	100
<b>Figura 41.</b> Localización de los puntos de agua disponibles en la zona.....	106
<b>Figura 42.</b> Parámetros de calidad estudiados en las distintas fuentes.....	108
<b>Figura 43.</b> Fuentes de agua identificadas en el área de estudio. ....	113
<b>Figura 44.</b> Zona que cubren los tres puntos de agua considerados en la alternativa 1. ....	118
<b>Figura 45.</b> Zona que cubren los dos puntos de agua considerados en la alternativa 2.....	119



## RESUMEN

Las comunidades que presentan un mayor déficit en el acceso a servicios básicos de agua potable y saneamiento básico son las rurales dispersas, debido a las condiciones que prevalecen en ellas, como la dispersión entre las viviendas, bajo número de habitantes, escasos recursos, ausencia del gobierno y lo abrupto del terreno. Este estudio, propone una metodología para la selección de alternativas sostenibles para el suministro de estos servicios en comunidades de este tipo, obtenida por medio de una revisión bibliográfica referente a tecnologías no convencionales y procesos metodológicos existentes, además del planteamiento de un conjunto de indicadores determinados luego del análisis de cada uno de los criterios de la sostenibilidad: técnico, sociocultural, ambiental y económico, todos ellos dentro de la normativa legal vigente; la evaluación de estos se hizo por el método de la ponderación de factores obtenida a partir de un panel de expertos. Esta metodología se esquematizó por medio de un diagrama de bloques. Como producto de su aplicación en el caso de la vereda La Pita (Colombia), población que cuenta con 240 habitantes, se obtuvo que la alternativa sostenible para agua potable está conformada por la captación a través de bombas manuales en dos fuentes de agua subterránea y el uso de hipocloradores unifamiliares como técnica para el tratamiento del agua para consumo. Por su parte, para saneamiento básico, se tiene la implementación de letrinas de sello hidráulico como solución sostenible para la comunidad. De acuerdo a los resultados obtenidos en el caso de estudio, se puede afirmar que esta metodología es apropiada en la medida en que se estudien y analicen adecuadamente los indicadores considerados en ella y de esta manera, la solución obtenida será compatible con el entorno en el cual se desee implementar.

**Palabras claves:** Servicios básicos, sostenibilidad, indicadores, tecnologías no convencionales, ponderación de factores.



## ABSTRACT

Dispersed settlements are rural communities affected by a high deficit in access to public utilities such as water and sewage due to the prevailing conditions in them, the main problems are related to the dispersion among the dwellings, low population, scarce resources, absence of law enforcement and governmental authorities, and abrupt terrain. In this study, a methodology for the selection of sustainable alternatives for the provision of these utilities in dispersed settlements is proposed, a literature review of non-conventional technologies and existing processes, as well as a set of indicators determined after the analysis of each parameter in the sustainability criteria: technical, socio-cultural, environmental, financial, all these within the current legal regulations. The evaluation of these parameters was done by the method of factor weighting obtained from a panel of experts. This methodology was outlined by means of a block diagram.

As a result of the application of this methodology to a case application in the case of La Pita (Colombia), a population with 240 inhabitants, it was obtained that the sustainable alternative for drinking water supply is conformed by the catchment through hand pumps in two groundwater sources and the use of single-family hypochlorinators as a technique for the treatment of drinking water prior to consumption. On the other hand, for sewage and basic sanitation, it is proposed the implementation of hydraulic seal latrines as a sustainable solution for the rural settlement.

It can be affirmed that this methodology is appropriate to the extent that the indicators considered in it are properly studied and analyzed and in this way, the solution obtained will be compatible with the environment in which it is desired to be implemented.

**Key words:** Basic utilities, dispersed settlements, sustainability, indicators, non-conventional technologies, factor weighting.



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años se estima que alrededor de 663 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable y unos 2400 millones carecen hasta de una letrina sencilla “mejorada” (OMS, 2015), cifras que se elevan en países en vía de desarrollo. Colombia presenta carencia en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento principalmente en las comunidades rurales, debido a factores como ubicación, condición económica, falta de tecnología, difícil acceso, dispersión entre sus viviendas, falta de apoyo del gobierno en la asignación de recursos, entre otros.

Las poblaciones rurales que más presentan vulnerabilidad en la implementación de técnicas convencionales para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico son las dispersas, quienes además de los problemas mencionados presentan dificultad en su diseño, ya que las condiciones existentes son muy diferentes a las condiciones de las instalaciones urbanas. Normalmente, la implementación de estos sistemas en este tipo de comunidades se hace costosa, debido a la baja densidad poblacional, a la poca población que se abastece y a lo abrupto del terreno. Además, no cuentan con los recursos económicos necesarios para su instalación y mantenimiento, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos la principal fuente de ingreso es la agricultura (Morató. *et al.*, 2006).

Como solución integral a las necesidades de las comunidades rurales dispersas (CRD), entidades u organizaciones como la OPS/OMS, CEPIS, BID entre otras, le han apostado a la implementación de técnicas no convencionales sostenibles de la mano con la gestión comunitaria, debido a que las soluciones tradicionales usualmente se hacen complejas, al requerir cierta cantidad de población para su ejecución, así como altos costos de inversión y mantenimiento (Giraldo, 2008). Teniendo en cuenta los recursos disponibles en la zona, así como la interacción de factores físicos, económicos, gubernamentales, sociales y de las condiciones medio ambientales encontradas, se han planteado alternativas de tal manera que estos, se visualicen como servicios asequibles, permanentes y eficientes, que brinden una garantía durante la vida de los sistemas, así como la calidad de acuerdo a las exigencias

Castro A., P. & Muñoz A., M



ambientales de salud, normatividad vigente y otros. Es necesario aclarar que no existen soluciones universales, es decir, que no hay una tecnología mejor que otra en la prestación de estos servicios, solo que depende de aquella que se acople a las condiciones: ambientales, socio-culturales, económicas y técnicas, presentes en determinada comunidad (De Valencia, *et al.*,1999).

Para satisfacer las necesidades básicas de agua potable y saneamiento básico se requiere determinar qué alternativas idóneas se pueden implementar, por tal razón se han planteado diversos modelos que facilitan esta decisión, entre los cuales se destacan los propuestos por CINARA, IRC, Sara y Katz y la Universidad de Oklahoma. Sin embargo, aún la literatura no contempla una guía que dirija este proceso en comunidades rurales dispersas, además, de no estudiarse todo el conjunto de operaciones requeridas para el suministro de agua potable y tratamiento de aguas residuales.

Por la falta de acceso a instalaciones sanitarias y de agua potable y la importancia de seleccionar adecuadamente opciones sostenibles para el mejoramiento de estas condiciones y por ende de la calidad de vida de los habitantes de las CRD, así como la necesidad de realizar nuevos planteamientos que permitan lo anterior, en el presente trabajo de investigación se formuló el siguiente interrogante *¿Qué metodología se puede implementar para la selección de alternativas sostenibles para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico en las comunidades rurales dispersas?*

Basado en lo expuesto anteriormente, esta investigación propuso una metodología de selección de alternativas sostenibles, con el fin de evitar una mala aplicación de ellas, que al no ser compatibles con las condiciones, necesidades y características de este tipo de poblaciones, sean abandonadas y no continúen su adecuado funcionamiento. Esta fue resumida en diagramas de bloques y construida a partir de la literatura consultada y la opinión de expertos. Para ello se tuvo como punto de partida el análisis de las tecnologías aplicables a las CRD, esto con el fin de facilitar al usuario el reconocimiento y entendimiento de las mismas, seguido del planteamiento de los indicadores que componen cada criterio de



sostenibilidad aquí estudiado, los cuales fueron evaluados por medio del método de ponderación de factores.

Con el fin de validar la metodología propuesta se seleccionó a la vereda La Pita ubicada en el corregimiento de Lázaro, en la alta montaña de Los Montes de María, a la cual se le estudiaron aspectos como el tipo de fuente, dotación, características del suelo, condición económica y social, que permitieron plantear diversas alternativas conceptuales de las cuales se seleccionó la mejor basado en su simplicidad, grado de participación de la comunidad en su funcionamiento y sus costos.

Finalmente, el desarrollo de esta investigación permitió sentar bases conceptuales alusivas al trazado de alternativas sostenibles que permitan dar solución a los problemas de agua potable y saneamiento básico en poblaciones dispersas partiendo de información general tanto de la comunidad como de las tecnologías. De esta manera, se está aportando a la transformación social y ambiental de las mismas, además de fortalecer el espíritu investigativo relacionado con los propósitos de formación de los profesionales del alma mater, principalmente de la cultura fomentada por el Semillero de Investigación que contempla la línea de investigación en Saneamiento ambiental del Grupo de Investigación Modelación Ambiental (GIMA), del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena.



## **1 MARCO DE REFERENCIA**

Este capítulo contiene la descripción de los conceptos claves y estudios relacionados con el tema de investigación que permitan el planteamiento y ejecución de la metodología para la selección de alternativas de saneamiento básico y suministro de agua potable en comunidades rurales dispersas, a su vez contempla las diversas tecnologías sostenibles aplicables a estos dos casos y el marco legal que enmarca este proyecto.

### **1.1 MARCO TEÓRICO**

En esta fase se presentan de forma clara y coherente las consideraciones teóricas que ayudarán a sustentar el análisis y desarrollo de la investigación propuesta, desde la definición de población rural dispersa hasta como elaborar una metodología para la selección de tecnologías sostenibles para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico en este tipo de zonas.

#### **1.1.1 Comunidad Rural Dispersa (CRD)**

Acorde con Reyes (2014) una CRD es aquella que se desarrolla en el campo, cuenta con un número promedio de 250 familias, se mantienen de actividades productivas primarias derivadas de la agricultura y ganadería por lo que su economía suele ser precaria. Se caracteriza principalmente por tener algún grado de marginación, sus vías de acceso son generalmente mediante caminos de terracería o veredas, no cuentan con sistemas de agua y saneamiento dignos y su acceso a los servicios públicos se limita a lo indispensable. Conformada por pobladores que habitan en grupos muy pequeños, donde las viviendas se encuentran separadas por distancias considerables, haciendo difícil que se les pueda atender con las tecnologías de agua y saneamiento convencionales. Por las condiciones de ubicación, topografía, distancia entre las viviendas y la escasa integración entre los pobladores, se dificulta la adopción de tecnologías destinadas a grupos poblacionales mayores (OPS, 2006).

Castro A., P. & Muñoz A., M



### 1.1.2 Sostenibilidad de los servicios

A partir de las experiencias de CINARA y el IRC, se podría señalar que un sistema de agua y saneamiento es sostenible cuando suministra el nivel deseado de servicio, con criterios de calidad y eficiencia económica y ambiental, el cual puede ser financiado o cofinanciado por sus usuarios, con un mínimo razonable de apoyo externo y de asistencia técnica, y que es usado de manera eficiente sin que cause un efecto negativo en el ambiente (Galvis C. & Vargas F., 2010). Ésta depende del conocimiento, capacidad y confianza de la comunidad para operar y mantener el sistema, y además, de su compromiso para contribuir económicamente en la cobertura de los costos de operación y mantenimiento del mismo, sobre todo cuando dicha comunidad está lejos de las ciudades y con difícil acceso (Falck, Mayra *et al.*, 2004).

Los factores o criterios que contribuyen a la sostenibilidad de los servicios son principalmente cuatro relacionados entre sí: Técnica, la comunidad, el medio ambiente y el marco legal e institucional. Una dimensión financiera subyace a todos estos factores (Brikké & Bredero, 2003).

La tecnología sostenible es muy similar a lo que antes se definía como tecnología apropiada, es decir, tecnología que es compatible con el entorno natural, económico, técnico y social, o que es fácilmente adaptable, y que ofrece la posibilidad de un mayor desarrollo (Balkema *et al.*, 2002).

Para garantizar la sostenibilidad de los servicios, se debería considerar básicamente la selección de tecnologías apropiadas que faciliten la operación y mantenimiento de los sistemas y optimicen los recursos disponibles para este sector (Comisión Reguladora de Agua *et al.*, 1997).

Como se ha mencionado con anterioridad la sostenibilidad de los sistemas depende en gran medida de la eficiencia y efectividad de la O&M y muchos de los factores que contribuyen a la sostenibilidad de ellos, tienen influencia directa a este parametro. Según la Carrera de



Desarrollo Socioeconómico y Ambiente de Zamorano(2004), un servicio es sostenible siempre y cuando cumple con los siguientes requisitos:

- Está funcionando y es utilizado.
- Ofrece como mínimo beneficios que abarcan calidad,cantidad,continuidad,igualdad y confianza.
- Funcionan durante toda su vida útil (va más allá del ciclo del proyecto).
- Se institucionaliza la administración y por ende es local, participativa y reconocida
- Los costos de operación y mantenimiento se cubren a través de los ingresos locales (tarifas y otras alternativas para recaudar fondos).
- El sistema se mantiene mediante la capacidad local y su dependencia del aporte técnico externo es mínimo.
- El medio ambiente no se ve afectado (sobre todo en la zona de recarga y la fuente).

Se puede afirmar que el desarrollo sostenible es la combinación de tres componentes: el bienestar y cohesión social, desarrollo económico, y el respeto al medio ambiente. Este concepto está enmarcado y relacionado con el mejoramiento de la calidad de vida, el acceso a los servicios básicos, el aumento de los niveles educativos,seguridad alimentaria, la posibilidad de tener empleo, vivienda y trabajo, la disponibilidad de recursos naturales por parte de la actual y futuras generaciones y fundamentalmente la participación política (Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales , 2011).

Considerando la importancia de la sostenibilidad en la sociedad, en los últimos años ha surgido un gran interés en buscar mecanismos que permitan evaluarla desde diferentes ámbitos.

Por último, cabe mencionar que las causas de la falta de sostenibilidad en los campos de agua potable y saneamiento básico son múltiples, siendo una de ellas la elección de una tecnología que en la mayor parte de las veces excede la capacidad de operación, mantenimiento y administración de la comunidad beneficiada, lo cual conduce al lento deterioro de las



instalaciones y al abandono de las mismas en un tiempo muy por debajo de su horizonte de diseño o de la vida útil de sus componentes (Asociación de Servicios Educativos, 2009).

#### *1.1.2.1 Criterios de sostenibilidad*

La sostenibilidad está dada por diferentes criterios, los cuales de manera integral cumplen con el propósito y objetivo de la misma en cualquier ámbito de estudio y se definen basados en lo expuesto por el Centro de Ciencias Administrativas y Gerenciales (2011) y como sigue:

- **Social:** Considera el acceso equitativo a los bienes de la naturaleza, tanto en términos intergeneracionales como intrageneracionales entre géneros y entre culturas, educación y su grupo familiar. Este aspecto involucra fortalecer a los beneficiarios para que demanden un buen servicio, apoyar el empoderamiento de sus dirigentes para que lo gestionen y promover la aceptación cultural.
- **Técnico:** Expresado como los conocimientos, procedimientos e instrumentos que facilitan la operación y mantenimiento de los sistemas, los cuales son determinantes para reducir los riesgos a niveles aceptables y garantizar una adecuada apropiación a nivel local.
- **Medioambiental:** Considera aquellos aspectos que tienen que ver con preservar y potenciar la diversidad y complejidad de los ecosistemas, su productividad, los ciclos naturales y la biodiversidad. Donde el objetivo mayor es la sustentabilidad, refiriéndose en este ámbito a la protección del agua y de sus fuentes, para que puedan ser usadas por otras personas.
- **Económico:** Incluye a todo el conjunto de actividades humanas relacionadas con la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, es decir, qué tan eficiente es la combinación de los recursos de la tierra, trabajo y capital, por lo tanto, todas las



actividades relacionadas a la producción, costos, ingresos, beneficios, entre otros, a mediano y largo plazo.

- **Político-institucional:** En esta dimensión se considera la estructura y el funcionamiento del sistema político, sea nacional, regional o local. Por otro lado, se cimienta en un sistema institucional público que debe responder a las características planteadas y requeridas en el mismo.

#### *1.1.2.2 Indicadores de evaluación de la sostenibilidad*

Para la planeación del proceso metodológico en donde se garantice la sostenibilidad se tienen en cuenta una serie de criterios de diagnóstico y dentro de ellos un conjunto amplio de indicadores, que son esenciales para evaluar el nivel de desarrollo sostenible de los sistemas, cada uno de estos representa una parte importante del proceso.

Un indicador es un signo, típicamente medible, que puede reflejar una característica cuantitativa o cualitativa, y que es importante para hacer juicios sobre condiciones del sistema actual, pasado o hacia el futuro. La formación de un juicio o decisión se facilita comparando las condiciones existentes con un estándar o meta.

La determinación y construcción de estos indicadores debe partir del supuesto de que se realice un concienzudo esfuerzo de recopilación de información confiable, mediante fuentes primarias y secundarias de información (Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales , 2011).

#### **1.1.3 Agua Potable**

El agua potable es aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, es apta para consumo humano. Se utiliza para la bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal (Ministerio De La Protección Social, 2007).



Según la Organización Mundial de la Salud (2006), el acceso al agua de consumo inocua (agua potable) es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud. Ésta no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida.

Por otra parte, el agua es considerada como una necesidad fundamental de la humanidad, cada persona en el planeta Tierra requiere al menos 20 a 50 litros de agua potable limpia y segura al día para beber, cocinar y simplemente mantenerse limpios. Así mismo las Naciones Unidas considera el acceso al agua limpia como un derecho básico de la humanidad, y como un paso esencial hacia la mejoría de los estándares de vida en todo el mundo; las comunidades carentes de recursos hídricos, por lo general, son económicamente pobres también, y sus residentes están atrapados en un círculo vicioso de pobreza (Academia Nacional de Ciencias, 2007).

En las zonas rurales dispersas este recurso es bastante limitado en la mayoría de los casos, por lo que su demanda de agua se ajusta forzosamente a los recursos disponibles y utilizables, esta oscila generalmente entre 15 y 30 litros por persona por día, pudiendo ser aún menor (Estrucplan, 2003).

La potabilización de las aguas a escala urbana se inicia a principios del siglo XX, con la desinfección del agua de suministro para proteger la salud pública frente a las epidemias de cólera y otras infecciones que afectaban las poblaciones de Europa y América. Hoy en día, el agua al salir de la planta reúne una serie de características organolépticas, físico-químicas, microbiológicas y relativas a sustancias tóxicas o radiactivas, reguladas por ley, que permiten su consumo público y que garantizan un agua potable de calidad ( Morató *et al.*, 2006), por tanto la salud de sus consumidores. Estas características se describen a continuación a partir de lo expuesto por Orellana (2005) :



- Características Físicas

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez del agua que se brinda, de estas las más relevantes a la hora de llevar a cabo un proceso de potabilización son el color y la turbidez por lo cual exigen un mayor control de calidad según las normas.

El color del agua se debe a la presencia de minerales como el hierro y el manganeso, materia orgánica y residuos de las industrias. Normalmente, el agua que se considera potable, es aquella que presenta un color transparente.

La turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación. Elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro (Espigares Garcia & Fernandez Crehuet, 1999).

- Características Químicas

El agua químicamente pura es la combinación de oxígeno e hidrógeno, sin embargo al ser el solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica.

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua —que pueden ser de origen natural o antropogénico— define su composición física y química.

Existen múltiples elementos químicos que se encuentran en el agua natural y que producen alcalinidad, dureza y salinidad, estos serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración.

Dentro de aquellas que producen acidez y que a su vez son frecuentes en el tratamiento de esta, se encuentran el ácido sulfúrico, sulfato ferroso y sulfato de aluminio. Por otra parte aquellas sustancias que generan molestias o trastornos al organismo son el fenol, arsénico, selenio, cromo hexavalente, plomo, hierro, manganeso y flúor, magnesio, cloruro, nitrato y sulfatos.



- **Características Biológicas**

En el agua habitan una gran variedad de elementos biológicos que van desde los microorganismos hasta los peces. De todos estos, una de las que más requieren atención y cuidado son los coliformes fecales. Bacterias usadas como indicador en pruebas de agua, debido a que su presencia señala la presencia de organismo que pueden causar enfermedades. (Division de Salud Publica de Carolina del Norte, 2009).

#### **1.1.4 Saneamiento Básico**

El saneamiento ambiental consiste en el mantenimiento de los elementos del medio ambiente (tanto naturales como aportados por el hombre) en condiciones aptas para el desarrollo del ser humano tanto en lo individual como en lo colectivo. En cuanto al área de saneamiento básico se contemplan aquellas actividades relacionadas con el mejoramiento de las condiciones básicas que afectan a la salud, o sea, el abastecimiento de agua, disposición de excretas, residuos sólidos, vivienda y control de la fauna nociva. Entre los componentes operativos del saneamiento básico son: agua potable, alcantarillado; disposición de excretas en el medio rural, aseo urbano, mejoramiento de la vivienda, protección de los alimentos, etc (Meloni, 2004).

Las instalaciones higiénicas de saneamiento son esenciales para la salud pública y según datos arrojados por la Organización Mundial de la Salud (2015), desde 1990, el número de personas que han podido acceder a instalaciones de saneamiento mejoradas ha aumentado del 54% al 68%; sin embargo, unos 2400 millones de personas siguen sin tener inodoros o letrinas cubiertas. Alrededor de unas 842 000 personas de países de ingresos bajos y medianos mueren cada año como consecuencia de la insalubridad del agua y de un saneamiento y una higiene deficientes. Estas muertes representan el 58% del total de muertes por diarrea. Se considera que un saneamiento deficiente es la principal causa de unas 280 mil de estas muertes.



Continuando en el mismo ámbito, se tiene que si la materia fecal, las aguas residuales y las basuras, no se manejan adecuadamente producen malos olores, contaminación del medio ambiente y deterioro del paisaje. Además propician plagas como: moscas, zancudos, ratones, cucarachas y otros, éstos se convierten en transmisores de enfermedades, que generan graves riesgos para la salud humana como: afecciones gastrointestinales; para evitar su proliferación y las enfermedades que estas originan, los seres humanos trabajan en torno al saneamiento básico, entendido este como un conjunto de acciones que se realizan para ayudar a cuidar el ambiente. Entre ellas están las técnicas que se utilizan para el manejo adecuado y tratamiento de las aguas servidas o aguas sucias, de las excretas o materia fecal y de los residuos sólidos o basuras; además del fortalecimiento de los hábitos de higiene en la vivienda, la escuela y los demás entornos de la comunidad (OPS, 2006).

Los datos epidemiológicos indican que el saneamiento tiene al menos la misma eficacia en la prevención de las enfermedades que la mejora del abastecimiento de agua. A pesar de la importancia de estos servicios, la tendencia es todavía insatisfactoria debido, entre otras muchas razones, a una falta de implicación gubernamental, a la carencia presupuestaria de los países en vías de desarrollo y al empleo de tecnologías consideradas estándares o convencionales, generalmente caras, poco adecuadas y fuera del alcance de la mayoría de países en vías de desarrollo ( Morató *et al.*, 2006).

### **1.1.5 Procedimiento para elaborar una metodología**

Una metodología, es un conjunto de múltiples pasos para llevar a cabo un complejo proceso, estos resultan ser una poderosa herramienta para la enseñanza y el aprendizaje. (Cleary & Duncan, 1997). A través de estos se logra un mejor entendimiento y comprensión de lo que se busca.

A continuación se explica en detalle la importancia de cada paso a seguir en la elaboración de una metodología propuestos por Smith & De Apple (2009), e identifica cada uno de los



aspectos a tener en cuenta en la apropiación de cada uno. Cabe aclarar que solo se describen los que se usarán en esta investigación.

Paso 1: Definir la dirección.

Antes de empezar a construir una metodología, se debe establecer el alcance del proceso mediante el establecimiento de sus puntos inicial y final. Identificar el propósito y los objetivos del proceso, así como quién se beneficia de ella.

Paso 2: Identificar los temas clave.

Este es uno de los pasos más importantes en la metodología y la que más a menudo se pasa por alto. Se debe tomar el tiempo para identificar de siete a diez cuestiones claves de rendimiento o factores que afectan a la calidad del proceso. A medida que se avanza en el dominio del tema se deberían hacer una serie de interrogantes, entre los cuales se encuentran: ¿Qué es difícil en el proceso? ¿Qué implica un rendimiento de calidad? ¿Qué factores dificultan la calidad del objetivo?

Paso 3: Poner el proceso en su contexto.

El contexto es fundamental, porque el uso del proceso se ve afectado en gran medida por la cultura, los valores y sistemas en los que se va a realizar. A medida que se crea la metodología, es posible que se necesite para expandir o contraer el contexto, pero es importante en este momento para determinar el alcance, límites, y el enfoque del proceso. A menudo, una revisión de las preguntas claves y los objetivos del proceso ayudará a identificar un contexto apropiado.

Paso 4: Establecer criterios.

Con el fin de evaluar la calidad de un rendimiento alcanzado siguiendo la metodología, se tendrá que establecer criterios para el proceso y para sus resultados. Los criterios sirven como una fuerza de guía, así como un medio de enfoque; que ayudan a garantizar que los resultados deseados se han cumplido.



Paso 5: Obtener información.

Antes de continuar, es importante revisar la calidad, cantidad, oportunidad y costo de la información relevante. Si la información esencial para abordar las cuestiones claves del proceso, falta o es de mala calidad, se hace necesario tener tiempo para corregir este problema. Un experto en el tema sería un gran recurso, y más si la persona que está creando la metodología no lo es.

Paso 6: Ordenar el proceso lógicamente.

Ahora se debe organizar el proceso en una metodología siguiendo lógicamente los pasos, añadiendo bucles de retroalimentación si es necesario. En primer lugar, dividir el proceso en etapas, dentro de cada una de ellas, determinar las principales cosas que se deben hacer y cómo puede ser secuenciado con mayor eficacia.

## **1.2 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

El tema del saneamiento básico y agua potable ha sido ampliamente estudiado y con él, las distintas técnicas de selección de soluciones sostenibles, aplicables tanto a centros urbanos como zonas rurales, en especial en estas últimas, las cuales al ser pequeñas y dispersas, dificulta la instalación de servicios básicos, ya que para su adecuado funcionamiento es necesario una determinada cantidad de población, además de la inversión económica que representa su instalación.

Hoy en día, existen diversas metodologías para la toma de decisiones relacionadas con la selección de tecnologías, tanto para saneamiento básico como agua potable. Sin embargo, cada una de estas es aplicable a determinada comunidad teniendo en cuenta su condición y número de habitantes. Varios autores han presentado modelos referentes a esta temática como el propuesto por la Universidad de Oklahoma, el cual se llevó a cabo con el apoyo de organizaciones como la CEPIS, la OMS e instituciones de Europa, Asia y África, entre sus criterios de sostenibilidad abarcan los socioeconómicos, la disponibilidad de recursos locales

Castro A., P. & Muñoz A., M



y calidad del agua (Reid W, 1982). Así mismo, la Universidad de Queensland en Australia, con un programa de computador para la selección de tecnología en saneamiento básico para países desarrollados, teniendo en cuenta tres ámbitos, el técnico, sociocultural y económico (Loetscher & Keller , 1997).

Con el fin de que prevalezca la sostenibilidad en los servicios de agua potable y saneamiento básico la IRC ha planteado dos principios básicos, uno que las comunidades deben participar en la selección de tecnologías desde el principio del proceso y el otro que los planificadores deberían adoptar un enfoque basado en la demanda. Enfocando una serie de factores de importancia general (técnicos, ambiental, institucional, comunidad y de gestión y financieros) cada uno de ellos acompañado por una serie de requerimientos específicos relevantes para O&M (operación y mantenimiento) ( Brikké & Bredero, 2003).

Los anteriores modelos han sido un punto de partida para proponer varias metodologías, considerando como eje central la sostenibilidad, de la mano de temas claves como: financiero, técnico, social, ambiental e institucional, quienes de forma conjunta garantizan el objetivo de ésta. Una de ellas es la propuesta por el CINARA, la cual se basa en seis niveles que actúan como filtro para descartar las tecnologías que no cumplen con las condiciones de sostenibilidad, delimitada para poblaciones entre 500 y 30 000 habitantes y que tiene como limitante su aplicabilidad solo a centros urbanos y poblaciones rurales concentradas dejando sin consideración la dispersión entre las viviendas (Galvis C. & Vargas F., 2010). Por otra parte, con el fin de encontrar soluciones de saneamiento adecuada para los barrios pobres urbanos en Kampala (Uganda), crearon un método de selección de tecnologías y luego de su aplicación en el caso de estudio, se llegó a la conclusión que las opciones de saneamiento básico sostenibles potencialmente viables para Bwaise III fueron: la desviación de orina en sanitarios secos (UDDT) y letrinas de biogás (Katukiza *et al.*, 2010).



Todas las propuestas comparten los siguientes elementos:

1. Enumeran previamente los factores de sostenibilidad.
2. Evalúan cada factor de sostenibilidad.
3. Asignan una calificación según el desempeño particular de cada variable.
4. Permite la comparación de los resultados obtenidos para cada uno de los sistemas evaluados.
5. Son aplicadas a poblaciones o centros nucleados.

Colombia, no es ajena a esta situación, por lo cual, el DNP (1991) presentó criterios para la selección de tecnologías a través de una guía para la preparación y elaboración de proyectos de agua potable y saneamiento básico, para poblaciones entre los 15 mil y 200 mil habitantes. De igual forma, cuenta con un capítulo en el RAS 2010 (título J) el cual se centra en el abastecimiento de agua potable y saneamiento en las comunidades rurales dispersas mediante la implementación de sistemas no convencionales.

Autores como Villegas Paula, Neira Nelson y otros (2009), han resaltado la importancia del planteamiento de criterios, con el fin de hacer más eficiente la soluciones sostenibles seleccionadas, por lo cual proponen una nueva metodología, que proporciona un nuevo modelo conceptual partiendo del planteamiento y priorización de necesidades básicas insatisfechas que la misma población genere, y no desde las necesidades que el grupo de expertos o de entidades financiadoras planteen desde su propia perspectiva y contexto cultural y vivencial, con este fin, elaboraron una nueva herramienta para la toma de decisiones en proyectos de agua potable y saneamiento en comunidades indígenas que se válida para el caso de estudio en el resguardo indígena Nazaret, (Centro indígena Ticuna en el trapecio amazónico colombiano) en el cual, se encontró que el mejor sistema para el tratamiento de agua potable es el filtro de vela con 84% y para el tratamiento de agua residual letrina actual conectada a red de alcantarillado y humedal artificial con 70%.



Las tecnologías sostenibles para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico como herramientas para la disminución de la contaminación ambiental y la optimización de los recursos, son más rentables en su financiación y funcionamiento, es por ellos que se han experimentado en los últimos años, tal es el caso de Honduras, en donde las condiciones forestales, hidrológicas y topográficas presentes y la baja cobertura en el servicio de agua en las comunidades rurales, hicieron necesario la implementación de soluciones innovadoras de provisión y desinfección del agua, de las cuales se presentaron tres tipos de soluciones; el bombeo manual a distancia y la captación de agua de lluvia en cuanto a la provisión de agua y la desinfección solar, como tratamiento alternativo del agua para consumo humano, esto permitió a las familias de dichas comunidades contar con este importante servicio pese a las limitaciones hídricas de la zona (Rivera & Funes, 2003).

La OPS y CEPIS (2005) presentan una recopilación de las opciones más importantes que se emplean en Perú para aportar información que ayude a mejorar las condiciones sanitarias en la población rural. Por lo cual, presentan un listado de las distintas tecnologías aplicables en las comunidades rurales dispersas, que incluye sus ventajas y desventajas. Esto será de gran ayuda para alcanzar el objetivo de esta investigación, debido a que se tendrá como punto de partida una serie de tecnologías aplicables a las CRD.

Así mismo en el título J del RAS (2010) se presentan una serie de alternativas tecnológicas en Agua saneamiento para el sector rural en Colombia ya sea con soluciones colectivas o individuales, dependiendo de la aglomeración o dispersión de las viviendas, esto con el fin de que las autoridades municipales y departamentales y la comunidad identifiquen aquellas que sean aplicables en su territorio y puedan prestar asistencia técnica a la comunidad rural.

Para contribuir a resolver la problemática del abastecimiento de agua de las zonas rurales dispersas en las comunidades de Pocontoy y Orconmarca en la provincia de Andahuaylas, en los Andes del Perú, se construyeron diez tanques de ferrocemento de pequeña capacidad y líneas de conducción de flujo libre, por otro lado, las rivalidades por el agua entre las partes altas y bajas se resolvieron mediante un sistema equitativo de repartición del agua, todo esto fue posible gracias a la participación comunal, durante y después de la ejecución del

Castro A., P. & Muñoz A., M



proyecto, se encontró que gracias a la implementación de estos sistemas no convencionales se mejoró el nivel de servicio, permite abastecer de manera constante y con agua segura a pequeños grupos de casas dispersas e incluso aisladas, de igual forma presentaron una disminución de costos de inversión y O&M debido a la reducción de los tamaños de los tubos y accesorios (Marinof, 2001).

Por su parte, en el ámbito local no se han llevado a cabo investigaciones referentes a la selección de tecnologías sostenibles en CRD. Sin embargo, a nivel institucional, actualmente se está trabajando en el planteamiento de alternativas conceptuales de solución que permitan diseñar un plan de acción para optimizar el manejo de los recursos hídricos que son la fuente principal del suministro de agua para el consumo humano en la comunidad de Emaús, a través de la evaluación y caracterización de los sistemas existentes de abastecimiento. Así mismo, en convenio con la Universidad de Purdue se ha llevado a cabo implementación de filtros lentos de arena como alternativa de potabilización de agua en zonas que carecen de este servicio.

### **1.3 MARCO LEGAL**

Esta investigación está regida por la normatividad vigente a nivel nacional en lo referente a las áreas de agua potable y saneamiento básico. Dentro de ésta se encuentra el reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico (RAS) del año 2010, el cual tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, adecuado funcionamiento, eficiencia, calidad y sostenibilidad; de éste hacen parte: Marco legal, procedimiento general para el desarrollo de proyectos de agua potable y saneamiento básico, identificación y justificación de los proyectos, priorización de proyectos, dirección general de agua potable y saneamiento básico del ministerio de desarrollo económico, requisitos

Castro A., P. & Muñoz A., M



técnicos obligatorios, entre otros; este reglamento está planteado para cumplir lo señalado en la Ley 142 de 1994.

A raíz de la ejecución de los lineamientos establecidos en el acuerdo de paz por el que actualmente atraviesa el país, se expidió el Decreto 890 del 28 de mayo de 2017, por medio del cual el Presidente de la República busca garantizar las condiciones de vida digna a las personas que habitan en el campo, con el acceso a una vivienda rural digna con servicios públicos. Con el fin de lograr la erradicación de la pobreza, el ejercicio pleno de los derechos de la población rural y la convergencia entre la calidad de vida urbana y la calidad de vida rural en el menor tiempo posible. Para alcanzar esto, uno de sus propósitos es promover y aplicar soluciones tecnológicas apropiadas (acueductos veredales y soluciones individuales para garantizar el acceso al agua potable y el manejo de aguas residuales) (Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, 2017).

En materia de agua potable se encuentra el Decreto 475 de 1998, el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007. En el primero se expiden las normas técnicas reguladoras de las actividades relacionadas con la calidad del agua potable para consumo humano, que en virtud de lo dispuesto en su artículo 2º, son de orden público y obligatorio cumplimiento y apuntan al invariable compromiso de que el agua suministrada por quien preste el servicio público de acueducto sea apta para el consumo de los usuarios (Artículo 3º) (Ministerio de Salud Pública, 1998); el segundo tiene por objeto establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada (Ministerio de la Protección Social, 2007) y por último bajo el mismo enfoque en la resolución 1575 de 2007 se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

En lo referente a saneamiento ambiental se tiene el código sanitario nacional, es decir, la Ley 9 de 1979 por la cual establecen las normas generales que servirán de base a las disposiciones



y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana, y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente (Congreso de Colombia, 1979).

Para terminar es importante resaltar la política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural, ya sea concentrada o dispersa, plasmada en el CONPES 3810, que tiene como objetivo promover el acceso de los servicios mencionados en las zonas rurales de Colombia, a través de soluciones que sean acordes con las características de dichas áreas y que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural (Departamento Nacional de Planeación, 2014).



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología para la selección de técnicas sostenibles para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales dispersas teniendo en cuenta sus características culturales, ambientales y económicas, con el fin de proporcionar una herramienta que permita una buena implementación de estas tecnologías para que sean compatibles con este tipo de poblaciones, con aplicación al estudio de caso en la Vereda La Pita (Corregimiento de Lázaro, Carmen de Bolívar).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir cada una de las tecnologías sostenibles disponibles para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales dispersas.
- Establecer variables o indicadores para la selección de tecnologías sostenibles en comunidades dispersas para los siguientes criterios: ambiental, socio-cultural, técnico, económico e institucional.
- Elegir los factores aplicados en la elaboración de las diversas metodologías existentes que puedan ser implementados en una nueva metodología para comunidades dispersas.
- Seleccionar la mejor tecnología sostenible para el abastecimiento de agua potable y así mismo para el saneamiento básico aplicando la metodología propuesta, con el fin de que cumpla con los requerimientos y necesidades del estudio de caso en la Vereda La Pita.



### 3 ALCANCE

Como resultado del presente proyecto de investigación se contempló la formulación de una metodología clara y concisa aplicable para la selección de alternativas sostenibles para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales dispersas, la cual fue aplicada al caso de estudio de la vereda La Pita.

Para llevar a cabo lo mencionado anteriormente, en primera instancia se sugiere un listado de todas aquellas tecnologías aplicables a CRD, destacando sus ventajas y desventajas en cuanto a calidad y eficiencia de los servicios mencionados. Cabe aclarar, que este conjunto de técnicas corresponden a sistemas no convencionales, ya que son las más adaptables a los requerimientos y necesidades de este tipo de comunidades. Posteriormente se definieron los indicadores o variables concernientes a cada criterio considerado para garantizar la sostenibilidad de los sistemas. Esto se hizo a partir de la información secundaria recopilada durante el proceso de revisión bibliográfica.

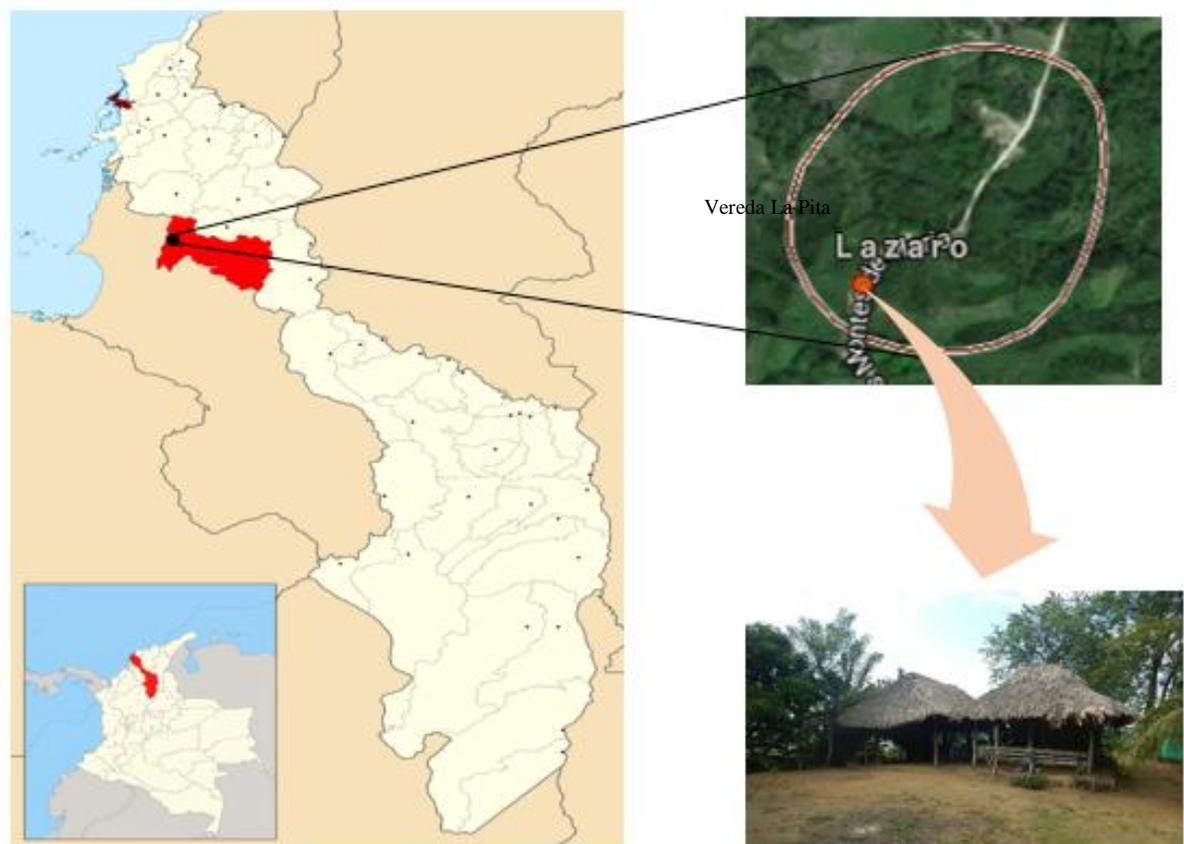
Es menester aclarar, que la implementación de esta metodología pone en consideración aspectos generales y básicos para la determinación de las distintas alternativas, sin ser necesario recurrir a cálculos y ensayos complejos, por lo cual se sugieren métodos prácticos de aplicar en la zona de estudio.

Para la aplicación al caso de estudio, se seleccionó una alternativa solución para cada servicio acorde a las características de la fuente, demanda, capacidad económica, condición socio-cultural, recursos disponibles y características de la zona; estas fueron planteadas a partir de la aplicación de la metodología propuesta. Cabe aclarar, que solo se presentó una solución conceptual al problema planteado y no propiamente un diseño técnico, esta incluye una propuesta con la mejor alternativa sostenible para agua potable y saneamiento para esta población, junto con recomendaciones e indicaciones de diseño.



La Pita es una vereda perteneciente al corregimiento de Lázaro (Municipio del Carmen) en el departamento de Bolívar, se encuentra ubicada en la alta montaña de los Montes de María (Ver **Figura 1**), con una población aproximada de 240 personas distribuidas en 60 familias. Su terreno es ondulado y está a 28 kilómetros ingresando por el Carmen de Bolívar y a 18 kilómetros ingresando por el corregimiento de Chinulito (Toluviejo – Sucre).

**Figura 1.** Ubicación geográfica de La Pita.



*Fuente: Adaptado de Google Earth.*

Esta investigación contó con un tiempo aproximado de cuatro meses, para llevarse a cabo, comprendido durante el primer semestre del año 2017. En este periodo de tiempo se cumplieron a cabalidad los objetivos propuestos, sin ningún tipo de imprevistos.

Castro A., P. & Muñoz A., M



Vale la pena resaltar que en esta investigación no se tuvieron variables dependientes e independientes por el tipo de investigación que se manejó (No experimental).

Las limitaciones más relevantes predichas en la propuesta de esta investigación fueron de carácter económico, temporal y espacial, puesto a que se requería de una alta inversión asociada a las salidas de campo. Además, el tiempo de ejecución del proyecto fue relativamente corto para la realización de tales visitas y análisis de información de las mismas. En cuanto a las limitaciones espaciales se tuvo la nula información censal de la vereda, por tanto para el cálculo de la población futura se recurrió a la información suministrada por los pobladores; estas también se manifestaron en el acceso a la población y el recorrido a las viviendas debido a su condición topográfica.

Finalmente, se puede afirmar que esta investigación busca sentar bases para próximas investigaciones asociadas a la formulación de metodologías para la selección de alternativas sostenibles que permitan mejorar las condiciones de las poblaciones dispersas, las cuales resultan ser vulneradas por la carencia de servicios básicos como el agua potable y el saneamiento. Además, que este modelo puede ser aplicado en este tipo de comunidades tanto a nivel nacional como internacional.



## 4 METODOLOGÍA

Esta investigación tuvo un enfoque mixto, conformado de manera conjunta por uno cuantitativo y otro cualitativo (Hernández. *et al.*, 2006), debido a que la información obtenida requirió de un análisis de sostenibilidad de las distintas tecnologías comprendidas en este estudio para así, brindar una visión amplia e integral de los servicios de agua y saneamiento básico en comunidades dispersas. Teniendo en cuenta como etapa cualitativa el análisis de la información recopilada ligada al tema de investigación, que incluye características generales e implementación de las distintas tecnologías sustentables de agua potable y saneamiento, así como la revisión de las metodologías existentes. De igual forma, se empleó en la obtención de información suministrada por la comunidad objeto de estudio mediante la aplicación de encuestas y entrevistas. Por su parte, el enfoque cuantitativo se aplica en la asignación de puntajes o pesos a cada una de las variables o indicadores, en la evaluación de los distintos criterios de la sostenibilidad considerados en este estudio, para dar solución a la problemática planteada inicialmente.

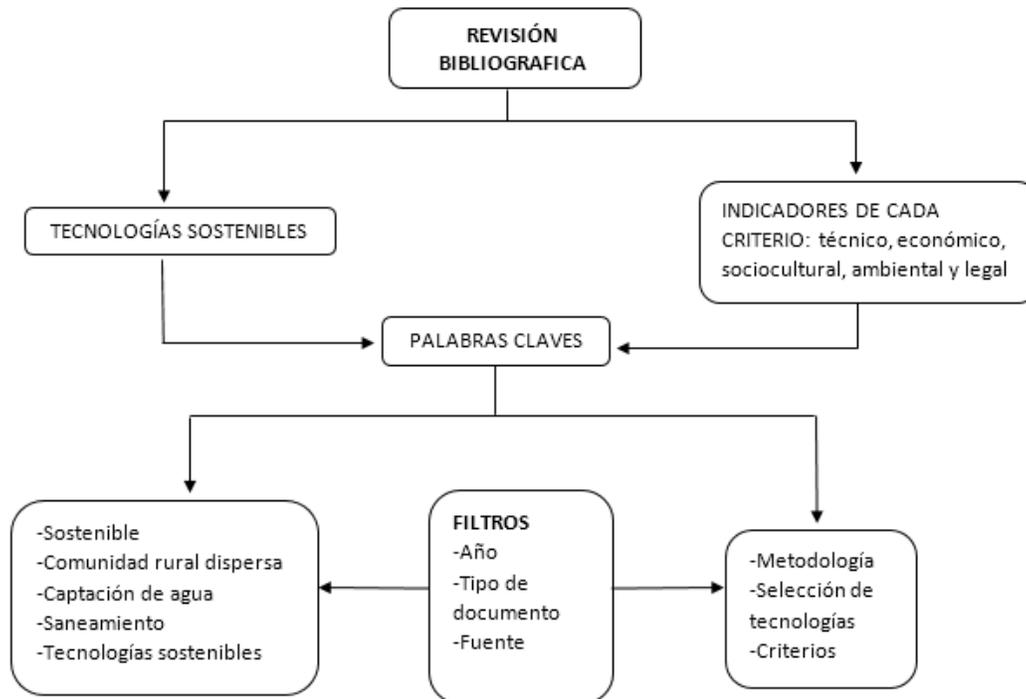
El alcance de este trabajo de investigación fue de tipo descriptivo y propositivo, puesto que se proponen y a la vez se especifican los pasos a seguir en la metodología para la selección de tecnologías sostenibles para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales dispersas.

Como en toda investigación se hizo necesaria la búsqueda minuciosa de la bibliografía, en este caso estuvo relacionada con las diversas tecnologías sostenibles en el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales dispersas y a su vez con las variables consideradas para la selección de éstas en cada uno de los criterios que abarca la sostenibilidad, los cuales son: Ambiental, socio-cultural, técnico y económico. Para ello, se partió de la apropiación de términos claves, como sostenibilidad, comunidad rural dispersa, captación de agua, saneamiento, tecnologías sostenibles, entre otros, con el fin de reconocer el marco dentro del cual se realizó la caracterización de los componentes incluidos y previstos



en los sistemas de los servicios básicos mencionados anteriormente. En la **Figura 2** se muestra el esquema del proceso seguido para la revisión bibliográfica en esta investigación.

**Figura 2.** Proceso de búsqueda para la revisión bibliográfica.



De igual manera, se hizo una revisión bibliográfica de antecedentes, estado del arte y casos de estudios, esto comprendió todas las actividades relacionadas con la búsqueda de información escrita sobre las técnicas sostenibles y las distintas variables que enmarcan cada uno de los criterios que garantizan la sostenibilidad; se reunieron los indicadores suficientes para discutir críticamente. Esto se llevó a cabo a través de la búsqueda constante en bases de datos, sitios web y libros dentro del marco internacional, con el fin de identificar todos aquellos aspectos aplicables a la investigación que se va a emprender.

Para la indagación en las bases de datos se hizo necesario iniciar empleando las siguientes palabras claves: *sustainability*, *dispersed populations*, *potable water*, *basic sanitation*,



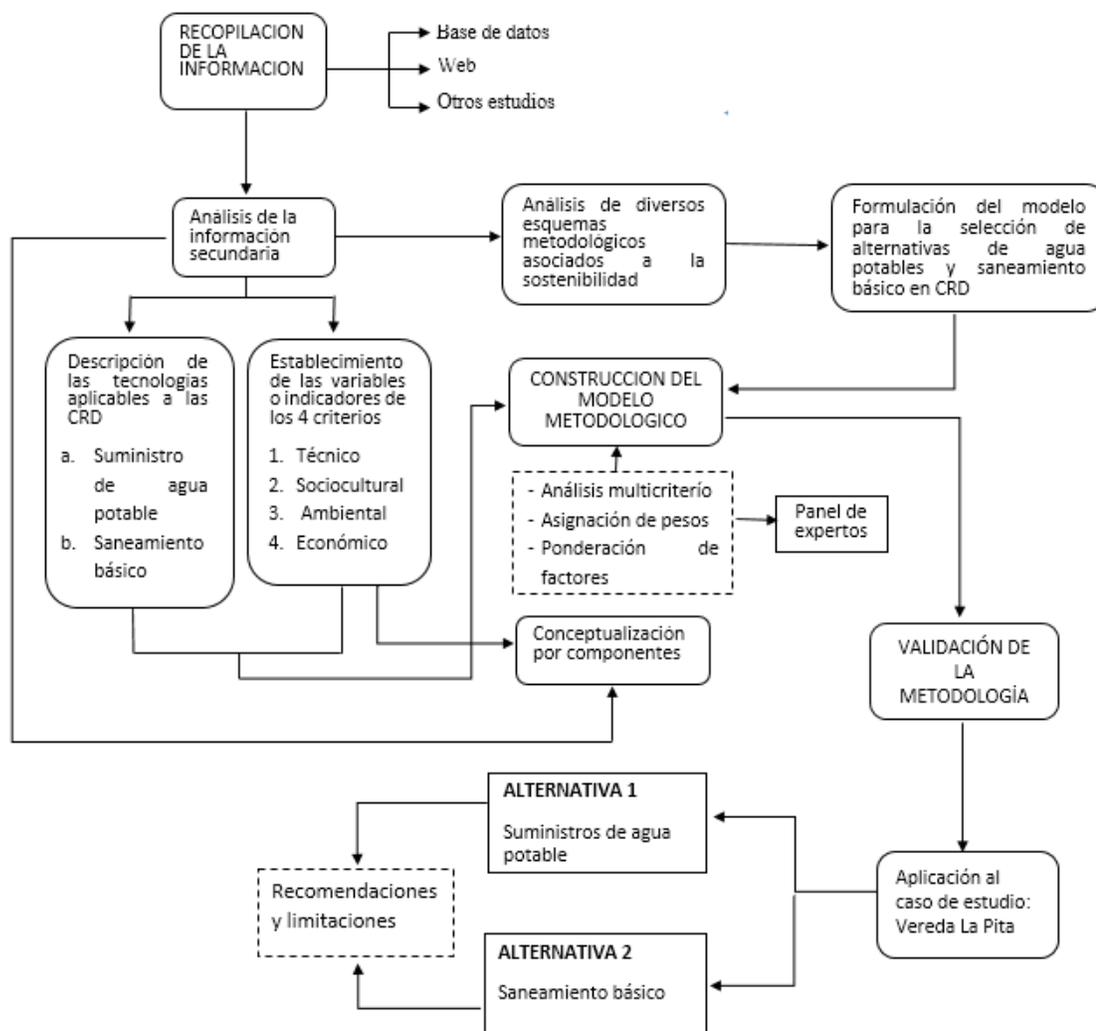
*standard, selecting technology, methodology*, a esto hay que sumarle la aplicación de algunos filtros como el año, el tipo de documento y la fuente, para restringir la búsqueda y preveer que la información fuese lo más apropiada según los objetivos plasmados.

Teniendo en cuenta que está investigación consta en su mayoría del análisis de información secundaria, se hizo una selección de todos aquellos documentos que de una u otra manera contribuyeron al desarrollo de la misma, resaltando sus autores, año de publicación, objetivo principal y otros encontrados a partir de la revisión bibliográfica realizada acerca de los antecedentes, estado de arte y casos de estudio de las tecnologías existentes para agua potable y saneamiento básico que pueden ser aplicadas en CRD, así como del uso de variables e indicadores en cada uno de los criterios de sostenibilidad considerados en metodologías existentes. Esta selección se hizo con base a criterios personales de los investigadores acorde a la revisión bibliográfica, sin embargo, inicialmente se hizo una depuración a partir términos claves, excluidos y términos relacionados durante la búsqueda en sitios web y otras fuentes de información, como se indica en el capítulo anterior. Una vez recopilados todos los posibles documentos a utilizar, se hizo uso de fichas bibliográficas, para facilitar la identificación y entendimiento de los mismos y su búsqueda en ocasiones posteriores, lo cual se presentan en el **Anexo 1**.

La **Figura 3** presenta el esquema de la metodología empleada para el desarrollo del proyecto.



Figura 3. Esquema de la metodología empleada para el desarrollo del proyecto.



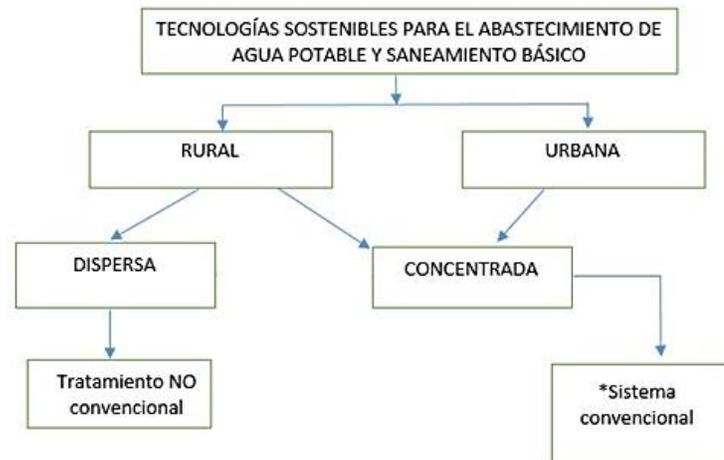
#### 4.1 SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS APLICABLES A COMUNIDADES RURALES DISPERSAS.

Para el desarrollo de este ítem se hizo prescindible contar con la información de la etapa anterior, a partir de la cual se escogieron las tecnologías aplicables y óptimas para comunidades dispersas y se descartaron aquellas que no cumplieran con este aspecto, esto facilitó el objetivo trazado en esta investigación. En la **Figura 4** se presenta a manera de



secuencia la forma de elección de dichas tecnologías, pretendiendo que estas fuesen las más adecuadas.

Figura 4. Criterios de selección de tecnologías para comunidades dispersas.



Las tecnologías seleccionadas, se organizaron en cuadros, resaltando sus ventajas y desventajas, con el fin de sintetizar, evaluar y realizar un análisis comparativo entre ellas, de acuerdo a su uso y aplicabilidad en las comunidades rurales dispersas.

#### 4.2 ESTABLECIMIENTO DE VARIABLES O INDICADORES PARA LA SELECCIÓN DE LAS TECNOLOGIAS APLICABLES A CRD

En esta fase se tuvo en cuenta el desarrollo sostenible con un enfoque integrado, utilizando un marco conceptual conformado por indicadores que consideran las cuatro dimensiones básicas de la sostenibilidad: Ambiental, socio-cultural, económico y técnico, todos estos acordes al ámbito legal, normativo y reglamentario vigente. Para el establecimiento de los mismos se tuvo como punto de partida los empleados por las metodologías del CINARA, la IRC y otras fuentes consultadas en la etapa de recopilación de la información, referentes a los criterios fundamentales de la sostenibilidad en una tecnología o sistemas de agua potable o saneamiento básico.



Basados en ellos, se escogieron indicadores con mayor énfasis en la literatura y todos los directamente asociados al proceso de generación y selección de las distintas alternativas de los dos servicios en cuestión, estos se encuentran detallados en el subcapítulo 5.2

#### **4.3 REVISIÓN DE LAS METODOLOGÍAS EXISTENTES Y CONSTRUCCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EN CRD.**

En esta fase se desarrolló un proceso metodológico coherente, sistemático y conciso, que facilitó la selección de tecnologías sostenibles en comunidades rurales dispersas para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico, a partir de la documentación de estudios de casos nacionales e internacionales relacionados con esto. Como línea base en la construcción del mismo, se tomaron las distintas metodologías existentes, entre ellas la propuesta por el CINARA, en su línea de investigación encaminada a agua potable y saneamiento. Con el fin de elegir los factores o procesos que ayudaron en el desarrollo de este proceso de formulación de la nueva metodología. En el **Anexo 1** se exponen los principales documentos encontrados asociados a modelos metodológicos para la evaluación de la sostenibilidad o en la selección de tecnologías ya sea para agua potable o saneamiento.

Después de analizar y revisar la información anterior, se prosiguió con la elaboración de la nueva metodología partiendo de los distintos indicadores o variables enfocadas dentro de lo ambiental, social-cultural, institucional, técnico y económico, que permita seleccionar la tecnología sostenible más acertada para cubrir las necesidades en cuanto a los servicios estudiados. Estos se evaluaron en la medida en que se fue aplicando dicha metodología.

Para la organización de este proceso se formularon una serie de bloques que permiten estudiar aspectos (que varían de acuerdo al servicio) como tipo de fuente, características de la zona, calidad y disponibilidad de agua, de manera que permiten ir planteando las distintas alternativas posibles para el suministro de agua potable y saneamiento básico. Para la toma de decisiones se recurrió al método de ponderación de factores, usado para la selección de la



técnica de captación y el tratamiento de agua o para la selección del tipo de tratamiento de las aguas residuales.

Definido el propósito a alcanzar, es importante aclarar que el principal limitante fue la dispersión de las viviendas en las comunidades estudiadas y por ello, se enfocó el estudio dentro de los elementos de sostenibilidad que se muestran en la **Figura 5**.

**Figura 5.** Elementos que construyen la sostenibilidad.



*Fuente (Falck, Mayra; Sanders, Arie; Zelaya, Rosa, 2004)*

Se necesitó la ayuda de varios expertos en el área para la revisión y evaluación de cada uno de los pasos descritos anteriormente, donde determinen observaciones, sugerencias, mejoras y/o criterios que considere pertinentes; con el fin de garantizar la calidad del trabajo final y a la vez dar solidez al mismo.



Todo este proceso, se presenta esquematizado por medio de diagramas, con el fin de facilitar el entendimiento y comprensión del mismo. Estos están formados por bloques que indican los pasos a seguir para la selección de tecnologías para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico aplicables a comunidades rurales dispersas.

#### **4.3.1 Consulta a expertos**

Se consultaron cinco expertos con conocimientos asociados a la investigación, como lo son los ingenieros Javier Mouthon (PhD), Edgar Quiñones (PhD), Alfonso Arrieta (PhD), Ciro Bustillo (PhD) y Ramón Andrade, esto con el propósito de darles peso a los indicadores planteados por los investigadores, de acuerdo a la importancia que estos consideraron dentro de cada criterio de sostenibilidad asociado (técnico, sociocultural, ambiental y económico). De igual forma, se recibió la asesoría de éstos en la formulación de la metodología y aquellos factores que pudiesen ser tenidos en cuenta durante su aplicación.

#### **4.4 APLICACIÓN AL CASO DE ESTUDIO**

Basados en el modelo metodológico propuesto en esta investigación y con el fin de realizar su validación se procedió a su aplicación al caso de estudio en la Vereda La Pita, teniendo en cuenta sus características.

En esta etapa se identificaron aspectos claves como las fuentes de agua disponibles, los recursos económicos de la población, así mismo se hizo un reconocimiento de la zona, entrevistas y encuestas que permitieron hacer una valoración de los componentes social, técnica, ambiental y económica.



#### 4.4.1 Recorrido de campo, encuesta y entrevista

Para esta parte se realizaron tres visitas de campo, los días 08 de marzo, 30 de abril y 01 de mayo del año en curso, durante las cuales se aplicaron encuestas a una muestra de 28 familias, con el fin de conocer el nivel educativo, las fuentes de ingresos, estado de las viviendas, así como las condiciones de vida de la población y el estado de los servicios de agua potable y saneamiento, de igual forma permitió conocer las fuentes de captación y sitios de almacenamiento del agua, disposición de heces fecales y tratamiento de las mismas en caso de tenerlos, entre otros aspectos y de esta manera se pudieron identificar los recursos disponibles. El formato de la encuesta aplicado a la comunidad se encuentra en el **Anexo 2**.

A su vez se entrevistaron a líderes de la comunidad como la señora Ena Luz Canoles presidenta de la junta de acción comunal, el señor José líder comunitario y la señora Beatriz García, las cuales aportaron datos e información valiosa para el desarrollo de la presente investigación. Esto se puede evidenciar en la **Figura 6**.

En la **Figura 7** se muestra el momento en el que se informó a la comunidad acerca del estudio a realizar, así como las encuestas realizadas.

**Figura 6.** Entrevista a miembros de la comunidad



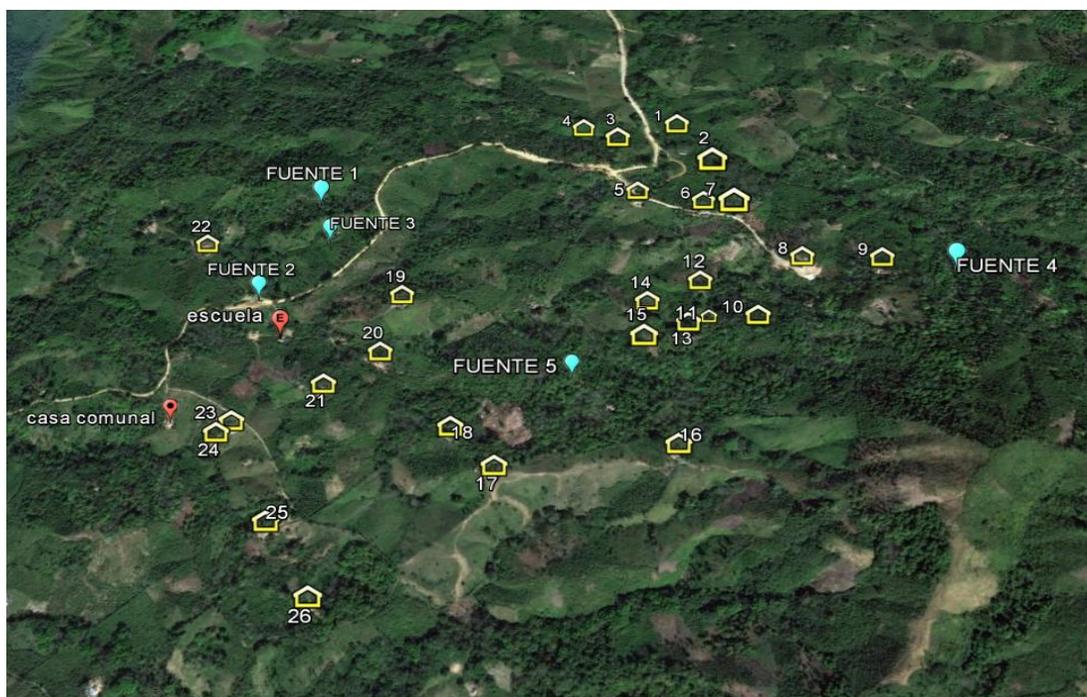


**Figura 7.** Socialización con la comunidad acerca del proyecto.



Con ayuda de unos GPS Garmin VISTA HCx se localizaron las fuentes de agua disponibles en la zona, así como gran parte de las viviendas de la zona y puntos estratégicos como la sede de la junta de acción comunal y la escuela. Tal información se muestra en la **Figura 8**

**Figura 8.** Ubicación geográfica de las fuentes de agua, viviendas y puntos estratégicos.





Por otra parte, se visitaron cada uno de los puntos de abastecimiento indicados y se tomaron dos muestras de cada uno con la finalidad de evaluar su calidad, para ello se fue directamente al sitio de captación. Este proceso se evidencia en la **Figura 9** .

**Figura 9.** Toma de muestras en las fuentes 1 y 4.



#### 4.4.2 Planteamiento de alternativas

Con la información recolectada del caso de estudio y la aplicación de la nueva metodología se le dio una solución conceptual al problema planteado, la cual incluye la presentación de la mejor alternativa sostenible en agua potable y saneamiento básico para esta población junto con recomendaciones e indicaciones de diseño, con el fin de que se pueda implementar en un futuro por terceros.



## 5 RESULTADOS

Este capítulo contiene los resultados y su análisis detallado, obtenidos luego de tomar como punto de partida la revisión bibliográfica realizada y el desarrollo del procedimiento descrito en el capítulo anterior, para así crear la metodología que permite seleccionar la mejor alternativa para el suministro de agua potable y saneamiento básico en una comunidad rural dispersa.

Este consta de cuatro etapas, la primera concerniente a la descripción de cada una de las tecnologías aplicables a CRD, la segunda comprende el análisis de los distintos indicadores que enmarcan cada uno de los cuatro criterios de sostenibilidad considerados en esta investigación, una tercera en la que se plantea la metodología basado en otros modelos y finalmente se hace la validación de la metodología propuesta aplicándola al caso de estudio. Las dos primeras actuaron como puntos de partida para lograr el objetivo general de esta investigación y se fundamentaron en los planteamientos realizados por otros autores.

Se encontró que en su mayoría estos temas han sido estudiados por agentes u organizaciones nacionales e internacionales multilaterales interesadas en temas de índole sanitaria (agua potable y saneamiento básico), especialmente en aquellas poblaciones donde el gobierno no hace presencia, o por menos no con la misma intensidad que en las ciudades, como CEPIS, OMS, OPS/COSUDE, IRC, CINARA, BID, entre otros.

### 5.1 TECNOLOGÍAS APLICABLES PARA COMUNIDADES RURALES DISPERSAS

En esta etapa se presentan todos aquellos resultados producto del análisis y la selección de información acerca de las distintas alternativas tecnológicas para el suministro de agua potable y saneamiento básico aplicables a comunidades rurales dispersas, resaltando la ventajas y desventajas para su implementación en este tipo de poblaciones y de este modo facilitar el acceso de la información de la temática, haciendo una compilación de todas aquellas opciones técnicas sencillas y de bajo costo, implementadas en los últimos años en



comunidades rurales a nivel mundial. De esta manera, servir como una guía para el reconocimiento y entendimiento de las técnicas existentes sostenibles para CRD.

Las fuentes de información empleadas presentan un sin número de tecnologías para comunidades rurales, en los que se detallan aspectos como la fuente, componentes técnicos, nivel de servicio, costos, simplicidad, funcionamiento(O&M), características y otros. Desarrollándose estos con mayor profundidad en unas más que otras. Pero en esta investigación sólo se presentarán algunas, aquellas que resultan ser más sencillas y fáciles de implementar en comunidades rurales.

Este análisis se hizo con el fin de lograr una descripción integral de las tecnologías, para poder facilitar la evaluación de las mismas según los planteamientos dados en esta investigación. Esto se presenta a continuación, para lo cual se discriminaron según el tipo de servicio a satisfacer.

### **5.1.1 Tecnologías para el suministro de agua potable**

Las tecnologías aquí expuestas se resumieron en dos grupos; uno correspondiente a la captación y otro al tratamiento, esto a partir del tipo de fuente de abastecimiento necesario para su funcionamiento.

Es importante resaltar que este estudio se centró especialmente en sistemas no convencionales, puesto que la implementación de soluciones tradicionales usualmente se hacen complejas, al requerir cierta cantidad de población para su ejecución, así como altos costos de inversión y mantenimiento (Cadavil Giraldo, 2008). Además, para su instalación se requieren de una serie de trazados topográficos para establecer sus redes, lo cual se dificultan por las considerables distancias entre las viviendas y por lo abrupto del terreno.



### 5.1.1.1 Tecnologías para la captación

En esta sección se encuentran consignadas en los **Cuadro 1** algunas de las tecnologías que van a permitir el proceso de captación del agua, las cuales hacen alusión a las obras civiles y equipos electromecánicos que se utilizan para reunir y disponer adecuadamente del agua superficial, subterránea o pluvial. Dichas obras varían de acuerdo con la naturaleza de la fuente de abastecimiento su localización y magnitud (OPS & CEPIS, 2004).

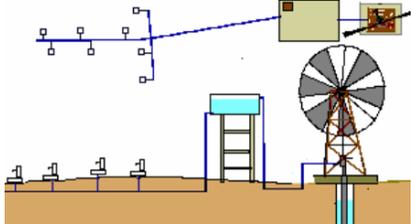
#### A) AGUA SUBTERRÁNEA

**Cuadro 1.** Técnicas para la captación de aguas subterráneas.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Bombas Manuales</b></p>  <p><b>Figura 10.</b> Esquema de una bomba manual.</p> <p><i>Fuente: (OPS, 2009)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Costo inicial bajo</li><li>- Operación fácil</li><li>- Uso de recursos locales</li><li>- No produce emisiones a la atmosfera ni genera residuos</li><li>- No requiere energía</li><li>- Su construcción es rápida</li><li>- La comunidad puede operarlo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mantenimiento de dificultad moderada</li><li>- Los repuestos en la mayoría de los casos son difíciles de conseguir</li><li>- Agua expuesta a contaminación por acarreo, almacenamiento y manipulación.</li><li>- Factible en lugares donde la fuente está cercana a la población.</li></ul>

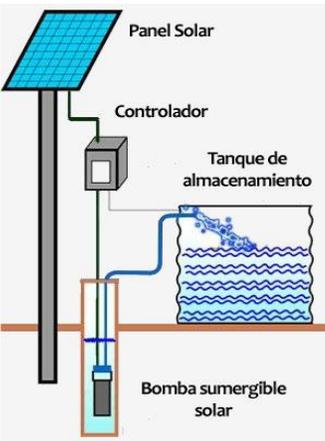


\*Continuación Cuadro 1. Técnicas para la captación de aguas subterráneas.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Bombas con Energía Eólica</b></p>  <p><b>Figura 11.</b> Esquema de una bomba con energía eólica.</p> <p><i>Fuente: (OPS, 2006)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forma más sencilla y económica para hacer llegar el agua a las regiones agrarias aisladas de la red eléctrica.</li> <li>-Reducción del consumo de combustible.</li> <li>- Es ecológico, no emite contaminación.</li> <li>- El mantenimiento resulta poco costoso</li> <li>-Los habitantes pueden intervenir en su construcción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son voluminosos, poco estéticos y pueden ser ruidosos.</li> <li>- Su precio puede ser elevado.</li> <li>- Solo funcionan si hay viento suficiente</li> <li>- Se desaconseja utilizarlos si la perforación tiene una profundidad superior a los 30 m.</li> </ul>
<p><b>Motobombas</b></p>  <p><b>Figura 12.</b> Uso de una motobomba en la captación de agua subterránea.</p> <p><i>Fuente: (Hidroterm, 2016)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apta para comunidades que no cuentan con energía eléctrica.</li> <li>- Tienen un tanque de capacidad que permite un gran volumen de descarga por hora.</li> <li>- El motor no requieren mantenimiento riguroso.</li> <li>- Es de fácil operación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alimentadas por gasolina u otro tipo de combustible.</li> <li>- Hacen considerable ruido durante su accionamiento.</li> <li>- Suele ser costosa por el uso constante de combustible.</li> </ul>



\*Continuación Cuadro 1. Técnicas para la captación de aguas subterráneas.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p data-bbox="380 384 586 415"><b>Electrobombas</b></p>  <p data-bbox="285 772 682 827"><b>Figura 13.</b> Uso de una electrobomba en la captación de agua</p> <p data-bbox="342 846 625 877">Fuente: (Hidroterm, 2016)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De fácil manejo</li> <li>- Facilita el trabajo de los operarios y aumenta su productividad.</li> <li>- No requieren de mucho mantenimiento, siendo más rentables a largo plazo.</li> <li>- Su nivel de ruido suele ser más bajo que el de las motobombas.</li> <li>- Es fácil de operar y se puede instalar por parte de los pobladores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deben estar conectadas a un tomacorriente o se cargan</li> <li>- La inversión inicial es moderada.</li> <li>- Su adquisición no se da en centros rurales.</li> <li>- Alto consumo de energía y por ende su operación y mantenimiento suele ser costosa y no muy amigable con el medio ambiente.</li> </ul>
<p data-bbox="375 1043 591 1075"><b>Bombas Solares</b></p>  <p data-bbox="282 1568 688 1623"><b>Figura 14.</b> Esquema de un sistema de bombeo con energía solar</p> <p data-bbox="342 1654 625 1686">Fuente: (Flicoteaux, 2015)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usa energía gratuita, limpia, renovable y no emite gases contaminantes a la atmosfera.</li> <li>-No requiere suministro de gasolina o diésel (ACPM).</li> <li>- Opera silenciosamente y es prácticamente libre de mantenimiento (gastos nulos).</li> <li>- Tiene unos costes de mantenimiento reducidos.</li> <li>- Es bastante simple y no requiere baterías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La inversión inicial es alta debido a los costos de los paneles fotovoltaicos.</li> <li>-Es necesario un tanque de almacenamiento para tener agua disponible los días de poco o nula radiación solar.</li> <li>-Requiere la intervención de especialistas, que siguen siendo escasos.</li> </ul>

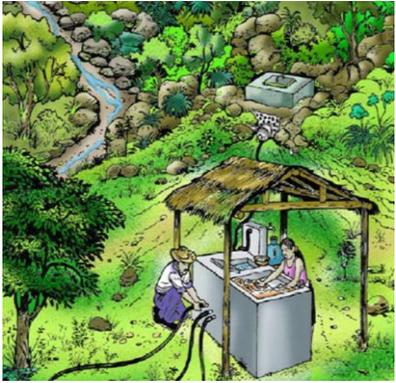
Adaptado de RAS (2010), OPS (2005,2006), Hidroterm (2016) y Flicoteaux (2015).

Castro A., P. & Muñoz A., M



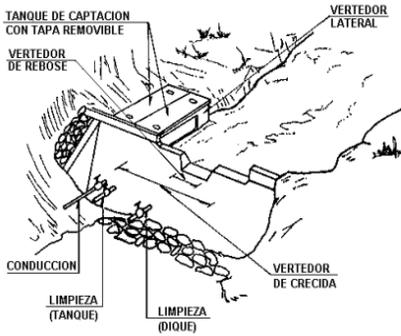
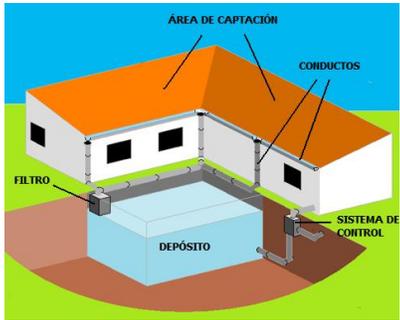
## B) AGUAS SUPERFICIALES Y PLUVIALES

**Cuadro 2.** Técnicas para la captación de aguas superficiales y pluviales.

TECNOLOGIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Protección de Fuentes</b></p>  <p><b>Figura 15.</b> Esquema de la protección de un manantial.</p> <p><i>Fuente: (MDG-F, 2011)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La construcción suele ser fácil y sencilla de hacer por los mismos pobladores.</li> <li>- El mantenimiento es sencillo si se brinda una adecuada capacitación.</li> <li>- No requiere de gran inversión ya que algunos materiales pueden ser de la misma zona y la mano de obra es de la comunidad. .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede generar conformismo en la población.</li> <li>- Contaminación por transporte, almacenamiento o acarreo por ser de servicio multifamiliar.</li> <li>- Racionamiento del servicio por el bajo rendimiento.</li> </ul>
<p><b>Captación directa por bombeo- Ariete hidráulico</b></p>  <p><b>Figura 16.</b> Esquema de un ariete hidráulico</p> <p><i>Fuente: (Centro Las Gaviotas, 2017)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducida mano de obra especializada.</li> <li>- No requiere de personal para su operación.</li> <li>- Es un implemento de gran confiabilidad que requiere un mínimo de mantenimiento.</li> <li>- No requiere de energía eléctrica o combustible</li> <li>- El equipo es de bajo costo.</li> <li>- El mantenimiento del aparato es casi nulo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo de instalación superior al valor de compra del mismo.</li> <li>- Requiere de un desnivel de trabajo mínimo de 20cm y de una cantidad de agua suficiente para impulsarlo.</li> </ul>



\*Continuación Cuadro 2. Técnicas para la captación de aguas superficiales y pluviales.

TECNOLOGIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p style="text-align: center;"><b>Vertedero lateral</b></p>  <p><b>Figura 17.</b> Captación a través de un vertedero lateral.</p> <p><i>Fuente: (Valdez, 2013)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La toma no necesita energía.</li> <li>- Los materiales son fáciles de conseguir.</li> <li>- Es la más usada cuando se va a captar agua de un río.</li> <li>- La comunidad puede colaborar en su construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deber ser empleado en ríos de caudal limitado.</li> <li>- Su diseño requiere de personal especializado.</li> <li>- El costo se hace elevado en la construcción de todos sus elementos constituyentes.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Captación De Agua Lluvia Por Cubiertas</b></p>  <p><b>Figura 18.</b> Esquema de la recolección de agua lluvia.</p> <p><i>Fuente: (López, 2013)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La calidad fisicoquímica del agua de lluvia es bastante alta.</li> <li>- Generalmente estos sistemas son independientes.</li> <li>- La mano de obra y los materiales pueden ser conseguidos localmente.</li> <li>- Fácil mantenimiento y operación.</li> <li>- No requiere de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El costo inicial es alto poniendo en riesgo la implementación por parte de las familias de bajos recursos.</li> <li>- La cantidad que es captada siempre depende de la intensidad de la precipitación y el área de captación por ello se hace necesario el almacenamiento</li> </ul>



\*Continuación Cuadro 2. Técnicas para la captación de aguas superficiales y pluviales.

TECNOLOGIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Captación de Agua de Niebla</b></p>  <p><b>Figura 19.</b> Captación de agua de niebla</p> <p><i>Fuente: (OPS,2006)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- De fácil construcción y montaje sobre el sitio.</li><li>- No se requiere de energía. - El mantenimiento y exigencias de reparación son generalmente mínimos.</li><li>- La inversión de capital y otros gastos son bajos en comparación con aquellas con fuentes convencionales, sobre todo en regiones montañosas.</li><li>- Se requiere de mucha participación de los pobladores para su implementación y mantenimiento.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Si la captación no está cerca del punto de empleo, la tubería de conducción del agua puede ser muy costoso.</li><li>- La tecnología es muy sensible a cambios de las condiciones climáticas que podrían afectar el contenido de agua y la frecuencia de presencia (acontecimiento) de nieblas.</li></ul>

*Adaptado de OPS (2006,2005), Valdez (2013), RAS (2010), OPS & CEPIS (2005) y Centro Las Gaviotas(2017).*

\*Para la captación de este tipo de fuentes también entran las motobombas y electrobombas, las cuales se han descrito con anterioridad al ser estas aplicables para la captación de agua subterránea.

### 5.1.1.2 Tecnologías para el tratamiento

Esta sección contiene diversos métodos que se pueden utilizar para mejorar la calidad del agua, poniendo especial atención en la desinfección porque en zonas rurales es, en muchos casos, el único tratamiento que recibe el agua de consumo, además de los problemas que ocasionan los contaminantes inorgánicos (metales pesados), debido a que es el grupo que más dificultades puede presentar, y en donde los métodos convencionales de tratamiento no

Castro A., P. & Muñoz A., M



son efectivos en todos los casos o requieren de una gran capacidad técnica y económica (OPS & CEPIS, 2005).

#### A) AGUAS SUBTERRANEAS

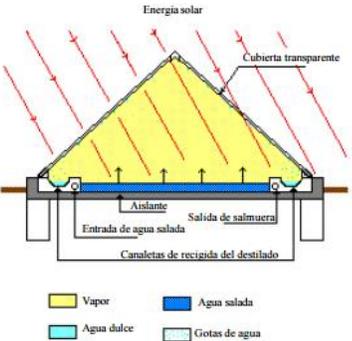
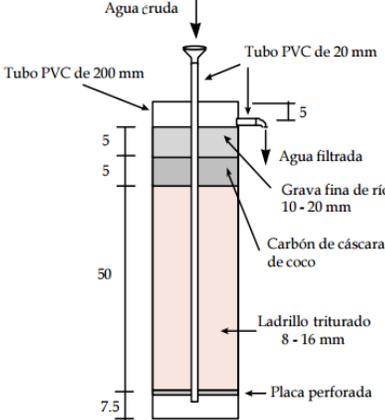
La mayor parte de las aguas subterráneas tienen presencia de sales disueltas, causantes de problemas como dureza y salinidad. Otras sustancias o elementos frecuentemente presentes en las aguas subterráneas son: sulfatos, nitratos, hierro y manganeso, arsénico y flúor (González H *et al.*, 2014).

El tratamiento de aguas subterráneas con presencia de Hierro y Manganeso, es complejo y depende de la secuencia de diferentes procesos, los cuales están asociados a la valencia del elemento y su asociación con otros compuestos, por consiguiente es importante seleccionar uno o más procesos de tratamiento, para que la remoción sea eficiente. (AWWA, 2002).

Los tratamientos que se describen en el **Cuadro 3** son para bajar las concentraciones de algunas de las sustancias mencionadas anteriormente.

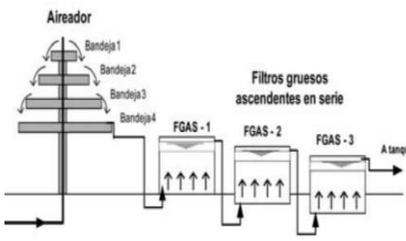


**Cuadro 3.** Tecnologías para el tratamiento de potabilización de aguas subterráneas.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p style="text-align: center;"><b>Destilador solar</b></p> <p style="text-align: center;">(Para la remoción de salinidad: Cloruros, sodio y potasio)</p>  <p style="text-align: center;"><b>Figura 20.</b> Destilador solar tipo caseta.</p> <p style="text-align: center;"><i>Fuente: González H. et al. , 2014</i></p>	<p>-Es uno de los métodos más sencillos y eficaces para remoción de salinidad.</p> <p>-Pueden producir hasta 5 litros/día -m<sup>2</sup></p> <p>-Su construcción implica materiales locales, por lo cual su costo es bajo. Las tareas de limpieza y mantenimiento del mismo pueden ser realizados una vez por mes, empleando no más de 10 minutos.</p>	<p>-Su rendimiento está en función de la intensidad solar, es más eficiente en regiones cálidas y soleadas.</p> <p>-Requieren bastante mano de obra en la instalación en el caso de grandes plantas destiladoras.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Filtros caseros de Intercambio-adsorción</b></p> <p style="text-align: center;">(Remoción de flúor)</p>  <p style="text-align: center;"><b>Figura 21.</b> Filtro de arcilla cocida para la eliminación de flúor.</p> <p style="text-align: center;"><i>Fuente: ( González H. et al., 2014)</i></p>	<p>-Bajo costo de fabricación.</p> <p>-Facilidad de operación y mantenimiento por los usuarios.</p>	<p>-Disponibilidad de medio filtrante altamente poroso en la localidad.</p> <p>-Los filtros operan eficientemente los primeros días y en el transcurso del tiempo van bajando su eficiencia.</p>



\* Continuación **Cuadro 3.** Tecnologías para el tratamiento de potabilización de aguas subterráneas.

TECNOLOGIA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Proceso de remoción BioCis-UNR</b> (Remoción de hierro y manganeso)</p>  <p><b>Figura 22.</b> Esquema del proceso de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso.</p> <p><i>Fuente: (MMAA &amp; VAPSB, 2012)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Simplicidad de construcción con materiales y mano de obra local.</li> <li>-No requiere de reactivos químicos para el tratamiento del agua.</li> <li>-La operación y mantenimiento es sencilla, no requiere de personal calificado.</li> <li>-Costo de instalación un 50% inferior comparado con un tratamiento fisicoquímico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Para la remoción biológica de hierro el tiempo requerido para alcanzar la puesta en régimen del sistema puede extenderse desde 1 día a una semana y para el Manganeso desde 4 a 8 semanas.</li> </ul>

*Adaptado de MMAA & VAPSB (2012), OPS & CEPIS( 2005) y González H. et al., (2014).*

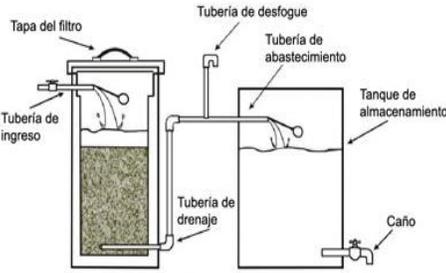
## B) AGUAS SUPERFICIALES Y AGUA LLUVIA

Las fuentes de agua superficial según su procedencia contendrán sólidos disueltos; turbiedad y materia orgánica (como sustancias húmicas que dan color al agua), así como con microorganismos patógenos (CEPIS, OPS, 2005).

Por su parte, el agua de lluvia es en teoría pura, sin embargo al caer se escurre a través de superficies arrastrando contaminantes que pueden ser tóxicos. Por esta razón, si se quiere aprovechar el recurso pluvial, se recomienda que el líquido pase por un proceso de filtrado que retire a mayor profundidad los contaminantes (Hidropluviales, 2015). Estas tecnologías se presentan en el **Cuadro 4.**

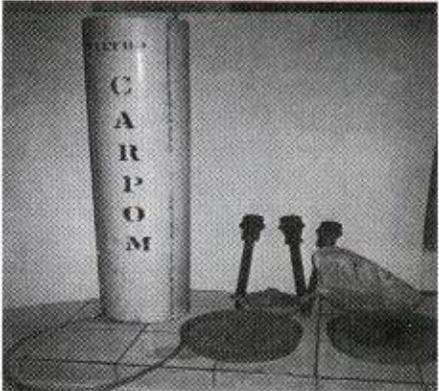


**Cuadro 4.** Tecnologías para el tratamiento de potabilización de aguas superficiales y agua lluvia.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p style="text-align: center;"><b>Filtros de mesa</b></p>  <p><b>Figura 23.</b> Elementos que componen un filtro de mesa. Fuente: (OPS, 2009)</p>	<p>-La calidad física y bacteriológica del agua es mejorada.</p> <p>-Fácil mantenimiento y operación por el beneficiario.</p> <p>-En el caso de aguas crudas con concentraciones de coliformes mayor a 100 NPM/100 mL, la filtración deberá complementarse obligatoriamente con el proceso de desinfección para asegurar la buena calidad bacteriológica del agua de consumo humano</p>	<p>-Solo para consumo directo o ingesta.</p> <p>-Trata poca cantidad</p> <p>-Solo para turbiedades menores a 5 NTU para los que son sólo de velas cerámicas.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Filtro lento de arena</b></p>  <p><b>Figura 24.</b> Esquema de un sistema filtro lento de arena. Fuente: (OPS, 2009)</p>	<p>-Su eficiencia está comprobada para la remoción de turbidez, color y algunos elementos patógenos quiste y huevos de parásitos 100%, virus y material orgánico 98%.</p> <p>-Es una opción sencilla y práctica.</p> <p>-El presupuesto de adquisición y operación es bajo.</p> <p>-La operación y mantenimiento son sencillos.</p>	<p>-Su utilidad sólo para soluciones individuales.</p> <p>-No mantiene un régimen continuo de flujo</p> <p>-Largos tiempos de parada por mantenimiento, arranque y vuelta a operación</p> <p>- Sólo se aplica para aguas con turbiedad baja, usualmente pre filtrado</p>

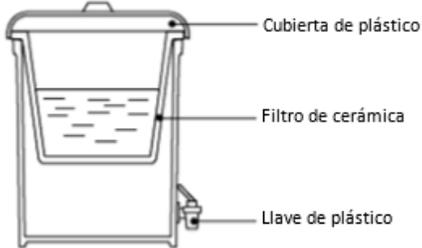
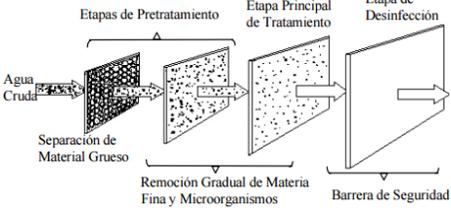


\*Continuación Cuadro 4. Tecnologías para el tratamiento de potabilización de aguas superficiales y agua lluvia.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Filtro casero de Carpom</b></p>  <p><b>Figura 25.</b> Esquema de un filtro casero de CARPOM. Fuente: (OPS, COSUDE, 2005)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Filtro sencillo fabricado con materiales fácilmente localizables en zonas rurales</li> <li>-Su eficiencia en la remoción de la turbiedad y algunos patógenos está probada.</li> <li>-Es una opción sencilla y práctica.</li> <li>-De fabricación fácil y bajo costo.</li> <li>-Operación y mantenimiento sencillos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Su utilidad se limita sólo para casos individuales.</li> <li>-Los periodos de parada por mantenimiento son largos.</li> <li>-No pueden ser usados para almacenamiento</li> </ul>
<p><b>Métodos artesanales y alternativos</b></p>  <p><b>Figura 26.</b> Representación de uno de los métodos artesanales (tres vasijas). Fuente: (Grisales Penagos, 2010)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Regidos por principios básicos como la sedimentación, filtración o tamizado y clarificación.</li> <li>-Dentro de estos se encuentran: Coagulación con semillas de moringa y Mandioca o yuca (fariña), Almacenamiento y sedimentación por el método de las tres vasijas y tamizado por medio de filtros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-En la mayoría de los casos estos métodos ya sea en mayor o menor grado la turbidez que arrastra consigo, un porcentaje importante de bacterias y parásitos; claro que esto no asegura que el agua sea potable.</li> <li>-Necesitan siempre de un proceso de desinfección para asegurar que el agua sea potable.</li> </ul>

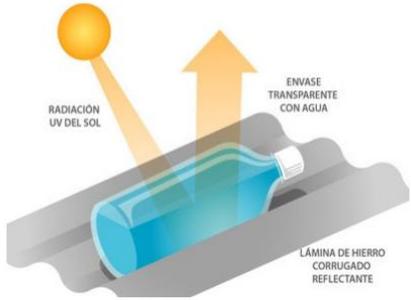


\*Continuación Cuadro 4. Tecnologías para el tratamiento de potabilización de aguas superficiales y agua lluvia.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>FILTRON: Filtro de cerámica para agua potable</b></p>  <p><b>Figura 27.</b> Esquema del uso de un Filtrón.</p> <p><i>Fuente: (Grisales Penagos, 2010)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asegura el agua potable a bajo precio.</li> <li>-Elimina las bacterias y parásitos.</li> <li>-Es fácil de usar, operar y dar mantenimiento.</li> <li>-Tiene buena aceptación e las comunidades debido a que la arcilla es bastante común para ellas.</li> <li>-Remueve la turbiedad y puede ser usado en conjunto con otros métodos.</li> <li>-Puede ser elaborado localmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Es bastante frágil; por ello requiere de maniobrarlo con cuidado.</li> <li>-Requiere de mantenimiento regular.</li> <li>-Bajo caudal solo para consumo directo.</li> <li>-Requiere combustible para producción.</li> </ul>
<p><b>FIME: Filtración en múltiples etapas</b></p>  <p><b>Figura 28.</b> Esquema del proceso FIME</p> <p><i>Fuente: (MMAA &amp; VAPSB, 2012)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite contar con agua segura para el consumo humano.</li> <li>-Simplicidad de construcción con materiales locales.</li> <li>-Operación y mantenimiento es simple, no requiere de personal calificado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La arena fina para el filtro lento puede que no sea disponible en el lugar.</li> <li>-Requiere especial cuidado en su preparación y colocación</li> <li>-Demanda mayor área de terreno para su implementación, por consecuencia mayor costo, (caudales mayores a los 10 L/s) –</li> <li>No se aplica a fuentes superficiales con elevadas partículas coloidales.</li> </ul>



\*Continuación Cuadro 4. Tecnologías para el tratamiento de potabilización de aguas superficiales y agua lluvia.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>SODIS: Desinfección solar del agua</b></p>  <p><b>Figura 29.</b> Uso de la técnica SODIS <i>Fuente: (Leache Setuain , 2013)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mejora la calidad microbiológica del agua para consumo humano.</li> <li>-Se puede aplicar a nivel del hogar bajo su propio control y responsabilidad.</li> <li>-Los únicos recursos necesarios son la luz solar, que es gratis y botellas de plástico.</li> <li>-Reduce la necesidad de fuentes tradicionales de energía, como la leña, el kerosene y el gas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requiere suficiente radiación solar; por lo tanto, depende de las condiciones climáticas, por eso es importante tener en cuenta la variabilidad que existe tanto geográfica como estacional y diaria</li> <li>-No es útil para tratar grandes volúmenes de agua</li> <li>-Requiere agua relativamente clara (turbiedad menor a 30 NTU).</li> </ul>
<p><b>Hipoclorador</b></p>  <p><b>Figura 30.</b> Hipoclorador de goteo en funcionamiento. <i>Fuente: (MMAA &amp; VAPSB, 2012)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Operación y construcción sencilla.</li> <li>-Sus implementos son de fácil adquisición</li> <li>-Resistente a la corrosión</li> <li>-El equipo es liviano y económico</li> <li>-Emplea materiales locales</li> <li>-El costo del hipoclorito de calcio es económico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requiere capacitación para su manejo</li> <li>-La falta del compuesto en el mercado local cercano puede ser una amenaza para su sostenibilidad.</li> <li>- Dependiendo de la fuente puede generar subproductos que pueden ocasionar futuros problemas de salud</li> </ul>

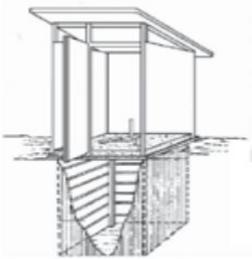
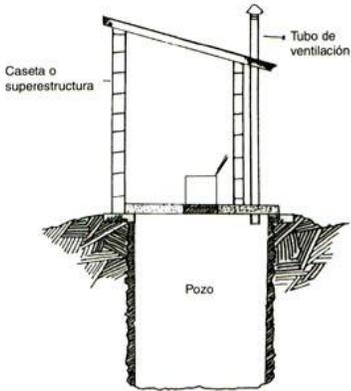
Adaptado de MMAA & VAPSB (2012), Grisales Penagos (2010), OPS & CEPIS (2005), OPS (2009) y OPS & COSUDE (2015).



### 5.1.2 Tecnologías para saneamiento básico

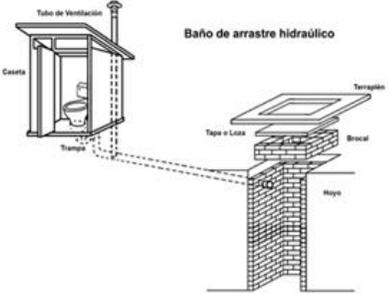
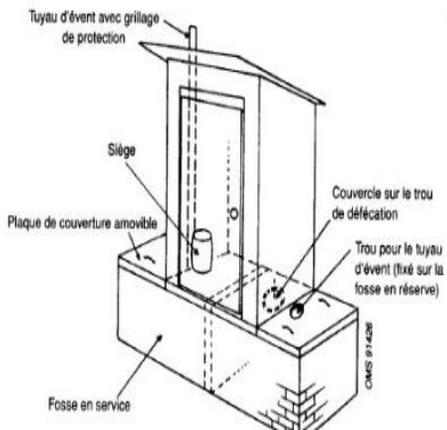
Las tecnologías aquí descritas están basadas en el tratamiento in situ de las aguas residuales, dada las características ya mencionadas anteriormente de las zonas rurales.

**Cuadro 5.** Alternativas de saneamiento In situ aplicables a CRD

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p style="text-align: center;"><b>Letrinas de hoyo seco</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Figura 31.</b> Esquema de una LHS <i>Fuente: (RAS,2010)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pueden ser construidas por el usuario y no necesitan agua para funcionar.</li> <li>-Es la más económica.</li> <li>-Requieren de poco mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Producen mal olor, atraen moscas y otros vectores de enfermedades que fácilmente se reproducen en los huecos o pozos.</li> <li>- El interior del retrete debe mantenerse limpio y la taza tapada cuando no se esté utilizando.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>LHS ventilado</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Figura 32.</b> Esquema representativo de una letrina con pozo seco ventilado <i>Fuente: (OPS, 2009)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Minimiza la presencia de malos olores, insectos y roedores.</li> <li>-Económico (bajo costo).</li> <li>-Puede ser construida fácilmente por el usuario.</li> <li>-No necesita agua para funcionar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No se deberán construir en sitios de fácil inundación ni pantanosos.</li> <li>-Alta probabilidad de la proliferación de insectos y emanación de olores</li> <li>-Deben ubicarse en el exterior de la vivienda</li> <li>- Donde haya agua subterránea el N.F. debe estar por lo menos a 1,5m del fondo del pozo.</li> </ul>

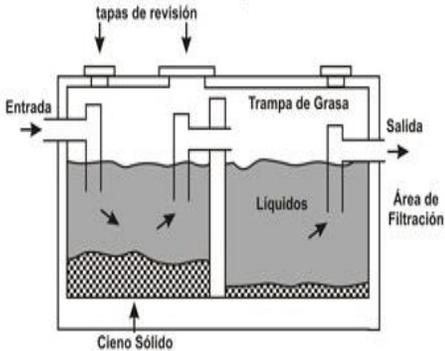


\*Continuación Cuadro 5. Alternativas de saneamiento In situ aplicables a CRD

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p data-bbox="358 401 724 432"><b>Letrina de sello hidráulico</b></p>  <p data-bbox="337 806 748 863"><b>Figura 33.</b> Esquema de la letrina con baño de sello hidráulico</p> <p data-bbox="428 892 654 921">Fuente: (OPS, 2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="797 401 1112 520">-Minimiza la presencia de moscas y olores.</li> <li data-bbox="797 541 1112 701">-Se requiere de alguna organización y facilidades en el lugar el retiro de los lodos</li> <li data-bbox="797 722 1112 842">-El inodoro se puede instalar dentro de la vivienda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1138 401 1453 520">-Es más costoso que la letrina de hoyo seco ventilado.</li> <li data-bbox="1138 541 1377 571">-Requiere de agua.</li> <li data-bbox="1138 592 1453 674">-Es necesario el retiro periódico de lodos.</li> <li data-bbox="1138 695 1453 724">-Requiere de áreas libres.</li> </ul>
<p data-bbox="391 970 691 1001"><b>Abonera seca familiar</b></p>  <p data-bbox="347 1478 738 1535"><b>Figura 34.</b> Diagrama de una letrina abonera seca</p> <p data-bbox="433 1577 651 1606">Fuente (OPS, 2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="797 970 1112 1047">-Producción de abonos sanitariamente seguros.</li> <li data-bbox="797 1068 1112 1228">- produce menor cantidad de gases olientes y no permite la proliferación de moscas.</li> <li data-bbox="797 1249 1112 1369">-El inodoro se puede instalar dentro de la vivienda.</li> <li data-bbox="797 1390 1112 1593">-Construcción relativamente económica, se construyen con materiales locales.</li> <li data-bbox="797 1614 1112 1717">- Es fácil de aprender a construir y mantener por una familia campesina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1138 970 1453 1047">-Demanda de suelos permeables.</li> <li data-bbox="1138 1068 1453 1098">-Requiere de áreas libres.</li> <li data-bbox="1138 1119 1453 1239">-Es más costoso que la letrina de hoyo seco ventilado.</li> <li data-bbox="1138 1260 1453 1379">-Requiere de operación semanal para apelmazar las heces y la cal.</li> <li data-bbox="1138 1400 1453 1478">- El uso de la ceniza puede ser una limitante.</li> </ul>



\*Continuación Cuadro 5. Alternativas de saneamiento In situ aplicables a CRD

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p data-bbox="354 401 727 470"><b>Tanque séptico y campo de infiltración *</b></p>  <p data-bbox="315 869 769 900"><b>Figura 35.</b> Esquema de un tanque séptico</p> <p data-bbox="428 926 656 957">Fuente: (OPS, 2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="797 401 1110 432">-Limpieza no frecuente.</li> <li data-bbox="797 457 1110 573">-Tiene un bajo costo de construcción y operación.</li> <li data-bbox="797 598 1110 714">-Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento.</li> <li data-bbox="797 739 1110 982">-Este sistema puede recibir tanto el agua con los excrementos humanos como aquella proveniente de cocinas y baños.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1140 401 1453 558">-El líquido que sale de este debe ser conducido a un campo de oxidación para tratamiento.</li> <li data-bbox="1140 583 1453 699">-De uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno.</li> <li data-bbox="1140 724 1453 968">-Es apropiado para lugares donde se cuenta con abastecimiento domiciliar de agua (cañería), permanente y suficiente.</li> </ul>

Adaptado de OPS (2006,2009) y RAS (2010).

\*Es importante aclarar que solo se seleccionaron los campos de infiltración como sistemas de tratamiento del efluente del tanque séptico, debido a su bajo costo y facilidad de implementación en este tipo de poblaciones.

## 5.2 INDICADORES O VARIABLES SELECCIONADOS PARA CADA CRITERIO DE SOSTENIBILIDAD

En esta etapa se definen los distintos indicadores de sostenibilidad para cada criterio, a partir de los mostrados en las Figuras 36 y 37, para agua potable y saneamiento básico respectivamente. Este es un paso importante, ya que de acuerdo con el enfoque planteado, su relación y vínculo son los que van a permitir soluciones sostenibles en términos integrales, esto quiere decir, que un sistema es sostenible cuando se conjugan en forma eficiente las capacidades a nivel comunitario con el acceso a una tecnología apropiada en un territorio saludable, considerando las potencialidades y limitaciones que generan el marco legal e institucional (Falck, Mayra; Sanders , Arie; Zelaya, Rosa, 2004).

Castro A., P. & Muñoz A., M



Teniendo en cuenta lo anterior, es importante resaltar que el criterio legal e institucional no se profundizará en cuanto a variables o indicadores se refiere, debido a que todos los demás están enmarcados dentro de la normativa vigente, por lo cual el modelo requiere una actualización en la medida que esta lo haga.

Para esto se partió de documentos consultados en bases de datos como Science Direct, Scopus así como los encontrados en la web y diversos estudios. También es importante aclarar que además de las instituciones como COSUDE, IRC, CINARA, otros autores han tocado el tema de los criterios de la sostenibilidad como Balkema, Preisig, Otterpohl, D Lambert, Sara & Katz, entre otros.

También, vale la pena resaltar que estas variables o indicadores están direccionados para ambos servicios en caso de que se pueda y si no, solo para donde estas apliquen (existen algunas consideraciones distintas para cada caso). Además, se evaluarán en el orden y la medida en que lo requiera la metodología. Este paso se hizo con el fin de agrupar todo lo concerniente a los distintos criterios considerados.



Figura 36. Indicadores seleccionados en agua potable para cada uno de los criterios estudiados.

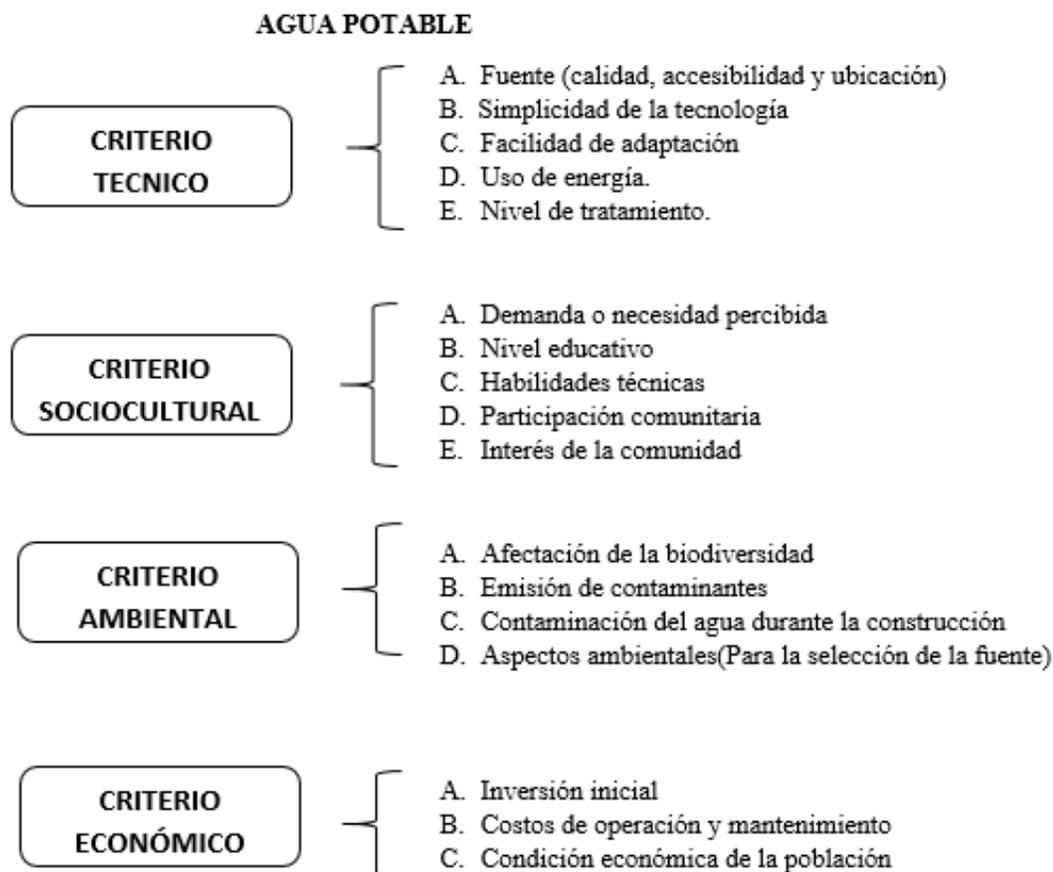




Figura 37. Indicadores seleccionados en saneamiento para cada uno de los criterios estudiados.



### 5.2.1 Criterio técnico

Lo que abarca el estudio de este criterio, se presenta con lo expuesto por WPS & IRC (2003), quienes señalan como elementos asociados a la sostenibilidad técnica, el acierto en el diseño de la infraestructura y las condiciones de construcción y operación; sin embargo, es importante resaltar la necesidad de desarrollar tecnologías apropiadas que permitan prestar el servicio en óptimas condiciones, de acuerdo con necesidades y recursos locales.

Las variables seleccionadas y estudiadas para este proyecto, se mencionan y describen a continuación:

- a. Fuente: En el medio rural casi todas las comunidades cuentan con fuentes de agua, al ser este un requisito indispensable para su establecimiento. Con el fin de hacer una identificación de estas, se hace necesario un reconocimiento de la zona, con un recorrido de campo en todas las posibles fuentes de agua. Este indicador es crucial

Castro A., P. & Muñoz A., M



para determinar la sostenibilidad del sistema, porque depende de la fuente de agua disponible en la zona. Para el estudio de esta variable, se tienen en cuenta la calidad, accesibilidad, cantidad, distancia y aspectos ambientales, descritos como sigue:

- **Calidad de la fuente de abastecimiento:** Existen diversos factores que influyen en la calidad del agua que presenta la fuente. Este es un tema que preocupa en países de todo el mundo, por su repercusión en la salud de la población. Los agentes infecciosos, los productos químicos tóxicos y la contaminación radiológica son factores de riesgo (OMS, 2016).

Su determinación incluye la toma de muestras para un posterior análisis fisicoquímico para determinar el tipo de tratamiento que se requiere. En las fuentes analizadas se deben evaluar cuatro criterios preliminares de calidad del agua considerados por los investigadores, que son: Color, pH, sólidos totales disueltos y turbidez. Estos deben cumplir con los límites establecidos en la Resolución 2115 de 2007 para Colombia.

Vale la pena aclarar, que en la presente investigación solo se tuvieron en cuenta los parámetros más básicos, simples y expeditos de determinar para dar un dictamen sobre la calidad del agua, sin embargo, a la fuente seleccionada es necesario realizarle los demás ensayos establecidos en el RAS 2010 y en la normatividad colombiana, con el fin de hacer un análisis más detallado.

- **Accesibilidad:** Este indicador hace referencia a la facilidad de acceso al lugar donde se encuentra ubicada la fuente, con el fin de considerar todos los acarreo concernientes a su transporte y funcionamiento. En esto priman las condiciones físicas de la zona.



Su evaluación se hará en la medida en que se presenten cierto grado de dificultad, considerando las siguientes opciones: Presencia de zonas escarpadas, caminos estrechos, altas pendientes, zonas boscosas entre otros.

- Cantidad de agua a suministrar: Una vez estudiadas todas las posibilidades de oferta de agua se hace necesario determinar cuáles son las fuentes que en cantidad y disponibilidad puede garantizar un suministro sostenible, teniendo en cuenta su permanencia en aquellos periodos más críticos de escasez de agua. También resulta importante que el uso del agua se regule mediante el caudal ecológico, es decir, dejar siempre que un caudal mínimo siga el curso natural para que la fuente pueda considerarse renovable y no se dañe el medio natural que nos rodea. El caudal mínimo, asegura la supervivencia de la fuente (Leache Setuain , 2013).

Para tener una primera aproximación de la cantidad de agua que puede suministrar una fuente, se deben recurrir a métodos fáciles y prácticos según el tipo de fuente, a partir de la determinación de su caudal diario.

- Ubicación de la fuente: Distancia y altura de la fuente con respecto a la población beneficiada, lo cual va repercutir en aspectos de operación del sistema.  
Por lo tanto, esto influirá en la selección de la fuente o fuentes y será considerado en la generación de alternativas.
- b. Simplicidad de la tecnología: Este indicador hace referencia a todos aquellos aspectos que de una u otra manera facilitan la implementación de una determinada tecnología en una zona a la que se quiere abastecer de agua potable y de un sistema de saneamiento básico, teniendo en cuenta aspectos como:
- Las habilidades técnicas necesarias para operar y mantener el sistema.
  - La disponibilidad y accesibilidad a los repuestos y materiales (Calidad y durabilidad de los mismos).



Esta se clasifica de acuerdo a tres niveles; alta, moderada y baja. La mayor puntuación la obtendrá aquella que sea fácil.

- c. Facilidad de adaptación: Está enfocada a que los sistemas propuestos cumplan con los siguientes condicionantes: Que se encuentren acordes con el entorno en donde sean instalados, que además se integren a una comunidad, que sea una tecnología apta para la zona de estudio y que a su vez mejore la calidad de vida de la población convirtiéndola en una comunidad que no padezca constantemente de enfermedades asociadas con la calidad del agua y mal manejo de las heces fecales.
- d. Uso de energía: La energía tiene una importancia primordial para la gestión y el aprovechamiento de los recursos hídricos. Es por ello que de esta depende en gran medida tipo de tecnología que se pueda implementar en una zona y para conocer este dato se tiene que inspeccionar el área de estudio. Esta puede provenir de distintas fuentes, ya sea mecánica, eléctrica, eólica o solar.

La valoración de esta variable se dará teniendo en cuenta el requerimiento de energía por la tecnología. La mayor puntuación está dada para aquella que no necesite de recurso energético o que en su defecto su gasto sea bajo.

- e. Nivel de tratamiento del agua: Indica la manera en que la tecnología incide en la calidad del agua suministra por ella. Para evaluarla se tomará la información secundaria descrita en el numeral 5.1.1. Esto es aplicable para el caso de la selección de tecnologías para la potabilización, de tal forma que remuevan eficientemente las sustancias contaminantes. La mayor calificación la obtendrá aquella que permita una mayor remoción de agentes contaminantes basado en sus características.
- f. Cantidad de agua para la descarga: La cantidad de agua disponible para la descarga es el punto de partida para la identificación de la solución más conveniente para el saneamiento. Si tenemos en cuenta los patrones de consumo típico y mínimo de la

Castro A., P. & Muñoz A., M



Tabla J.8.1 del RAS 2010, aquellas viviendas que solo disponen de 40 o menos litros/hab/día de agua deberán realizar la disposición de los desechos fisiológicos en el sitio de origen, mediante una letrina seca para poder atender, aun con restricciones, los otros usos del agua en el hogar como son el lavado de ropa, el aseo personal, la cocina y otros menores. En tanto que, aquellas que disponen de más de 45 litros/hab./día podrán optar por un aparato sanitario de flujo y descarga con disposición a distancia en un sistema séptico (RAS, 2010).

Su evaluación va a depender de tanto de la cantidad de agua disponible en los hogares, como del requerimiento de la tecnología de la misma.

- g. Permeabilidad del suelo: La permeabilidad del suelo es determinante en la selección del tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas y excreta humana como solución descentralizada en la zona rural. Es recomendable hacer una prueba de infiltración con el fin de clasificar el terreno y según los resultados de ésta determinar su grado de permeabilidad: rápida, media o lenta, y a partir de ello asignar si el suelo es o no bastante impermeable según el RAS 2010. La apreciación de esta variable se hace a partir de las características del suelo que se encuentren en la zona de estudio (RAS, 2010).
- h. Tipo de suelo: Es importante determinar el tipo de suelo donde se va a construir el sistema de tratamiento, de modo que se garantice la estabilidad de las obras. Para una obra simple como la construcción de una letrina o un sistema séptico en una finca, es suficiente una descripción sencilla del suelo en términos de si es arcilloso, limoso, arenoso, arena arcilloso, si contiene rocas trituradas o conglomerados, etc., y una apreciación de su grado de humedad (RAS, 2010).
- i. Nivel freático: Si el nivel freático es alto (menos de 1,50 m de profundidad), es posible que no sea viable infiltrar en el terreno los efluentes de los sistemas sépticos,



por lo que se hace necesario adoptar una solución a base de letrinas de pozo elevado o disponer el efluente en una fuente superficial, teniendo en cuenta las mismas consideraciones por parte de la autoridad ambiental del numeral anterior (RAS,2010).

- j. Zonas inundables: En aquellas zonas en donde los niveles de las aguas subterráneas son altos o los suelos son inundables, las letrinas tradicionales obligatoriamente deben ser colocadas por encima del nivel del suelo (RAS, 2010).
- k. Disponibilidad de terreno: La aplicación de sistemas de saneamiento en el sitio de origen para viviendas rurales dispersas, especialmente si son del tipo séptico, consideran la necesidad de que el predio disponga de suficiente área para que éstas sean técnicamente factibles (RAS, 2010).

### **5.2.2 Criterio sociocultural**

Este criterio se basa en las relaciones humanas, la necesidad de que las personas interactúen y la capacidad de desarrollarse en su comunidad. Así mismo, tienen en cuenta la formación técnica del recurso humano capaz de operar la alternativa a implementar y que se encuentre en la capacidad de capacitarse para tal fin.

Se debe tener en cuenta que para el éxito de toda tecnología el responsable del estudio debe tener en cuenta la opinión de la comunidad, buscando que ésta sea acogida de la mejor manera. Además, de que la sostenibilidad de un sistema rural de agua depende de la voluntad de los usuarios para proporcionar tiempo, dinero y mano de obra necesarios para mantener el funcionamiento del mismo (Sara & Katz, 1998).

Las variables que se tienen en cuenta en este estudio se presentan a continuación.

- a. La demanda o necesidad percibida de un servicio mejorado: La necesidad de poseer una tecnología o sistema para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico es la principal motivación de emprender un proyecto sobre estos lineamientos,



teniendo en cuenta que es derecho fundamental de cualquier ser humano contar con los servicios básicos necesarios.

Según las estadísticas suministradas por el DANE en el caso nacional, aún existe un déficit de cobertura a nivel nacional de estos dos servicios.

Ahora bien, si se quiere comprobar lo anterior, es menester hacer encuestas y entrevistas a los habitantes para que le den validez y certeza a esa información.

Este indicador se evaluará partiendo de los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas, lo cual dependerá de que tan prioritaria sea la necesidad de aplicar un sistema de agua potable y saneamiento básico en la zona, según sus mismos pobladores.

- b. Nivel educativo: Este indicador busca determinar qué tan preparada esta la comunidad académicamente y de esto va a depender su capacidad para recibir y cumplir las instrucciones para la implementación de la tecnología propuesta. Como bien se sabe en las CRD es muy precaria la educación y son pocos aquellos que alcanzan a cursar un nivel técnico, tecnólogo o superior, sin embargo es menester que reciban algún tipo de capacitación y entrenamiento. De esto depende el grado de capacitación, orientación y concientización de la población acerca de las adecuadas prácticas en el manejo de las excretas y las aguas residuales, lo cual tiene gran importancia para la salud de la comunidad así como para el éxito del sistema debido a que si el agente no se apropia de las bondades del mismo, este fracasaría.

Para su evolución, se disponen de cinco categorías, tomadas y modificadas de (CINARA, IDEAM, UTP, 2005).

- c. Habilidades técnicas de la comunidad para operar y mantener el servicio: Del conocimiento que posean algunos miembros de la comunidad del sistema a implementar depende el éxito del mismo en este tipo de poblaciones, ya que para que sea sostenible requiere en su mayoría de la participación comunitaria en su manejo,



operación y mantenimiento con la asesoría y apoyo de los encargados del proyecto, para reducir costos en mano de obra y asegurar su continuidad.

Este indicador muy importante se determina por medio de encuestas y entrevistas, además de capacitaciones a los habitantes más aptos para este cargo. Se evaluará de acuerdo al siguiente cuestionamiento ¿La comunidad cuenta con personal capacitado para operar y mantener el sistema? Los cuales pueden tener voluntad para el trabajo comunitario y en caso de presentarse se dará la mayor puntuación.

- d. Participación comunitaria en la construcción: Mide el grado de intervención que puede tener la comunidad en la elaboración o implementación de la tecnología. Esto va a depender de las características propias de la misma (descritas en el capítulo 5.1), cuya información fue obtenida a partir de fuentes secundarias.

Para cuantificar este indicador se evalúan tres niveles de complejidad.

- e. Interés de la comunidad: Corresponde a la capacidad que tiene la población de realizar la gestión para obtener los sistemas de saneamiento y agua potable a nivel local, regional, nacional e internacional.

Se parte de que los sistemas iniciados por las comunidades cuentan una mayor participación en la gestión y se define a través de encuestas a la población beneficiaria, por ello para evaluar el compromiso de la población con el sistema.

### 5.2.3 Criterio ambiental

Este estudio tiene en consideración la parte ambiental, puesto que la interacción de la tecnología con el medio ambiente debe ser apta, y por lo tanto la tecnología sostenible debe ser aquella que no amenace la cantidad y calidad de los recursos disponibles en el medio ambiente (Balkema, *et al*, 2002). Esto quiere decir, que uno de los objetivos fundamentales



de la sostenibilidad es preservar en lo mayor posible el medio ambiente en el cual se desee implementar un determinado sistema.

El propósito de este criterio es abordar el riesgo de un impacto ambiental negativo, asociado con los requerimientos o actividades indeseables para el medio ambiente que se requieren llevar a cabo para la implementación de la tecnología. La evaluación de los componentes de este criterio dependerá de la dimensión del impacto que podría generar la implementación de una determinada tecnología en la zona de estudio, lo cual será subjetivo, al depender de la percepción de quien este implementando esta metodología.

Las distintas variables que se tienen en cuenta dentro de este criterio se presentan a continuación.

- a. Aspectos ambientales: Este hace alusión a la existencia de reservas naturales en el lugar de la fuente o próximos a esta y/o problemas ambientales aguas arriba como la extracción minera y el vertimiento de aguas negras.
- b. Afectación de la biodiversidad: Este indicador corresponde a la alteración de la flora y la fauna de la zona al entrar en contacto con el sistema a implementar. Para evaluar este impacto se tendrán en cuenta tres niveles de selección de acuerdo al grado de amenaza a la cual estaría expuesta, catalogándolos como baja, mediana y alta escala, calificando con mayor ponderación a la baja escala.
- c. Emisión de contaminantes: La envergadura de este indicador está dada por la generación de emisiones peligrosas con la instalación de cualquier tecnología, tales como las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes nocivos, además de la generación de ruido en altos decibeles durante todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, malos olores producidos por el metano, entre otros. Dentro de las actividades que influyen a esto se encuentra el consumo energético y lumínico, el uso de combustible, la construcción, operación y mantenimiento del sistema.

Castro A., P. & Muñoz A., M



Su ponderación se hará de acuerdo a tres rangos: bajo, medio y alto, de los cuales la mayor puntuación le corresponde al bajo y serán definidos a partir de la interacción de la tecnología con la zona de estudio.

- d. Exposición a patógenos: Riesgo del impacto negativo en la salud asociados con patógenos y el contacto con los excrementos durante la gestión del sistema, como coliformes fecales, principalmente *Echerichia coli*. Esto se da por el manejo de las aguas residuales y disposición de excretas. Se debe tener especial cuidado que el vertimiento de aguas negras en lugares próximos a las fuentes de agua y en caso de que sea subterránea, se debe tener precaución con la eliminación de excretas por medios filtrantes. De igual forma está enfocado a los daños que esta puede causar como lo haría el efluente de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una fuente receptora de agua o de un terreno donde se cultive y por ende a la comunidad que se abastece de estos.

Al igual que otros indicadores, este se calificará a partir de tres rangos o niveles (bajo, medio y alto).

- e. Contaminación del agua en la construcción. Se define de acuerdo al nivel de contaminación que pueda sufrir la fuente de agua durante la etapa de construcción, asociadas al uso de equipos y materiales que se requieran, así como el depósito de combustible, almacenamiento de químicos, zonas de procesamientos que afecten los ecosistemas acuáticos y su calidad, al modificar parámetros como pH, color, solidos disueltos e incluso la temperatura y la presencia de nutrientes tóxicos.

Este criterio evalúa el riesgo al momento de la construcción de la tecnología, de acuerdo a su complejidad y características de la zona. Por tanto, la mayor puntuación se le asigna al que tenga menor incidencia sobre la calidad del agua, la cual corresponde al nivel bajo, de las tres posibles opciones que son, bajo, medio y alto.



#### **5.2.4 Criterio económico**

Este constituye un factor de gran importancia a la hora de determinar la alternativa a seleccionar, debido a que afecta directamente en el costo de inversión para su construcción así como su operación y mantenimiento.

Hay que tener en cuenta que el tamaño y dispersión de la población afecta considerablemente los costos de inversión de los sistemas, en particular de comunidades rurales, siendo notoria la economía de escala en sistemas que atienden comunidades de mayor tamaño.

La valoración de este indicador se hace con base al cumplimiento de un conjunto de condicionantes que permitan hacer una estimación general del costo, puesto que se dificulta hacer un análisis detallado del mismo, ya que depende en gran medida de la zona y detalles propios del diseño.

- a. **Inversión inicial:** Abarca aquellas condiciones que van a incidir de manera preliminar en el costo de la implementación de la tecnología, lo que hará que esta sea factible para una u otra comunidad. En este punto no se entrará en detalle, sino que se tendrán en cuenta los costos previstos de manera general de acuerdo a la tecnología. Este se evalúa de forma cuantitativa en la medida en que se satisfagan los siguientes condicionantes: Uso de poca cantidad de materiales requeridos, disponibilidad de los mismos en la zona, requerimiento de personal capacitado (técnicos e ingeniero) en baja o nula proporción, uso de materiales reciclables y apoyo de ONG'S, entidades gubernamentales u otras, esto último no incide en la variación del costo de una tecnología, sino que facilita su implementación. Obteniendo el mayor puntaje aquella tecnología que ofrezca todos los anteriores.
  
- b. **Costo de operación y mantenimiento:** El plan de O&M de cualquier sistema debe definirse durante la etapa de diseño y deberá estar en armonía con los recursos



disponibles localmente, con la capacidad tecnológica de la comunidad y con sus características culturales

Un aspecto importante de O&M es el mantenimiento preventivo, y si está bien organizado e implementado puede reducir la frecuencia de reparaciones, a prolongar la vida útil de una tecnología, y reducir los costes recurrentes.

La mayor valoración de este indicador está dada para aquella tecnología que no implique el requerimiento de elementos mecánicos y/o eléctricos, personal técnico y/o profesional y repuestos difíciles de conseguir en la zona, así como por la nula posibilidad de atención del sistema por parte de los pobladores, lo que indica altos costos de O&M. De esta manera, la asignación de puntajes se dará en la medida en que se den los anteriores planteamientos.

- c. Condición económica de la población: Es un factor muy importante porque permite limitar la opción tecnológica y el nivel de servicio, al afectar directamente el monto de inversión en la construcción de la alternativa tecnológica, ya sea colectiva o individual, según se requiera. Se evalúa teniendo en cuenta la capacidad de pago de los habitantes para mantener el sistema.

Teniendo en cuenta las fuentes de ingresos económicos de las poblaciones atendidas, se proponen dos niveles de selección, presentados posteriormente.

### **5.3 ANÁLISIS DE LAS METODOLOGÍAS EXISTENTES Y CONSTRUCCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA CRD.**

Teniendo en cuenta el enfoque de este proyecto, el cual se fundamenta en la revisión y análisis de información secundaria, se partió de los lineamientos aplicados en la elaboración de distintas metodologías existentes relacionadas con la sostenibilidad, con el fin de elegir aquellos factores que permitan la construcción del nuevo modelo metodológico aplicable en las CRD. Para ello se tuvieron en cuenta los procesos y/o técnicas usadas por dichos autores, para así formular el propio.

Castro A., P. & Muñoz A., M



En el **Cuadro 6** se exponen las distintas metodologías como producto del análisis de la información recopilada, utilizadas para definir el proceso metodológico a seguir en esta investigación.

**Cuadro 6.** Revisión de metodologías asociadas a la selección de alternativas y medición de la sostenibilidad.

AUTOR	TIPO DE METODOLOGÍA	ENFOQUE
A.Y. Katukiza y otros (2010)	Ponderación de Factores y análisis multicriterio.	Selección de tecnologías sostenibles de saneamiento en barrios pobres urbanos.
Galvis A. & Vargas V. CINARA, (2010)	Niveles de selección que actúan como filtro. Análisis multicriterio.	Selección de tecnologías en el tratamiento de agua para consumo humano en centros poblados entre 500 y 30000 habitantes.
Villegas P. y otros (2009)	Árboles de decisión, opiniones difusas y encapsulamiento de conocimiento experto.	Selección de alternativas mediante una nueva herramienta informática en proyectos de agua y saneamiento en comunidades indígenas, la cual funciona paralela a un proceso de participación comunitaria y de expertos.
Falck M. y otros (2004)	Ponderación de factores de acuerdo a la metodología de Sara y Katz (1998), con análisis multicriterio	Análisis de la sostenibilidad de 43 sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en las áreas rurales en Honduras.



\*Continuación **Cuadro 6.** Revisión de metodologías asociadas a la selección de alternativas y medición de la sostenibilidad.

AUTOR	TIPO DE METODOLOGÍA	ENFOQUE
Cadavid N. (2008)	Ponderación de factores de los criterios de sostenibilidad, esquematizados mediante un pentágono.	Evaluación integral de la gestión comunitaria como estrategia para la prestación del servicio de acueducto.
Balkema A. y otros (2002)	Método multidisciplinario de indicadores de sostenibilidad estructurado en tres fases: definición de objetivo y alcance, análisis de inventario, Y optimización.	Evaluación general basada en la optimización multiobjetivo y un conjunto completo de indicadores de Lo que permite conocer las ventajas y desventajas de la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales sostenibles.
IRC (2003)	Análisis multicriterio	Guía para la selección de tecnologías sostenibles tanto de saneamiento básico como agua potable.
CICAG (Centro de investigación de ciencias administrativas y gerenciales) (2011)	Sistema jerárquico de evaluación de sistemas con la aplicación de ponderaciones ideales y reales de indicadores a los principios, criterios y verificadores de la sostenibilidad.	Medición del grado o nivel de progreso hacia el desarrollo sostenible de sistemas agrícolas.



\*Continuación **Cuadro 6.** Revisión de metodologías asociadas a la selección de alternativas y medición de la sostenibilidad.

AUTOR	TIPO DE METODOLOGÍA	ENFOQUE
Parr J. & Shaw R. (2002)	Análisis multicriterio (SHTEFIE) basado en tres etapas: objetivos, análisis y salida.	Selección de las opciones más apropiadas, partiendo de la selección de instalaciones de tratamiento de agua.
Sara y Katz (1998)	Análisis multicriterio	Evaluación de la sostenibilidad de distintos sistemas abastecimiento de agua en poblaciones rurales en 6 países del mundo

Partiendo de estas metodologías enfocadas tanto en la selección de alternativas, como en la evaluación del grado de sostenibilidad para estos sistemas, se optó por usar el método de ponderación de factores y el análisis multicriterio. Esta selección se hizo debido a su facilidad y dominio por parte de los investigadores, además de ser la que primó en la literatura, por arrojar resultados confiables y aceptables. Encontrándose que un 44,4% de la literatura analizada emplearon ponderación de factores y en su totalidad se estudiaron los diversos criterios asociados a la sostenibilidad, cada uno enfocado según su objetivo.

Durante todo el proceso metodológico aquí planteado se tienen en cuenta distintos filtros, así como el análisis de los criterios de la sostenibilidad, por su parte el método de ponderación de factores se usa para la etapa de selección de la tecnología para la captación y el tratamiento del agua, así mismo para la etapa final en la determinación de la alternativa solución.



Para la ponderación de factores, se recurrió a un panel de expertos, con el fin de asignar los pesos a los distintos indicadores que componen los criterios y de esta manera hacer la evaluación cuantitativa de los mismos.

### **5.3.1 Panel de expertos y asignación de valores o pesos a cada indicador**

Para llevar a cabo esta actividad se consultaron cinco profesionales de la Ingeniería Civil, dos PhD. en Ingeniería Ambiental, un PhD. en ciencias del mar, un PhD. en Ingeniería Ambiental y recursos y un experto en hidráulica y saneamiento básico. Con el fin de obtener una calificación de acuerdo a su postura para cada una de las variables según la importancia de ellas en cada proceso. Esto se hizo para darle solidez y veracidad al trabajo propuesto, teniendo en cuenta su amplia experiencia laboral y académica en proyectos de esta índole o relacionados.

Para llevar a cabo el ejercicio de la ponderación, primero se le asignaron equitativamente los porcentajes a cada uno de los criterios de la sostenibilidad aquí estudiados (25% para cada uno) partiendo del hecho de que la sostenibilidad se da a partir de su interacción. Luego se prosiguió a la asignación de rangos de cada uno de sus indicadores, basados en la opinión de los expertos teniendo en cuenta la descripción y explicación mostrada en el capítulo 4.6. Para ello se hizo una distinción entre el servicio de agua potable y saneamiento, teniendo en cuenta que su importancia puede variar de uno a otro. Para el primer servicio, también se tuvo en cuenta para la selección de la tecnología, tanto para la captación como para el tratamiento del agua.

Se hizo esta consulta, para definir el grado de importancia de los distintos indicadores dentro de cada criterio. Los **Cuadros 7, 8 y 9** muestran la calificación dada por cada experto según el tipo de servicio. Cabe aclarar, que para la parte del tratamiento solo se hizo modificación en el criterio técnico, los demás serán evaluados acordes a la captación.

La selección final de cada peso, se hizo teniendo en cuenta el que obtuviese una mayor repetición, con el fin de tener una mejor aceptación y precisión en su aplicación.

Castro A., P. & Muñoz A., M



Por último, la asignación de puntajes para los distintos niveles de selección establecidos para cada indicador se realizó dentro de una escala de 0 a 5, dependiendo de las características de cada tecnología y las propiamente dichas de la zona. Siendo 5 la de mayor puntuación y por ende, la más factible.

**Cuadro 7.** Porcentaje de importancia de cada indicador para agua potable (captación), según los expertos consultados.

CRITERIO	INDICADOR	Expertos				
		1	2	3	4	5
		Factor de peso (%)				
TÉCNICO	Simplicidad de la tecnología	50	40	40	45	40
	Facilidad de adaptación	15	20	25	10	20
	Uso de energía	35	40	35	45	40
SOCIO-CULTURAL	Demanda o necesidad percibida	5	15	10	20	25
	Nivel educativo	60	40	40	40	25
	Habilidades técnicas de la comunidad para la O&M del servicio	20	30	35	20	30
	Participación comunitaria en la fabricación	5	10	10	10	10
	Interés de la comunidad	10	5	5	10	10
AMBIENTAL	Afectación de la biodiversidad	20	20	20	25	30
	Emisión de contaminantes	70	60	65	50	60
	Contaminación del agua durante la construcción	10	20	15	25	10
ECONÓMICO	Inversión inicial	5	5	5	20	25
	Costos de operación y mantenimiento	70	70	75	60	60
	Condición económica de la población	25	25	20	20	15



**Cuadro 8.** Porcentajes de importancias del criterio técnico en el tratamiento de potabilización.

CRITERIO	INDICADOR	Expertos				
		1	2	3	4	5
		Factor de peso (%)				
TÉCNICO	Simplicidad de la tecnología	30	30	30	20	25
	Facilidad de adaptación	20	20	30	30	25
	Nivel de tratamiento	50	50	40	50	50

**Cuadro 9.** Porcentaje de importancia de cada indicador para saneamiento básico, según los expertos consultados.

CRITERIO	INDICADOR	Expertos				
		1	2	3	4	5
		Factor de peso (%)				
TÉCNICO	Simplicidad de la tecnología	50	50	60	70	60
	Facilidad de adaptación	50	50	40	30	40
SOCIO-CULTURAL	Demanda o necesidad percibida	20	15	20	10	5
	Nivel educativo	50	40	25	30	40
	Habilidades técnicas de la comunidad para la O&M del servicio	10	30	30	20	35
	Participación comunitaria en la fabricación	15	10	20	30	5
	Interés de la comunidad	5	5	5	10	15
AMBIENTAL	Afectación de la biodiversidad	5	20	20	10	25
	Emisión de contaminantes	80	50	30	30	50
	Exposición de patógenos	15	30	50	60	25
ECONÓMICO	Inversión inicial	15	5	5	60	30
	Costos de operación y mantenimiento	70	70	75	30	55
	Condición económica de la población	15	25	20	10	15



### **5.3.2 Metodología para la selección de alternativas para el suministro de agua potable y saneamiento básico en comunidades rurales dispersas.**

Para la elaboración de esta metodología, se parte de la distinción del servicio que se quiera estudiar y de las necesidades que presentan las comunidades rurales dispersas.

Este proceso metodológico está conformado por una serie de bloques temáticos, a través de los cuales se hace la selección de alternativas para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico. En el mayor de los casos estos actúa como “filtro”, donde se descartan aquellas que no cumplan con los criterios de sostenibilidad, de manera que al final las alternativas seleccionadas sean las más sostenibles.

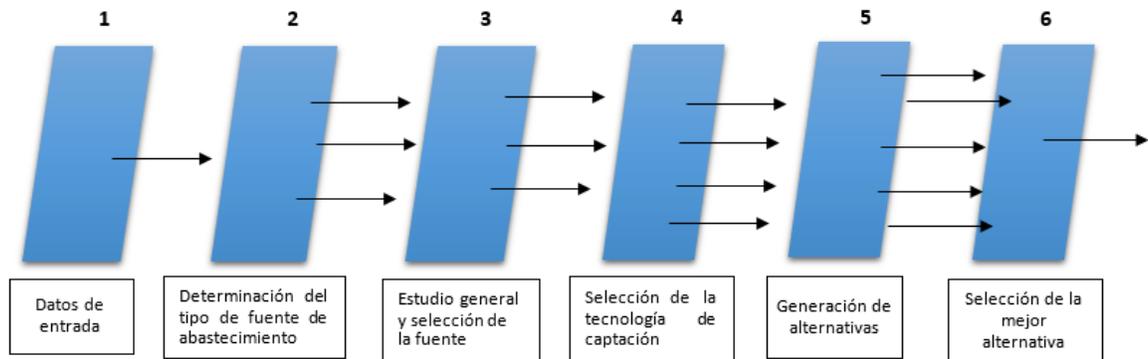
Para cada bloque se han elaborado una serie de instrucciones donde se indican cuáles son los datos que se requieren para la aplicación de esta metodología, así como los procedimientos, criterios y algunas recomendaciones.

#### *5.3.2.1 Agua potable*

Para este servicio se cuentan con seis bloques; que son: datos de entrada, determinación del tipo de fuente de abastecimiento, estudio general de la fuente, selección de la tecnología de captación, generación de alternativas para el suministro y finalmente, la selección de la mejor alternativa. Estos se presentan en un diagrama de bloques (**Figura 38**), el cual brinda al usuario una herramienta que facilita el entendimiento y aplicación de la metodología.



Figura 38. Esquema del modelo metodológico para la selección de alternativas de agua potable.



- Bloque 1: Datos de entrada

Los datos aquí solicitados representan información básica de la comunidad estudiada, los cuales van a ser requeridos en pasos posteriores, estos a su vez sirven para realizar una identificación de la misma.

Estos datos son:

- Nombre:
- Tipo de localidad:
  - \_\_\_ Vereda
  - \_\_\_ Corregimiento
  - \_\_\_ Caserío
- Población actual:
- Índice de crecimiento (r): En caso de no existir censos históricos, se puede recurrir a encuestas y entrevistas con los pobladores de mayor residencia en la zona.
- Periodo de diseño (n):
- Calculo de la población futura: la estimación y proyección de la población se debe calcular, teniendo en cuenta el índice de crecimiento y el periodo de diseño.
- Demanda:



- Bloque 2: Determinación del tipo de fuente de abastecimiento

En este paso el usuario debe determinar cuáles son las fuentes de agua existentes, esto se hará de acuerdo al recurso hídrico que prevalezca en la zona, el cual puede ser: agua lluvia, subterránea, superficial o salada. Esto se establece por medio de un reconocimiento de la misma.

Sin embargo, para considerar el agua lluvia como una fuente de abastecimiento se debe hacer un estudio de precipitaciones (frecuencia de las lluvias, volumen e intensidad) y evaluar el estado de las cubiertas de las viviendas.

- Bloque 3: Estudio general y selección de las fuentes.

A las fuentes de agua determinadas en el bloque anterior, se les estudiarán cinco características propias (calidad, accesibilidad, cantidad de agua disponible, la distancia y aspectos ambientales). Estas se explican con detalle en inciso 5.2.1. y 5.2.3.

En la medida en que estas se cumplan, se debe hacer la selección del punto o de los puntos de abastecimiento que satisfagan las necesidades de la comunidad, a partir de las cuales se hará la generación de alternativas.

Se deben desechar las fuentes cuyas características pongan en riesgo la calidad del agua abastecida a la población e incrementar los costos de tratamiento.

- Bloque 4: Selección de la tecnología de captación

Luego de definir la o las fuentes, se debe determinar la mejor técnica de captación, lo cual va a depender directamente de su procedencia. Así mismo, para su elección se debe tener en cuenta factores como las condiciones climáticas, la topografía, así como la disponibilidad del recurso energético. Para esta selección, este modelo propone emplear el método de ponderación de factores con análisis multicriterio de acuerdo los **Cuadros 10, 11, 12 y 13**, donde se exponen los distintos pesos así como su respectiva puntuación. La mejor será

Castro A., P. & Muñoz A., M



aquella que obtenga una mayor calificación, luego de evaluar los cuatro criterios de sostenibilidad (técnico, sociocultural, ambiental y económico).

**Cuadro 10.** Guía para la evaluación del criterio técnico en la selección de las tecnologías para la captación de agua potable.

CRITERIO TÉCNICO			
%	Indicadores	Calif	Niveles de puntuación
45	Simplicidad de la tecnología	5-4	Fácil *
		3,9-2	Moderada
		1,9-0	Compleja
15	Facilidad de adaptación	5	Cumple con los siguientes condicionantes: -La tecnología se encuentra acorde con el entorno en donde sean instalados -Se integra a la comunidad. -Tecnología apta para la zona de estudio -Calidad de vida es mejorada por el sistema
		4	Cumple con 3 condicionantes
		3	Cumple con solo 2 condicionantes
		2	Cumple con solo 1 condicionante
		1	No cumple con ninguno de los condicionantes
40	Uso de energía	5-4	No requiere o requiere en poca cantidad de energía para su funcionamiento.
		3,9-0	Requiere de alto nivel energético para su funcionamiento.

\* **Fácil:** O&M que no ameriten de una mano de obra altamente calificada, también dependerá de la disponibilidad de adquisición de materiales necesarios para ello, como: combustible, repuestos, químico y otros.



**Cuadro 11.** Guía para la evaluación del criterio socio-cultural en la selección de las tecnologías para la captación de agua potable.

<b>CRITERIO SOCIOCULTURAL</b>			
<b>%</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Calif.</b>	<b>Niveles de puntuación</b>
15	Demanda o necesidad percibida de un servicio mejorado*	5	Entre el 90-100 %
		4	Entre el 60-89 %
		3	Entre el 30-59%
		2	Entre el 10-29%
		1	Menor al 10%
		0	Ninguno
40	Nivel educativo	5	<b>Categoría 4:</b> Comunidades en la que se pueden encontrar estudios superiores.
		4	<b>Categoría 3:</b> Comunidades en la que se pueden alcanzar hasta 11 años de escolaridad en establecimientos educativos.
		3	<b>Categoría 2:</b> Son comunidades en la que se puede alcanzar hasta nueve años de educación formal en los establecimientos educativos.
		2	<b>Categoría 1:</b> Son comunidades en la que se pueden alcanzar hasta cinco años de escolaridad en establecimientos educativos.
		1	<b>Categoría 0:</b> Son comunidades donde no existe ningún grado de escolaridad.
30	Habilidades técnicas de la comunidad para O&M el servicio	5-3	Cuentan con personal para el manejo de la tecnología
		2-0	No cuentan con personal para el manejo de la tecnología
10	Participación comunitaria en la fabricación	5-4	<b>Nivel 3:</b> La construcción suele ser fácil y sencilla de hacer y operar por los mismos pobladores.
		3-2	<b>Nivel 2:</b> La construcción y operación suele ser de moderada complejidad para ser realizada por los mismos pobladores.
		1-0	<b>Nivel 1:</b> La construcción y la operación suele ser compleja de hacer por los mismos pobladores, es decir, requiere de personal capacitado para ello.
5	Interés de la comunidad**	5	Entre el 90-100%
		4	Entre el 60-89%
		3	Entre el 30-59 %
		2	Entre 10-29%
		1	Menor al 10 %
		0	Ninguno

\*Evaluación según el porcentaje de la muestra encuestada que considere prioritaria la necesidad de aplicar un sistema de agua potable y saneamiento básico en la zona.



**\*\*Evaluación según el porcentaje de la muestra que respondió afirmativamente al siguiente ¿Está dispuesto usted a colaborar, participar y cooperar para que se dé la implementación de alguna tecnología para el abastecimiento de agua potable y saneamiento básico?**

**Cuadro 12.** Guía para la evaluación del criterio ambiental en la selección de las tecnologías para la captación de agua potable.

<b>CRITERIO AMBIENTAL</b>			
<b>%</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Calif</b>	<b>Niveles de puntuación</b>
25	Afectación de la biodiversidad	5-4	Baja escala *
		3,9-2	Mediana escala
		1,9-0	Alta escala
60	Emisión de contaminantes**	5-4	Bajo
		3,9-2	Medio
		1,9-0	Alto
15	Contaminación del agua durante la construcción	5-4	Bajo***
		3,9-2	Medio
		1,9-0	Alto

**\*Baja escala:** Genera un menor impacto en la zona.

**\*\*Niveles de puntuación definidos a partir de la interacción de la tecnología con la zona de estudio.**

**\*\*\*Bajo:** Aquella técnica que tenga menor incidencia sobre la calidad del agua durante su construcción.



**Cuadro 13.** Guía para la evaluación del criterio económico en la selección de las tecnologías para la captación de agua potable.

<b>CRITERIO ECONÓMICO</b>			
<b>%</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Calif</b>	<b>Niveles de puntuación</b>
10	Inversión inicial	5	Se dan todos los condicionantes: -Uso de poca cantidad de materiales requeridos. -Disponibilidad de los mismos en la zona. -Requerimiento de personal capacitado (técnicos e ingeniero) en baja o nula proporción. -Uso de materiales reciclables. -Apoyo de ONG'S, entidades gubernamentales u otras.
		4	Se dan 4 de los condicionantes
		3	Se dan 3 de los condicionantes
		2	Solo se dan 2 de los condicionantes
		1	solo se da 1 de los condicionantes
		0	No se da ninguno de los condicionantes
70	Costo de operación y mantenimiento	5	Se cumplen todos los planteamientos -No requiere de elementos mecánicos y/o eléctricos. -Poco personal técnico y/o profesional. -Repuestos y/o elementos de operación fáciles de conseguir en la zona y poca frecuencia de sustitución. -Atención del sistema por parte de los pobladores.
		4	Se cumplen 3 de los planteamientos
		3	Se cumplen 2 de los planteamientos
		2	Se cumple 1 de los planteamientos
		1	No se cumplen ninguno de los planteamientos
20	Condición económica de la población	5-3	<b>Nivel 2:</b> Cuando los ingresos prevalecientes en la población son suficientes para solventar los costos que implica la implementación de dicha tecnología.
		2,9-0	<b>Nivel 1:</b> Cuando los ingresos familiares que prevalecen en la comunidad no son suficientes para cubrir con los gastos de inversión inicial y de O&M que implica la tecnología.



- Bloque 5: Generación de alternativas

Para este proceso se debe tener en cuenta principalmente las condiciones físicas que prevalezcan en la zona de estudio, de tal forma que permitan hacer una distribución del recurso, en la medida en que sea posible o brindar una facilidad de acceso a la misma, para ello se plantean cuatro variables que permitan generar las distintas opciones, ellas son: lugar de tratamiento (unifamiliar, multifamiliar o comunal), la distancia entre la población y los distintos puntos de abastecimiento, la demanda y la capacidad de la fuente y finalmente el transporte de la misma, considerando que se pueden dar puntos de almacenamiento y suministro colectivos, lo cual determinaría la forma de acarreo.

Según las distintas alternativas planteadas se debe definir el método de tratamiento a emplear, lo cual va a depender estrictamente de la calidad del agua encontrada en la fuente de abastecimiento (solo se evaluarán las técnicas que sean necesarias), para ello se propone el mismo método empleado para la selección de la tecnología para la captación, teniendo en cuenta que varía el criterio técnico el cual se evalúa según lo expuesto en el **Cuadro 14**. Este paso va a depender directamente de la técnica de captación obtenida en el bloque anterior.



**Cuadro 14.** Guía para la evaluación del criterio técnico en la selección del tratamiento de potabilización.

CRITERIO TÉCNICO			
%	Indicadores	Calif.	Niveles de puntuación
25	Simplicidad de la tecnología	5	Fácil
		3	Moderada
		1	Compleja
25	Facilidad de adaptación	5	Cumple con los siguientes condicionantes: -La tecnología se encuentra acorde con el entorno en donde sean instalados -Se integra a la comunidad. -Tecnología apta para la zona de estudio -Calidad de vida es mejorada por el sistema
		4	Cumple con 3 condicionantes
		3	Cumple con solo 2 condicionantes
		2	Cumple con solo 1 condicionantes
		1	No cumple con ninguno de los condicionantes
50	Nivel de tratamiento del agua	5-4	Alta eficiencia de remoción de contaminantes
		3,9-2	Media eficiencia de remoción de contaminantes
		1,9-0	Baja eficiencia de remoción de contaminantes

- Bloque 6: Selección de la mejor alternativa

Este bloque contempla el paso final para la selección de la mejor alternativa que más se acomode a la comunidad rural dispersa que se quiere abastecer de agua potable, para ello se evalúan las distintas alternativas generadas en el bloque anterior de acuerdo a los indicadores más relevantes para esta sección, que son: Simplicidad de la tecnología, participación comunitaria en la construcción y operación, acarreo necesario en la alternativa, inversión inicial y costos de O&M, estos indicadores se evaluarán haciendo una comparación entre las alternativas generadas. En el **Cuadro 15** se muestran la manera como se debe proceder a realizar tal evaluación. La alternativa solución será aquella que obtenga un mayor puntaje de acuerdo a éste, calificándose cada indicador dentro de un rango de 1 a 5 siendo 5 el de mayor peso.



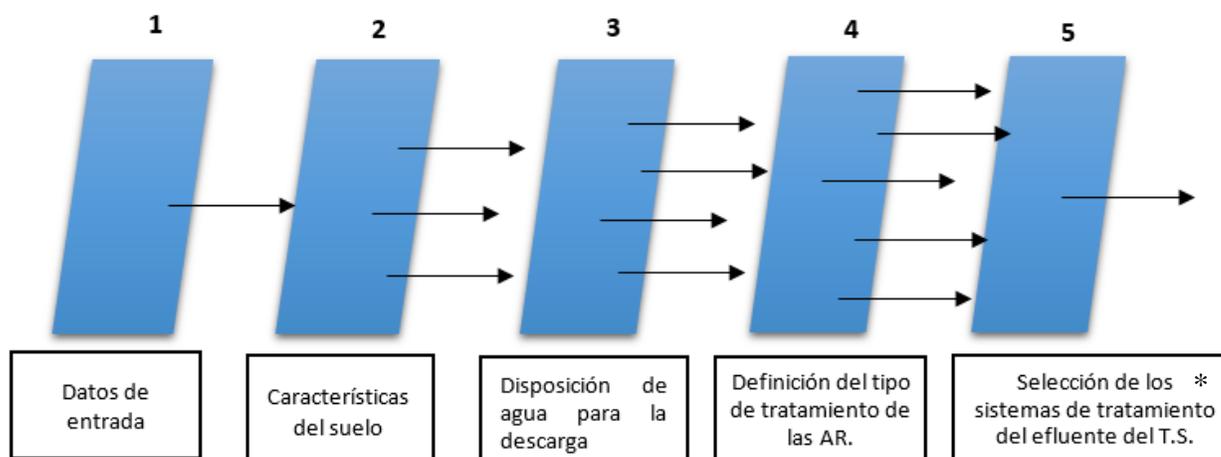
**Cuadro 15.** Método de evaluación para la selección de las alternativas.

INDICADORES	FACTOR DE PESO (%)
Simplicidad de la tecnología	15
Participación comunitaria en la construcción y operación	15
Acarreo necesario en la alternativa	20
Inversión inicial	10
Costos de O&M	40

### 5.3.2.2 Saneamiento básico

Para este caso se disponen de cinco bloques, en su orden, datos de entrada, características del suelo, disposición de agua para la descarga, definición de los tipos de tratamiento de las aguas residuales, selección de los sistemas de tratamiento del efluente del tanque séptico. Estos se presentan en la **Figura 39**.

**Figura 39.** Esquema del modelo metodológico para la selección de alternativas de saneamiento básico.



*\*Este paso solo aplica siempre y cuando en el paso 4 se seleccione el tanque séptico como sistema de tratamiento de las aguas residuales.*



- Bloque 1: Datos de entrada

Este bloque es definido de igual forma que para el servicio de agua potable, sin embargo, aquí se incluye información adicional alusiva a este servicio.

- Nombre:
- Tipo de localidad:
- Población actual:
- Índice de crecimiento(r):
- Periodo de diseño(n):
- Calculo de la población futura:
- Disposición de sanitario: Es necesario verificar si las viviendas de la comunidad no cuentan con servicio de baño y a su vez con sanitario, puesto que su construcción será el punto de partida para el planteamiento de la alternativa en saneamiento básico , lo cual va a depender del sistema de tratamiento resultante.

- Bloque 2. Características del suelo

En este bloque se deben estudiar cuatro aspectos que ayudaran a identificar aquellas tecnologías para el manejo de las aguas residuales, que se puedan implementar en la zona de estudio teniendo en cuenta, que estos van a influir de manera directa en su funcionamiento, estos son: Tipo de suelo, permeabilidad, nivel freático, disponibilidad de terreno y existencia de zonas inundables.

Para tal fin, se deben definir estos aspectos, de acuerdo a lo descrito en el numeral 4.6.1. Hecho que permitirá ir descartando aquellas tecnologías que no se adaptan a esas condiciones.



- Bloque 3. Disposición de agua para la descarga

Este bloque funciona como filtro, teniendo como limitante la disponibilidad de agua para la descarga, de modo que si en la zona de estudio no existe este recurso, pasaran este filtro aquellas tecnologías que no requieran de ello, esta condición se estudiará de acuerdo a lo puesto en el inciso 4.6.1 referente al tema.

- Bloque 4. Definición de los tipos de tratamiento de las aguas residuales

En esta parte se deben seleccionar de los distintos sistemas de tratamientos de saneamiento in situ propuestos en el capítulo 5.1.2, aquel que mejor se acomode a la zona de estudio, para ello se sugiere emplear los **Cuadros 16, 17, 18 y 19**. Esta evaluación se hará a aquellas tecnologías que hayan pasado los filtros anteriores, siendo ganadora la que obtenga una mayor calificación.

En caso de resultar como alternativa solución la implementación de tanques sépticos, se deberá proceder al siguiente bloque, en caso contrario, aquí finalizaría el proceso de selección.

**Cuadro 16.** Guía para la evaluación del criterio técnico en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

<b>CRITERIO TÉCNICO</b>			
<b>%</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Calif.</b>	<b>Niveles de puntuación</b>
60	Simplicidad de la tecnología	5	Fácil
		3	Moderada
		1	Compleja
40	Facilidad de adaptación	5	Cumple con los siguientes condicionantes: -La tecnología se encuentra acorde con el entorno en donde sean instalados -Se integra a la comunidad. -Tecnología apta para la zona de estudio -Mejora la calidad de vida de la población
		4	Cumple con 3 condicionantes
		3	Cumple con solo 2 condicionantes
		2	Cumple con solo 1 condicionante
		1	No cumple con ninguno de los condicionantes



**Cuadro 17.** Guía para la evaluación del criterio socio-cultural en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

<b>CRITERIO SOCIOCULTURAL</b>			
<b>%</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Calif</b>	<b>Niveles de puntuación</b>
15	Demanda o necesidad percibida de un servicio mejorado	5	Entre el 100-90 %
		4	Entre el 89-60 %
		3	Entre el 59-30%
		2	Entre el 29-10%
		1	Menor al 10%
		0	Ninguno
40	Nivel educativo	5	Categoría 4
		4	Categoría 3
		3	Categoría 2
		2	Categoría 1
		1	Categoría 0
25	Habilidades técnicas de la comunidad para	5-3	Cuentan con personal para el manejo de la tecnología
		2,9-0	No cuentan con personal para el manejo de la tecnología.
15	Participación comunitaria en la fabricación	5-4	Nivel 3
		3,9-2	Nivel 2
		1,9-0	Nivel 1
5	Interés de la comunidad	5	Entre el 100-90%
		4	Entre el 89-60 %
		3	Entre el 59-30 %
		2	Entre 29-10%
		1	Menor al 10 %
		0	Ninguno



**Cuadro 18.** Guía para la evaluación del criterio ambiental en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

CRITERIO AMBIENTAL			
%	Indicadores	Calif.	Niveles de puntuación
15	Afectación de la biodiversidad	5-4	Baja escala
		3,9-2	Mediana escala
		1,9-0	Alta escala
50	Emisión de contaminantes	5-4	Bajo
		3,9-2	Medio
		1,9-0	Alto
35	Exposición a patógenos	5-4	Bajo*
		3,9-2	Medio
		1,9-0	Alto

\***Bajo:** Corresponde a la menor exposición de patógenos a la que puede estar sometida el entorno con el funcionamiento de la tecnología.

**Cuadro 19.** Guía para la evaluación del económico en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

CRITERIO ECONÓMICO			
%	Indicadores	Calif	Niveles de puntuación
25	Inversión inicial	5	Se dan todos los condicionantes: - Uso de poca cantidad de materiales requeridos. - Disponibilidad de los mismos en la zona. - Requerimiento de personal capacitado (técnicos e ingeniero) en baja o nula proporción. - Uso de materiales reciclables. - Apoyo de ONG'S, entidades gubernamentales u otras.
		4	Se dan 3 de los condicionantes
		3	Se dan 2 de los condicionantes
		2	Solo se dan 1 de los condicionantes
		1	No se da ninguno de los condicionantes



\*Continuación **Cuadro 19.** Guía para la evaluación del económico en la selección de las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.

%	Indicadores	Calif.	Niveles de puntuación
60	Costo de operación y mantenimiento	5	Se cumplen todos los planteamientos -No requiere de elementos mecánicos y/o eléctricos. -Poco personal técnico y/o profesional. -Repuestos y/o elementos de operación fáciles de conseguir en la zona y poca frecuencia de sustitución. -Atención del sistema por parte de los pobladores
		4	Se cumplen 3 de los planteamientos
		3	Se cumplen 2 de los planteamientos
		2	Se cumple 1 de los planteamientos
		1	No se cumplen ninguno de los planteamientos
15	Condición económica de la población	5-3,9	<b>Nivel 2:</b> Cuando los ingresos prevaletentes en la población son suficientes para solventar los costos que implica la implementación de dicha tecnología.
		2-0	<b>Nivel 1:</b> Cuando los ingresos familiares que prevalecen en la comunidad no son suficientes para cubrir con los gastos de inversión inicial y de O&M que implica la tecnología.

- Bloque 5. Selección de los sistemas de tratamiento del efluente de tanque séptico

Dado que el tanque séptico requiere de un tratamiento de su efluente, es necesario definir el sistema que se debe implementar para ello, lo cual varía de un lugar a otro.

Para esta selección se tendrán en cuenta variables como el nivel freático, topografía del terreno, tipo de suelo y disponibilidad del terreno.



## 5.4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL CASO DE ESTUDIO

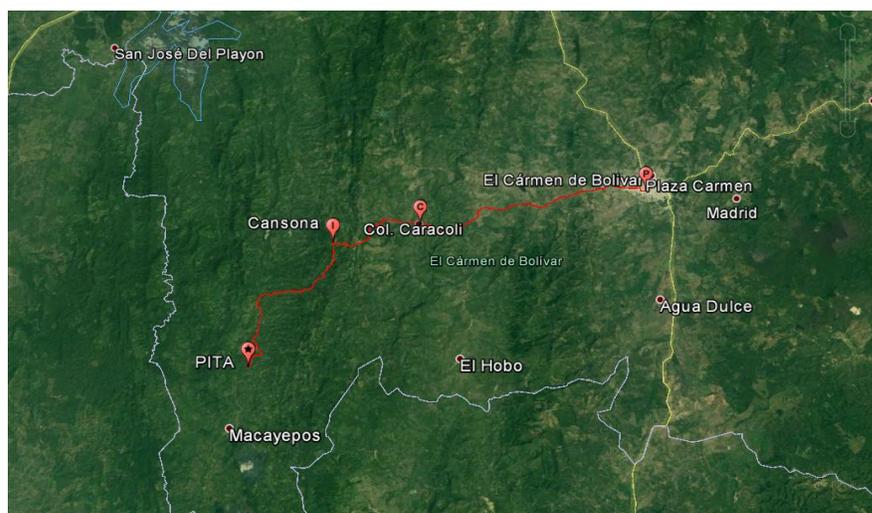
Con el fin de validar la metodología expuesta anteriormente, se seleccionó como caso de estudio a la Vereda La Pita, perteneciente al municipio del Carmen de Bolívar, al ser esta una población que posee las características para ser catalogada como una comunidad rural dispersa.

### 5.4.1 Características de la zona de estudio

#### a. Localización

La vereda La Pita se encuentra aproximadamente a 45 minutos de la cabecera municipal y a 10 minutos del corregimiento. En camino a la población partiendo desde el Carmen de Bolívar se encuentra Caracolí, Cansona y Lázaro, como se puede apreciar en la **Figura 40**. Este recorrido cuenta con una carretera asfaltada en buen estado pero con grandes pendientes y curvas cerradas, y que por los taludes de considerables alturas ya se están presentando movimientos de deslizamiento en masa que obstaculizan la vía en varios tramos.

**Figura 40.** Ruta desde La Pita hasta EL Carmen de Bolívar





## b. Población

Esta comunidad actualmente cuenta con 60 viviendas alejadas unas de otras, con distancias horizontales entre ellas que van desde 0,3 Km hasta 1,5 Km, encontrándose con grandes pendientes, caminos estrechos y escarpados, lo cual hace que el tiempo de traslado entre una vivienda y otra sea de 15 minutos como mínimo.

La población actual es de 240 habitantes con un promedio por vivienda de cuatro habitantes. Teniendo en cuenta que no se tienen registros históricos del crecimiento de la población, se realizaron entrevistas con líderes comunitarios para determinar su tasa de crecimiento, a partir de lo cual se obtuvieron los resultados mostrados en el **Cuadro 20**.

**Cuadro 20.** Población en los últimos años de La Pita

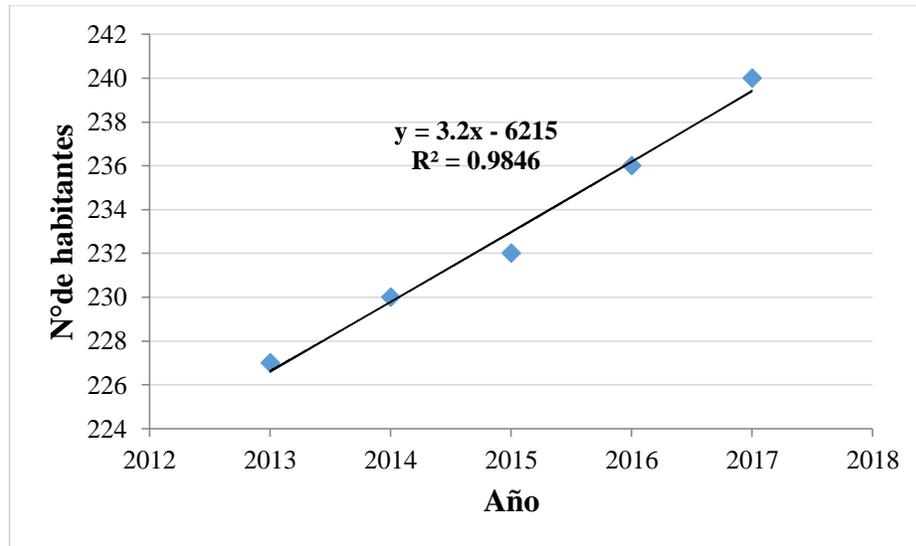
Año	Habitantes
2013	227
2014	230
2015	232
2016	236
2017	240

Fuente: Encuesta realizada a una muestra de la población.

A partir de los datos anteriores y empleando la ecuación B.2.3 del RAS (2010), se determinó que la tasa de crecimiento( $r$ ) es igual a 0,014 anual. Seguidamente se proyectó la población para un periodo de diseño de 20 años, de acuerdo al **Gráfico 1**.



**Gráfico 1.** Tendencia de crecimiento de la población.



Empleando una tendencia exponencial, la población para 20 años corresponde a 303 habitantes.

### c. Ingresos

Para los pobladores de esta vereda su única fuente de ingreso es la agricultura, cultivando productos como yuca, plátano, ñame, maíz, ajonjolí, piña y otros que son vendidos en Sincelejo, El Carmen y Macayepos. De estos mismo toman para alimentarse y solo tienen que preocuparse por la proteína que de igual manera las compran en Lázaro y Macayepos como poblaciones más cercanas y con objetos de refrigeración.

Un 93% de las familias subsisten de trescientos mil pesos mensuales (inferior a un s.m.l.v.) y solo pocas excepciones reciben más de este saldo.

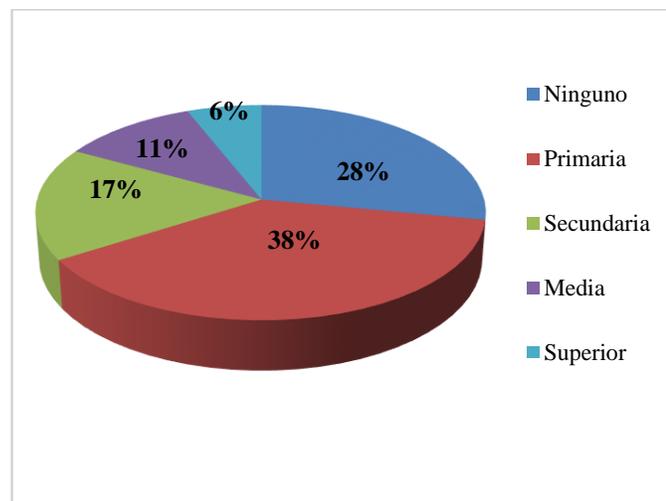
Además de ser una población de pocos recursos, no hay presencia de ninguna entidad gubernamental que le ayude a solventar sus necesidades en el ámbito de los servicios públicos básicos.



#### d. Educación

En cuanto al ámbito educativo, se tiene que entre los niveles cursados en un plantel formal por los pobladores el que más predomina es la primaria con un 38% de la muestra encuestada, seguido por ninguno de los niveles de educación en Colombia con un 28%. Sin embargo se pueden encontrar algunos habitantes con estudios superiores, lo que se evidencia en el **Gráfico 2**.

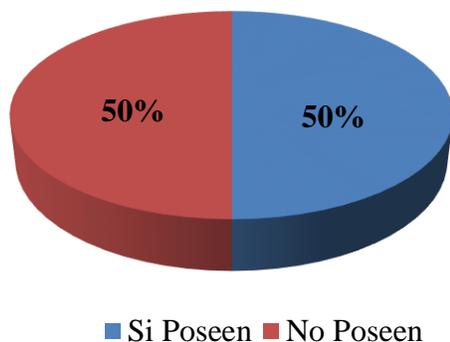
**Gráfico 2.** Nivel educativo alcanzado por los habitantes de la vereda.



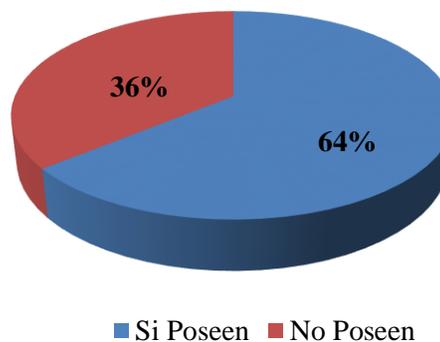
En la misma línea se tiene que un 50% de la muestra ha escuchado hablar acerca del tratamiento de aguas residuales, es decir, poseen conocimientos de educación sanitaria (Ver **Gráfico 3**). De igual forma se indagó la existencia de conocimientos con respecto a alguna tecnología para el abastecimiento de agua potable, lo cual tuvo como resultado lo representado en el **Gráfico 4**.



**Gráfico 3.** Población con educación sanitaria en la muestra encuestada.



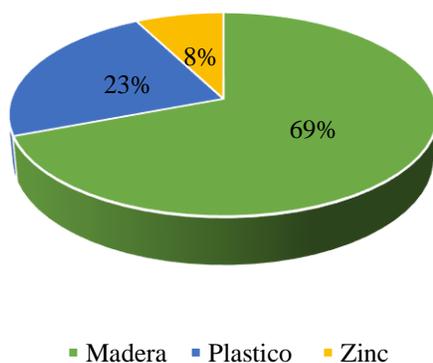
**Gráfico 4.** Conocimiento acerca de tecnologías para el abastecimiento de agua potable.



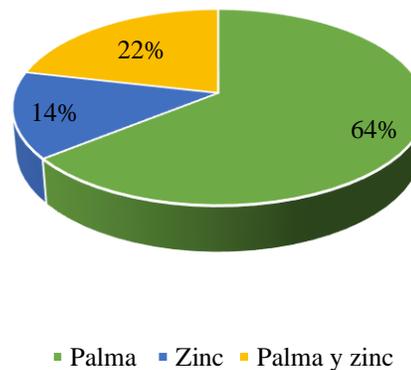
e. Condición de las viviendas

Basado en las encuestas aplicadas a la comunidad durante las visitas realizadas los días 08 de marzo, 30 de abril y 01 de mayo del año 2017, se encontró que de la muestra encuestada, el 100% posee vivienda propia, de las cuales un 64% cuenta con techo palma, un 14% con zinc y el 22% restante con techos fabricado con ambos materiales. Por su parte, un 69% cuenta con paredes de tabla, un 23% de plástico y 8% con paredes de zinc. Tal como se puede evidenciar en los **Gráfico 5**.

**Gráfico 5.** Material de las paredes en las viviendas encuestadas



**Gráfico 6.** Material de los techos en las viviendas encuestadas





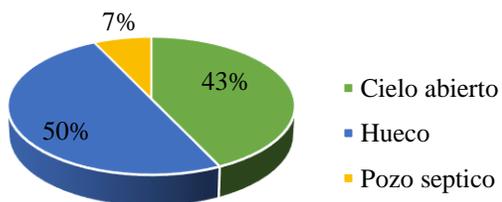
#### f. Servicios Básicos

Actualmente, la mayoría de las viviendas no cuentan con servicio de energía eléctrica. Las muy escasas que cuentan con este servicio, la toman de manera informal de poblaciones próximas a sus hogares.

Como fuente de abastecimiento de agua, recolectan agua lluvia en época de invierno pero solo aquellas viviendas que cuentan con un techo apto para ello (**Anexo 3**) y en época de verano se dirigen directamente al sitio de captación, donde algún miembro de la familia es el encargado de recoger el agua diariamente para luego ser almacenada en recipientes plásticos la de los oficios varios y en tinajeras aquella destinada a la ingesta (ver **Anexo 4**). En su mayoría consumen el agua sin ningún tipo de tratamiento de potabilización o en el mejor de los casos recurren a hervir el agua.

Por otra parte, se evidenció que las condiciones son bastante deplorables en cuanto a saneamiento (ver **Anexo 5**), tanto solo un 36% cuentan con baño y 7% realiza algún tipo de tratamiento de heces. También, un 37% realiza la disposición final de residuos sólidos en basureros satélites y otro 37% práctica la incineración. Todos estos datos se presentan en los **Gráficos 7,8 y 9**.

**Gráfico 7.** Tipo de manejo de las heces



**Gráfico 8.** Viviendas que cuentan con baños

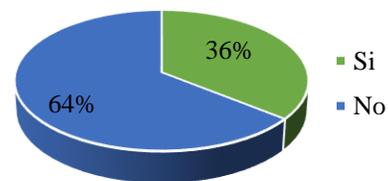
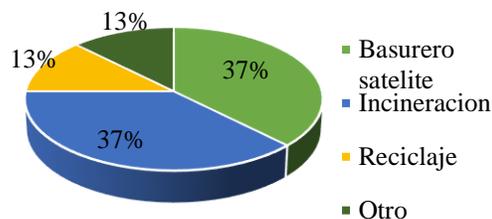




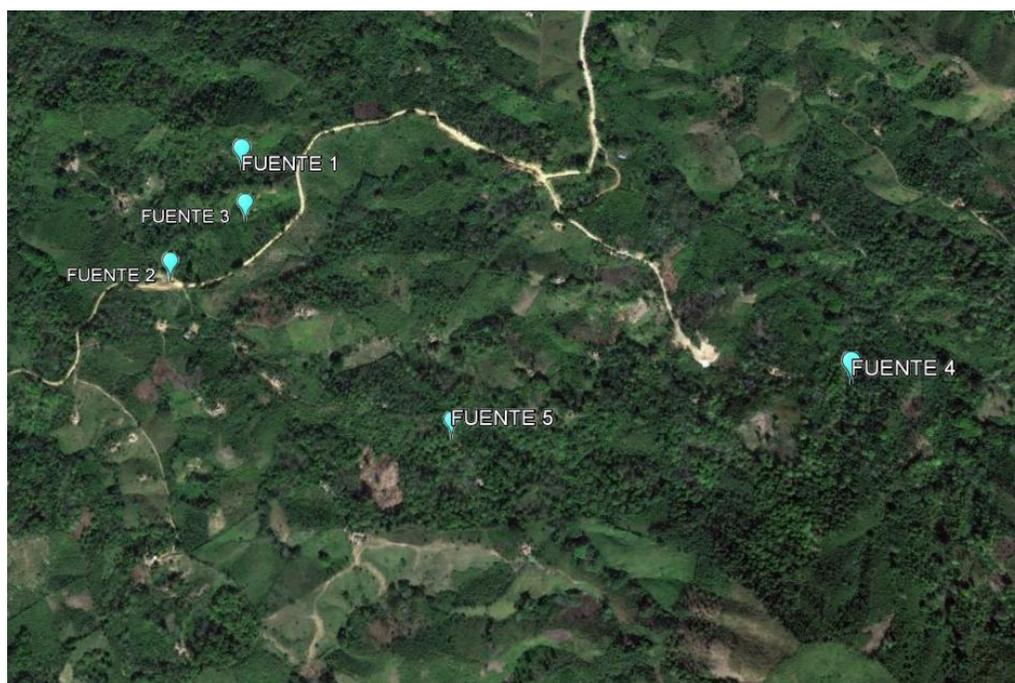
Gráfico 9. Manejo de residuos solidos



g. Fuentes de abastecimiento de agua

Durante las visitas de campo realizadas, se identificaron los distintos puntos de abastecimiento de agua (guiados por integrantes de la comunidad). Se tomaron muestras de las mismas para ser analizadas posteriormente. En la **Figura 41**, se muestra la ubicación de los mismos y en el **Cuadro 21** se encuentran detallados con sus respectivas coordenadas geográficas.

Figura 41. Localización de los puntos de agua disponibles en la zona





**Cuadro 21.** Coordenadas de localización de los puntos de agua

PUNTO	COORDENADA		ALTURA
	LATITUD	LONGITUD	
FUENTE 1	9°42'24.93"N	75°19'22.91"O	170 m
FUENTE 2	9°42'16.53"N	75°19'26.41"O	165 m
FUENTE 3	9°42'21.34"N	75°19'21.91"O	174 m
FUENTE 4	9°42'16.61"N	75°18'39.66"O	243 m
FUENTE 5	9°42'9.01"N	75°19'5.01"O	200 m
FUENTE 6	9°41'53.53"N	75°19'18.06"O	192 m

#### h. Calidad del agua

Con el fin de conocer la calidad del agua en las distintas fuentes disponible en la zona, se tomaron dos muestras para cada una y se realizaron ensayos de color, pH, turbidez y sólidos disueltos totales, los resultados de estos se presentan en el **Cuadro 22**.

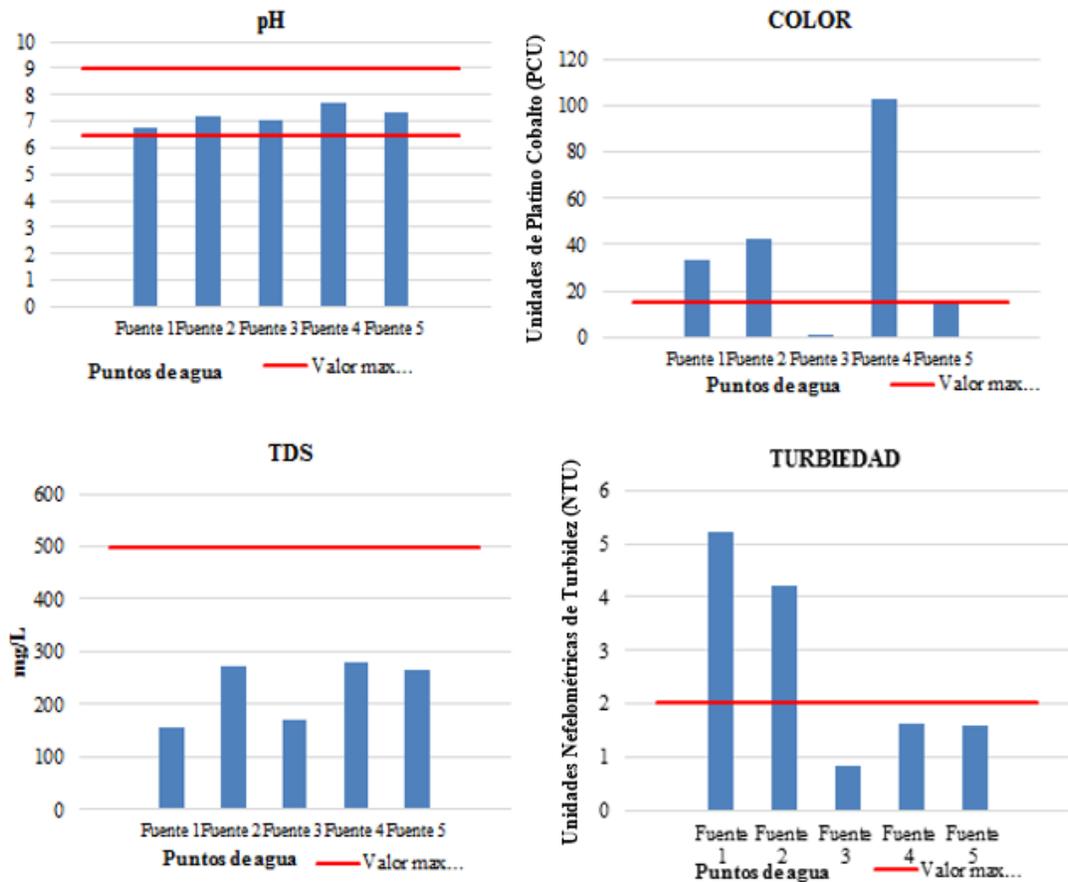
Así mismo, se muestra una comparación entre estos valores así como con los valores máximos aceptados por la normativa actual en la **Figura 42**.

**Cuadro 22.** Resultados de los parámetros medidos en las muestras

PUNTO	COLOR PCU	PH	TURBIEDAD NTU	STD mg/L
FUENTE 1	33	6,73	5,21	157
FUENTE 2	42	7,21	4,22	272
FUENTE 3	1	7,03	0,82	169
FUENTE 4	103	7,69	1,63	280
FUENTE 5	14	7,33	1,59	264



Figura 42. Parámetros de calidad estudiados en las distintas fuentes.



Como herramienta para garantizar la calidad del agua para consumo humano se calcula el IRCA para la muestra analizada por tipo de fuente, acorde a lo estipulado en la resolución 2115 de 2007, basado en los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las mismas, obteniendo como resultado los expuestos en la **Tabla 1**.



**Tabla 1.** Resultados del IRCA para la muestra de cada fuente analizada.

<b>FUENTE</b>	<b>Sumatoria de las características no aceptables</b>	<b>IRCA</b>
<b>Fuente 1</b>	31	95,38
<b>Fuente 2</b>	31	95,38
<b>Fuente 3</b>	0	0
<b>Fuente 4</b>	6	18,46
<b>Fuente 5</b>	0	0

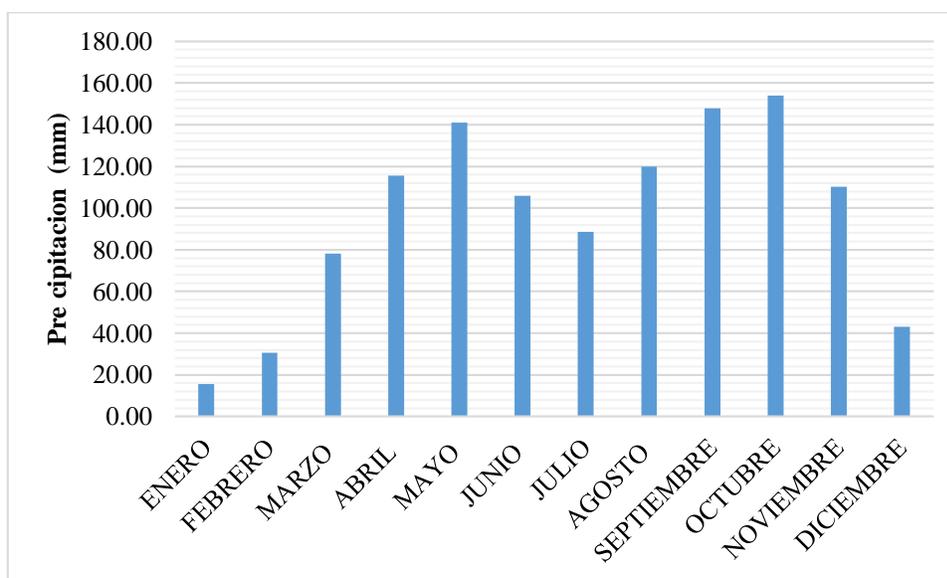
De acuerdo a los resultados encontrados y a la clasificación del nivel de riesgo en salud que establece dicha resolución, se tiene que dos (2) de las cinco (5) muestras ensayadas no presentan riesgo alguno, mientras que para las fuentes 1 y 2 se catalogan como inviables sanitariamente y la fuente 4 con un nivel de riesgo medio.

i. Precipitación

Esta es una zona que presenta un clima tropical, con dos periodos, uno de sequía y uno de lluvia, con temperaturas entre 26 y 30 grados. Para el estudio de las precipitaciones se tuvo en cuenta la información meteorológica, obtenida a través de los datos pluviométricos registrados en la estación Carmen de Bolívar (29015020), correspondiente a la cabecera municipal del área de estudio (ver **Anexo 6**) registros que corresponden a la precipitación media mensual entre los años 2000 y 2015, con base en los cuales se obtuvo el promedio de precipitación mostrado **Gráfico 10**. Cabe aclarar que se tuvieron en cuenta estos datos, puesto que es la estación más cercana en la zona y representan una estimación de las precipitaciones reales correspondientes a La Pita.



**Gráfico 10.** Precipitaciones-Promedios mensuales registrados en la estación El Carmen.



Fuente: Estación El Carmen de Bolívar- IDEAM (2016)

A partir de los datos registrados, la precipitación promedio anual es de 95,87 mm, encontrándose que los meses de mayor precipitación son mayo, septiembre y octubre, y los más críticos corresponden a diciembre, enero, febrero y marzo.

#### j. Suelo

El suelo predominante está conformado por Arenitas líticas granodecrecientes de conglomeráticas a arenas de grano fino intercaladas con lodolitas y olitostromas de calizas micríticas, pertenecientes a la formación Carmen de acuerdo al Servicio Geológico Colombiano (2015), tal como se evidencia en el **Anexo 7**.



## 5.4.2 Validación de la metodología y alternativas seleccionadas

En esta parte se realizó la aplicación de la metodología al caso de estudio en la vereda La Pita, partiendo de los datos obtenidos en el inciso anterior.

A continuación se presentan el proceso seguido para la selección de la alternativa según el servicio en cuestión.

### 5.4.2.1 Agua potable

#### Bloque 1. Datos de entrada

- Tipo de localidad:  
 Vereda  
 Corregimiento  
 Caserío
- Población actual: 240 hab.
- Periodo de diseño(n): 20 años
- Población futura: 303 hab.
- Consumo: Según la información recolectada, la población consume en promedio 5 latas de agua de 25 litros al día (como las que se muestran en el
- **Anexo 8**), lo que equivale a 125 litros/vivienda/día.



## Bloque 2. Determinación del tipo de fuente de abastecimiento

Se identificaron siete (7) fuentes de agua, las cuales se clasificaron según su tipo, como se muestra en el **Cuadro 23**.

**Cuadro 23.** Fuentes de agua identificadas en la zona.

Tipo de fuente	Superficial	Subterránea	Lluvia
<b>Fuente 1</b>	X		
<b>Fuente 2</b>	X		
<b>Fuente 3</b>		X	
<b>Fuente 4</b>	X		
<b>Fuente 5</b>		X	
<b>Fuente 6</b>			X

La fuente 1 corresponde a un pequeño manantial, la 2 a un arroyo de bajo caudal, (disponible solamente en época de invierno) y la 4 un pequeño riachuelo. Para el caso del agua subterránea, la fuente 3 corresponde a un pozo de aproximadamente 2,5 m de profundidad, acondicionado con block en sus paredes, la fuente 5 a un pozo excavado en estado natural con poca profundidad y la fuente 6 a las aguas lluvias. En la **Figura 43** se pueden apreciar desde la fuente 1 a la fuente 5.

Para efectuar la evaluación de la recolección de agua lluvia como una fuente de abastecimiento para la comunidad, se consideraron las precipitaciones de la zona, siendo estas suficientes para tal fin.

**Figura 43.** Fuentes de agua identificadas en el área de estudio.



### **Bloque 3. Estudio general y selección de la fuente.**

Para desarrollar la selección de los puntos de abastecimiento se tuvieron en cuenta los cinco parámetros establecidos en la metodología seguida. A partir de ello se descartaron las fuentes 2 y 4, puesto que no presentan una buena calidad en comparación con las otras y no garantizan el suministro en épocas de sequía dado que manejan un bajo caudal, dato estimado por medio visual y de las entrevistas realizadas. Así mismo, se dificulta su accesibilidad debido a las condiciones topográficas prevalecientes (grandes pendientes y caminos incomodos) y las grandes distancias de recorrido, necesitando un gran esfuerzo y tiempo de los habitantes para la búsqueda del recurso hídrico.



Pese a las precipitaciones en la región, de acuerdo al material predominante de los tejados (Ver **Anexo 9**) y la demanda a cubrir, se deduce que el agua lluvia no puede ser considerada como única fuente de abastecimiento para la población, puesto que implicaría el acondicionamiento de todo el sistema, que va desde la colocación de techos en material apto para esta técnica hasta la compra de tanques de almacenamiento con grandes capacidades para cubrir la demanda, lo cual representa un alto costo.

En conclusión, se seleccionaron como puntos de abastecimiento las fuentes 1, 3 y 5, sin descartar la recolección de agua lluvia para aquellas viviendas que posean los elementos que integran el sistema de captación.

#### **Bloque 4. Selección de la tecnología de captación.**

En esta sección se evaluaron las técnicas de captación para aguas subterráneas y aguas superficiales, al ser estas los dos tipos de fuentes seleccionadas. Además, solo se hizo la evaluación de aquellas técnicas que resultan factibles para la población en cuestión, se descartaron las electrobombas como alternativas para la realizar la captación, debido a la ausencia de energía eléctrica, lo cual hace imposible su implementación y los vertederos laterales, puesto que ninguna de las fuentes seleccionadas corresponden a un río o arroyo.

Los puntajes resultantes como producto de la aplicación de los **Cuadros 10,11, 12 y 13** se muestran en el **Cuadro 24**, según esto se tiene que las técnicas sostenibles aptas para la captación de aguas subterráneas y superficiales en las fuentes seleccionadas en el bloque anterior son las bombas manuales y la protección de manantiales, con un puntaje final de 3,90 y 4,21 respectivamente.



**Cuadro 24.** Puntajes resultantes en la evaluación de las técnicas de captación de las distintas fuentes.

INDICADORES	A.SUBTERRANEA				A.SUPERFICIAL	
	A	B	C	D	E	F
Simplicidad de la tecnología	4	3	2,5	4	5	3
Facilidad de adaptación	4	4	4	4	4	3
Uso energía	5	3	3	1	5	5
<b>TECNICO</b>	1,10	0,79	0,73	0,70	1,21	0,95
Demanda o necesidad	3	3	3	3	3	3
Nivel educativo de la	2	2	2	2	2	2
Habilidades técnicas para	5	4	3	4	5	2
Participación durante la	4	3,5	2	3	4	2
Interés de la comunidad	3	3	3	3	3	3
<b>SOCIAL</b>	0,84	0,74	0,63	0,73	0,83	0,55
Afectación de la biodiversidad	5	5	3,5	2	5	5
Emisión de contaminantes	5	5	5	2	5	5
Contaminación durante la construcción	3	4	4	5	3	5
<b>AMBIENTAL</b>	1,18	1,21	1,12	0,61	1,18	1,25
Inversión inicial	3	1	1	1	4	2
O&M	3	4	3	3	4	5
Condición económica	4	3	2	2	4	2
<b>ECONOMICO</b>	0,65	0,78	0,60	0,60	1,00	0,94
<b>TOTAL</b>	<b>3,90</b>	<b>3,61</b>	<b>3,13</b>	<b>2,69</b>	<b>4,21</b>	<b>3,61</b>

**A:** Bomba manual, **B:** Bomba eólica, **C:** Bomba solar, **D:** Motobomba, **E:** Protección de fuentes, **F:** Ariete hidráulico.

### Bloque 5. Generación de alternativas

El planteamiento de las distintas alternativas se hizo a partir los distintos puntos de abastecimiento seleccionados y de la técnica de captación resultante (Bloques 3 y 4 respectivamente), a partir de ello se infiere que la mejor técnica para el tratamiento debe ser de tipo unifamiliar y así mismo, que para el suministro se deben desplazar hasta el lugar de fuente. Éstas van a variar de acuerdo a la cantidad de viviendas a abastecer y de las distancias de recorrido.



Para escoger el tratamiento de potabilización se siguió la evaluación plasmada en los **Cuadros 11, 12, 13 y 14**, cuyos resultados para agua superficial se muestran en el **Cuadro 25** y a partir del cual se determinó que la tecnología sostenible para la potabilización del agua en esta comunidad es el filtro lento de arena, con una puntuación de 4,39. Este procedimiento se hizo basado en la remoción de turbiedad, al ser este el parámetro que superó los límites aceptables en este tipo de aguas. Para el caso de este resultado, adicionalmente se seleccionó entre los dos sistemas de desinfección evaluados (sodis e hipoclorador) aquel que obtuvo mayor puntaje, que corresponde al hipoclorador con 4,01.

De acuerdo a las muestras de agua ensayadas, las fuentes subterráneas cumplen con los parámetros de calidad establecidos, debido a que comúnmente este tipo de aguas se caracterizan por poseer altos niveles de dureza, lo cual está asociado con la presencia de sólidos totales disueltos y que para este caso se encuentran inferiores al límite normativo, además de que su valor del IRCA fue cero. Por ende, solo se propone hacerle una desinfección a las aguas procedentes de estas fuentes y por ello, de las técnicas evaluadas anteriormente, solo se analizaron aquellas que permitan llevar a cabo tal fin, a partir de lo cual se obtuvo que la técnica sostenible para tratar el agua de las fuentes subterráneas es el hipoclorador, con un puntaje de 4,01 contra un puntaje de 3,99 para la técnica de desinfección solar (sodis).

Cabe resaltar, que se deben realizar estudios más específicos si se decide tomar el agua de estas fuentes, de acuerdo a la alternativa propuestas, donde se estudien otros parámetros de calidad.



**Cuadro 25.** Puntajes obtenidos en la evaluación de las tecnologías de tratamiento para aguas superficiales.

INDICADORES	TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Simplicidad de la tecnología	4	4	4	4,5	4	5	5	4,5
Facilidad de adaptación	5	5	4	4	4	4	4	4
Nivel de tratamiento	4	4,5	3,5	4	5	2	2	4
<b>TECNICO</b>	1,06	1,13	0,94	1,03	1,13	0,94	0,81	0,97
Demanda o necesidad percibida	3	3	3	3	3	3	3	3
Nivel educativo de la población	2	2	2	2	2	2	2	2
Habilidades técnicas para O&M el sistema	4,5	4,5	4	4	3	5	5	5
Participación durante la construcción	4	4	3,5	4	3	5	5	4
Interés de la comunidad	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>SOCIAL</b>	0,79	0,79	0,74	0,75	0,65	0,85	0,85	0,83
Afectación de la biodiversidad	5	5	5	5	5	5	5	5
Emisión de contaminantes	5	5	5	5	5	5	5	5
Contaminación durante la construcción	4	5	4	4	4	5	5	4
<b>AMBIENTAL</b>	1,21	1,25	1,21	1,21	1,21	1,25	1,25	1,21
Inversión inicial	4	4	4	4	3,5	5	5	5
O&M	5	5	4	4	3,5	4	5	3,5
Condición económica	5	5	4,5	4	3,5	5	5	4
<b>ECONOMICO</b>	1,23	1,23	1,03	1,00	0,88	1,08	1,25	0,94
<b>TOTAL</b>	<b>4,29</b>	<b>4,39</b>	<b>3,91</b>	<b>3,99</b>	<b>3,86</b>	<b>3,99</b>	<b>4,16</b>	<b>4,01</b>

**A:** Filtros de mesa, **B:** Filtro lento de arena, **C:** Filtro casero de Carpom, **D:** FILTRON, **E:** FIME, **F:** SODIS, **G:** Metodos artesanales, **H:** Hipoclorador

- Alternativa 1

Esta alternativa está compuesta por tres puntos de abastecimiento, que cubren distintos sectores de la población como se puede apreciar en la **Figura 44**. Para esta distribución se tuvo en cuenta la distancia de las viviendas hasta las fuentes y por ende el acarreo que requiere adquirir el agua.



El proceso de captación para la fuente 1 se dará por medio de protección de la fuente y la fuente 3 y 5 a través de la implementación de una bomba manual para cada caso, que incluye la adecuación del pozo, específicamente ampliar la capacidad de los mismos con perforaciones y de manera garantizar su permanencia.

Por su parte, el tratamiento para la fuente 1 se hará a través de un filtro lento de arena y para las fuentes 3 y 5, solo se implementará un hipoclorador para la desinfección del agua, debido a la buena calidad presentada.

**Figura 44.** Zona que cubren los tres puntos de agua considerados en la alternativa 1.



- Alternativa 2

Esta alternativa es el resultado de hacer la distribución del recurso hídrico por medio de dos fuentes; la 3 y la 5, como se evidencia en la **Figura 45**, considerando que la fuente 3 tiene una mayor capacidad y las distancias de recorrido con relación a la otra fuente considerada en la alternativa 1 resultan poco significantes, tal como se comparan en la **Tabla 2**. Se



emplearán la técnica de captación de bombas manuales e hipoclorador para la potabilización del agua para consumo.

**Tabla 2.** Distancias de recorrido desde las viviendas a cada una de las fuentes

Distancia en km		
Casa	Fuente 1	Fuente 3
1	0,96	1,06
2	0,98	1,08
3	0,81	0,89
4	0,71	0,81
5	0,83	0,90
6	0,96	1,05
7	1,06	1,11

**Figura 45.** Zona que cubren los dos puntos de agua considerados en la alternativa 2.





## Bloque 6. Selección de la mejor alternativa.

Este último paso se definió luego de aplicar la guía plasmada en **Cuadro 15**, y analizar los aspectos que en él se muestra para cada una de las alternativas formuladas.

**Cuadro 26.** Resultados de la evaluación de las alternativas.

INDICADORES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Simplicidad de la tecnología	4	4,5
Participación comunitaria en la construcción y operación	4,5	4,5
Acarreo necesario en la alternativa	4	3
Inversión inicial	3	4
Costos de O&M	3	4
<b>TOTAL</b>	<b>3,58</b>	<b>3,95</b>

De acuerdo al **Cuadro 26**, se tiene que la mejor alternativa para satisfacer las necesidades de agua potable en la vereda La Pita es la alternativa 1, con un puntaje final de 3,95.

### 5.4.2.2 Saneamiento básico

#### Bloque 1: Datos de entrada

Teniendo en cuenta que para este caso de estudio se evaluaron los dos servicios, en este bloque solo se tuvo en cuenta la parte correspondiente a la disposición de sanitario, puesto que los demás datos permanecen igual que para el servicio anterior.

Según las encuestas realizadas se obtuvo que el 64% de la población no cuentan con instalaciones sanitarias, por lo que se hace necesario la construcción de estas.



## **Bloque 2: Características del suelo**

Basado en el suelo predominante en la zona y verificando mediante una prueba sencilla y practica de infiltración como se aprecia en el **Anexo 11** (el agua para descender 1 cm se tardó 5 min), se argumenta que la permeabilidad del suelo es media.

Se tiene que el nivel freático esta aproximadamente entre 1,5 a 2 m de la superficie. Dato estimado a partir de la información suministrada por los habitantes, quienes a menudo realizan trabajos en la tierra para sus actividades agrícolas. De igual forma, los terrenos de esta población están caracterizados por no ser inundables, puesto que cuentan con grandes pendientes.

Dado que esta es una zona rural sus viviendas poseen gran área de extensión, lo que garantiza que disponen de espacio para la construcción de cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales.

## **Bloque 3: Disposición de agua para la descarga.**

Teniendo en cuenta la inspección hecha en la zona se determinó que disponen de más de 40 litros de agua diarios por persona, pese a que no cuentan con un sistema de abastecimiento hasta las viviendas. Esta cantidad de agua la pueden conseguir en las distintas fuentes existentes, además de reutilizar el agua destinada para otros oficios e incluso emplear el agua lluvia.

Según esta información y los datos mencionados en bloque anterior, se procedió a evaluar todas las tecnologías presentadas en este informe en el capítulo 5.1.

## **Bloque 4: Definición de los tipos de tratamiento de las aguas residuales**

Para la selección del sistema de tratamiento in situ se hizo uso de lo expuesto en el **Cuadro 27**, siendo ganadora la alternativa correspondiente a la letrina de sello hidráulico con una puntuación de 3,72, por lo cual no se hace necesario pasar al siguiente bloque.



**Cuadro 27.** Resultados obtenidos en la evaluación de las tecnologías de saneamiento básico.

INDICADORES	TECNOLOGIA				
	A	B	C	D	E
Simplicidad de la tecnología	4	4	4	4,5	3,5
Facilidad de adaptación	3	3	5	4	5
<b>TECNICO</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>	<b>1,10</b>	<b>1,08</b>	<b>1,03</b>
Demanda o necesidad percibida	2	2	2	2	2
Nivel educativo de la población	2	2	2	2	2
Habilidades técnicas para O&M el sistema	4	4	4	4	3,5
Participación durante la construcción	5	5	5	5	4,5
Interés de la comunidad	2	2	2	2	2
<b>SOCIAL</b>	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	<b>0,69</b>
Afectación de la biodiversidad	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Emisión de contaminantes	1	2	3,5	4	4
Exposición a patógenos	3	3	2,5	2	2
<b>AMBIENTAL</b>	<b>0,53</b>	<b>0,66</b>	<b>0,80</b>	<b>0,82</b>	<b>0,82</b>
Inversión inicial	4	4	3	4	2
O&M	5	5	5	4	4
Condición económica	4,5	4,5	4	4	3,5
<b>ECONOMICO</b>	<b>1,17</b>	<b>1,17</b>	<b>1,09</b>	<b>1,00</b>	<b>0,86</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3,34</b>	<b>3,46</b>	<b>3,72</b>	<b>3,63</b>	<b>3,39</b>

**A:** Letrina de hoyo seco, **B:** LHS ventilado, **C:** Letrina de sello hidráulico, **D:** Letrina abonera seca familiar, **E:** Tanque séptico.

#### 5.4.3 Recomendaciones e instrucciones para el diseño de las alternativas seleccionadas.

Con el fin de facilitar el diseño de las alternativas seleccionadas se proponen una serie de recomendaciones para las mismas, partiendo de las características estudiadas en la zona.

Para agua potable, se sugiere hacer estudios geoelectrónicos con el fin de diseñar y proyectar las perforaciones de pozos más profundos y así hacer una ampliación y adecuación de las dos fuentes, que garantice la permanencia de la fuente de abastecimiento en los periodos de sequía que son los más críticos.



Por otra parte, a nivel comunitario se sugiere la conformación de un comité de agua que se encargue de hacer monitoreos frecuentes del sistema, encargándose de la obtención de repuestos y/o materiales cuando sean necesarios (como el suministro del hipoclorito de calcio, los repuestos para las bombas) y también para que reciban y den a la comunidad una capacitación y concientización para su uso y mantenimiento. Así mismo, que se haga un seguimiento periódico para supervisar que se haga un adecuado manejo del recurso hídrico evitando que se presenten desperdicios.

De igual forma, dado que cuentan con tanques de almacenamiento con capacidad de 500 litros y en algunos casos de 1000 litros. Se recomienda hacer uso de ellos para almacenar el agua y de esta manera evitar el transporte frecuente hacia el lugar de abastecimiento obteniendo un mejor rendimiento y a su vez un menor esfuerzo físico por parte de los habitantes.

Para determinar el tipo de bombas manuales a implementar se deben tener en cuenta las disponibles en el mercado local y de esta manera escoger aquella que se adapte a las condiciones predominantes en los pozos existentes.

Para la alternativa de saneamiento, se debe tener en cuenta que el tipo de inodoro a usar debe ir acorde al sistema de sello hidráulico, ya sea un inodoro corriente o una taza con sifón de fondo. El baño tiene que ubicarse en lugares retirados de la cocina teniendo en cuenta la estructura de estas viviendas, para evitar la contaminación de los alimentos. Se debe tener especial cuidado al momento de retirar los lodos, lo cual se debe hacer de manera segura. Teniendo en cuenta la profundidad del nivel freático, se deben jugar con las dimensiones de manera que el fondo del pozo quede retirado del mismo.



## 6 CONCLUSIONES

Con este proyecto de investigación se pretende brindar una fase inicial para proyectos de agua potable y saneamiento básico que se deseen emprender en comunidades rurales dispersas, es por ello que condujo a la elaboración de una metodología que permita la selección de alternativas sostenibles de esta índole, basándose en los cinco criterios de la sostenibilidad: técnico, sociocultural, ambiental, económico y legal. Este último interactuando en cada uno de los anteriores, según la normativa legal vigente.

Para cada uno de estos criterios se definieron una serie de indicadores que son esenciales para evaluar el desarrollo sostenible de los distintos sistemas, cada uno representando una parte importante dentro del proceso de selección. Entre los más importantes se tienen: simplicidad de la tecnología, facilidad de adaptación, uso de energía y nivel de tratamiento para la parte técnica; demanda o necesidad percibida de un servicio mejorado, nivel educativo, habilidades técnicas de la comunidad para operar y mantener el servicio, participación comunitaria en la construcción para el aspecto sociocultural; emisión de contaminantes, afectación de la biodiversidad y exposición a patógenos para el ámbito ambiental y finalmente la inversión inicial, costo de operación y mantenimiento y condición económica para el criterio económico.

En cuanto a la elección de aquellos factores empleados en otras metodologías como las planteadas por el CINARA, IRC y Sara y Katz, se optó por emplear el análisis multicriterio etapas y la ponderación de factores, dado que fueron aquellos que predominaron en la literatura, por proyectar resultados confiables y aceptables, además, de que estos permitieron un mejor manejo por parte de los autores. Se puede decir que esta elección resulto ser acertada, luego de plantear la metodología, puesto que se tiene en cuenta la importancia de todas las variables y su grado de incidencia en el planteamiento de las distintas alternativas. Así mismo, se eligió el esquema de bloques usado por el CINARA, con el fin de facilitar al usuario el procedimiento a seguir. El uso del método de la ponderación de factores se



propuso en la selección de las técnicas de captación y tratamiento de agua potable y para saneamiento se usó en la escogencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tal como lo indica la literatura, las tecnologías aplicables a comunidades rurales dispersas son las no convencionales, por ser las que mejor se acoplan a las condiciones predominantes en estas poblaciones. Luego de llevar a cabo la descripción de estas, se puede decir, que sus principales ventajas radica en que son fáciles de implementar y que no representan elevadas inversiones de construcción y O&M. Estas han sido estudiadas e implementadas en estas comunidades principalmente por organismos internacionales como la CEPIS, OPS y OMS y el BID.

En la aplicación al caso de estudio, se generaron dos alternativas para el abastecimiento de agua potable, teniendo en cuenta las características predominantes en la zona y las tecnologías que mejor se adaptan a ella, según la evaluación planteada por la metodología. La primera consideró tres puntos de abastecimiento, dos de los cuales son procedentes de agua subterránea y uno de agua superficial, por su parte la segunda solo considera las dos fuentes procedentes del agua subterránea. La técnica resultante para la captación de las fuentes subterráneas corresponde a bombas manuales y para su tratamiento el hipoclorador, mientras que para la captación y el tratamiento del agua superficial ganó la protección de la fuente y el filtro lento de arena respectivamente junto con una desinfección con hipoclorador, con una posterior desinfección por medio de hipoclorador. De la confrontación de estas dos alternativas generadas, se obtuvo que la segunda era la más conveniente para garantizar una gestión integral de la sostenibilidad del servicio, debido a que después de la realización de la ponderación de los distintos factores de evaluación, obtuvo una puntuación final de 3,95 contra los 3,58 resultantes la alternativa 1. Esta diferencia de puntuación radica en la simplicidad de la alternativa, la participación comunitaria y sus costos.

Para saneamiento básico, resultó que la tecnología a emplear en la población acorde al proceso metodológico planteado, es la construcción de letrinas de sello hidráulico acompañadas de sus respectivos baños acondicionados. Esto se infirió al obtener una mayor



puntuación con relación a las otras tecnologías evaluadas, exactamente con una calificación total de 3,72.

Finalmente, las alternativas resultantes luego de la aplicación de esta metodología serán apropiadas en la medida en que se estudien y analicen correctamente los indicadores incidentes en los aspectos técnicos, social, medioambiental y económico. De esta manera, serán compatibles con el entorno en el cual se deseen implementar y ofrecerán la posibilidad de un mayor desarrollo social.



## **7 LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se exponen las limitaciones encontradas a lo largo del desarrollo de este proyecto, así como las respectivas recomendaciones para futuras investigaciones, con el fin de que estas se tengan en cuenta y hacer más productivos los resultados obtenidos.

### **7.1 Limitaciones**

Las limitaciones presentas en esta investigación se describen a continuación:

- Adquisición de la información secundaria relacionada a distintas metodologías que estén más encaminadas a la selección de alternativas sostenibles para agua potable y saneamiento básico, en las cuales se precisen los mecanismos de evaluación y análisis de las distintas variables que inciden directamente en ello.
- Empleo de otros mecánicos de consulta a los expertos como encuestas en línea, para poder ampliar el número de personal consultado para la asignación de los distintos pesos en la aplicación del método de ponderación de factores, para globalizar la consulta, obteniendo opiniones de asociaciones gremiales u otros. A esto se le suma, la falta de disponibilidad de tiempo de algunos de los expertos solicitados puesto que solo se hicieron entrevistas. .
- Obtención de la información primaria alusiva al crecimiento de la población en los últimos años, mediciones geoelectricas y estudios de suelo para la determinación específica del tipo de suelo.
- Accesibilidad a las viviendas, debido a las grandes distancias entre ellas y las condiciones del terreno (zona de montañas, caminos incomodos) dificultando el



tránsito en dichas zonas, por tanto impidiendo la localización espacial de la totalidad de las viviendas.

## **7.2 Recomendaciones**

- Realización de estudios de campo más precisos y profundos, de la calidad del agua con miras de obtener un diagnóstico más completo y detallado y así mismo llevar a cabo sondeos geoelectricos con el fin de determinar el potencial de acuíferos, si están dentro de la alternativa seleccionada.
- Preferiblemente acudir a información censal por medio de registros históricos, para una proyección más real, en caso de prescindir de este recurso, se debe acudir a datos suministrados por fuentes confiables, ya sea por la junta de acción comunal y/o por parte de líderes comunitarios.
- Ampliación de la literatura con el propósito de obtener un mayor número de documentos alusivos a los procesos metodológicos que se deben seguir para la selección de alternativas que satisfagan las necesidades de los servicios de agua potable y saneamiento en comunidades rurales dispersas.
- Ampliación del número de expertos consultados para la asignación de pesos usados en la evaluación de las distintas tecnologías, con el fin de obtener una mayor veracidad en los mismos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia Nacional de Ciencias. (2007). *Koshland science museum*. Recuperado el 1 de Octubre de 2016, de <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Overview/Why-is-Safe-Water-Essential.html#top>
- AGUAYUDA. (2014). Recuperado el 10 de Abril de 2017, de Bombas Solares: <http://www.aguayuda.org/espanol/index.php/que-hacemos/agua/>
- Asociación de Servicios Educativos. (2009). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades*. Lima, Perú.
- AWWA. (2002). *Calidad y Tratamiento del Agua*. (5ta edición ed.). McGraw-Hill.
- Brikké , F., & Bredero, M. (2003). *Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation*. Geneva, Switzerland: World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre.
- Cadavil Giraldo, N. (Febrero de 2008). *Criterios de sostenibilidad para acueductos comunitario. Caso, periferia urbana del municipio de Envigado*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales . (2011). *Metologías e Indicadores de Evaluación de Sistemas Agrícolas Hacia el Desarrollo Sostenible*. Venezuela.
- Centro Las Gaviotas. (25 de 04 de 2017). *Fundación Centro Experimental Las Gaviotas*. Obtenido de <http://www.centrolasgaviotas.org/Productos.html>
- CEPIS, OPS. (2005). *Tecnología para el abastecimiento de agua en poblaciones dispersas*. Lima, Perú.
- CINARA, IDEAM, UTP. (2005). *Modelo conceptual de seleccion de tecnologias para el control de la contaminacion por aguas residuales domesticas* . Santiago de Cali .
- Cleary , B., & Duncan, S. (1997). *Tools and techniques to inspire classroom learning*. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Congreso de Colombia. (1979). *Ley 9* . Colombia.
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). *DOCUMENTO CONPES 3810. POLÍTICA PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN LA ZONA RURAL*. Colombia.
- Division de Salud Publica de Carolina del Norte. (2009). *Hoja informativa sobre las bacterias coliformes en los pozos de agua privada*. Carolina del Norte, EEUU.



- EcuRed*. (s.f.). Recuperado el 11 de 05 de 2017, de [https://www.ecured.cu/Destilador\\_solar\\_energizer](https://www.ecured.cu/Destilador_solar_energizer), F. (Ed.). (s.f.). *Energizer*. Obtenido de [http://www.energizar.org.ar/energizar\\_desarrollo\\_tecnologico\\_destilador\\_solar\\_que\\_es.html](http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_destilador_solar_que_es.html)
- Espigares Garcia, M., & Fernandez Crehuet, M. (1999). *Calidad del agua para consumo publico: Caracteres fisico-quimicos*. Granada, España : Universidad de Granada.
- Estrucplan. (19 de diciembre de 2003). *Estrucplan On Line*. Obtenido de Impactos Ambientales y Actividades Productivas: Produccion de agua en zonas rurales: [www.estrucplan.com.ar/Producciones/entregas.asp?ldEntrega=490](http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entregas.asp?ldEntrega=490)
- Falck, Mayra; Sanders , Arie; Zelaya, Rosa. (2004). *Análisis de la sostenibilidad en sistemas de agua en el área rural de Honduras*. Honduras: Carrera de Desarrollo Socioeconomico y ambiente de Zamorano.
- Flicoteaux, P. (2015). *WikiWater*. Recuperado el 03 de Abril de 2017, de Las bombas solares: <http://wikiwater.fr/e41-las-bombas-solares.html>
- Galvis C., A., & Vargas F., V. (2010). *Modelo De Selección De Tecnología En El Tratamiento De Agua Para Consumo Humano*. Santiago de Cali, Colombia.
- González H., A., Martín D, A., & Figueroa, R. (2014). *TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Grisales Penagos, D. (2010). *Sistemas No Convencionales de Tratamiento de Aguas Superficiales para Comunidades de Desplazados en Estado de Emergencia(Caso Villa-Clarín)*. Universidad Militar Nueva Granada, Programa de Ingeniería Civil. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Heinz A. , P., Otterpohl, R., Balkema, A., & Lambert, F. (2002). *Indicators for the sustainability assessment of*. UrbanWater.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado , C., & Baptista Lucio , P. (2006). *Metodologia de la investigacion* (cuarta ed.). Mexico: McGRAW.HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hidropluviales*. (2015). Recuperado el 25 de Abril de 2017, de Captación de agua lluvia: <http://hidropluviales.com/captacion-agua-de-lluvia/>
- Hidroterm*. (05 de Marzo de 2016). Obtenido de [http://www.hidroterm.com.ve/PRODUCTOS/proyecto%20bombas/bombasdeagua\\_files/pdfbombas/cpmcopp.pdf](http://www.hidroterm.com.ve/PRODUCTOS/proyecto%20bombas/bombasdeagua_files/pdfbombas/cpmcopp.pdf)
- Idear S.A. (s.f.). *Idear s.a*. Obtenido de [http://idearsa.com.ar/?page\\_id=61](http://idearsa.com.ar/?page_id=61)



- Katukiza, A., Ronteltap, M., Oleja, A., Niwagaba, C., Kansime, F., & Lens, P. (2010). Selection of sustainable sanitation technologies for urban slums — A case of Bwaise III in Kampala, Uganda. *Science of The Total Environment*, 52-62.
- Leache Setuain , I. (2013). *Tecnologías apropiadas para abastecimiento de agua y saneamiento en la zona andina para poblaciones rurales aisladas*. Pamplona: Escuela tecnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicacion.
- Loetscher, T., & Keller , J. (1997). *Decisions Involving Nuerous Criteria: The example of sanitation Planing in Developing Countries*. Brisbane: Advanced Wastewater Management Centre.
- López, D. (2013). *Portal de Energias Renovables*. Obtenido de Sitiosolar: <http://www.sitiosolar.com/politica-de-privacidad/>
- Marinof, N. (2001). *Abastecimiento de aguapor gravedad parapoblaciones ruralesdispersas. Experiencia con nuevas tecnologias*. Lima, Perú: Programa de agua y saneamiento .
- Meloni, D. (2004). *Proyecto de Cátedra.Saneamiento Ambiental*. Buenos Aires.
- Mercado Libre. (2016). Recuperado el 10 de Octubre de 2016, de <http://www.mercadolibre.com.co/>
- Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Ambiente,Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución número 2115*. Colombia.
- Ministerio de la Protección Social. (2007). *Decreto número 1575*. Colombia.
- Ministerio De La Protección Social. (2007). *DECRETO NÚMERO 1575*. República de Colombia.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua & Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2012). *Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y sanemaiento con tecnologías alternativas*. Bolivia.
- Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. (2017). *Decreto 890*. Colombia.
- Ministerio de Salud Pública. (1998). *Decreto 478*. Colombia.
- Morató, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A., & Pastor, R. (2006). *Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales*. Barcelona,España.
- Natsis, K., Makropoulos, C., Liu, S., Mittas, K., & Butler, D. (2008). Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. *ELSEVIER*, 1448-1460.
- Nieto, A. C., & Bolívar, M. L. (1997). *Establecimiento de relaciones entre la precipitación de 24 horas y las precipitaciones de una duración diferente Pt para la estación*

Castro A., P. & Muñoz A., M



meteorológica del Aeropuerto Rafael Nuñez de la ciudad de Cartagena. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.

- OMS. (2016). *Agua, saneamiento e higiene*. Obtenido de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/es/)
- OPS & CEPIS. (2004). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CAPTACIONES POR GRAVEDAD DE AGUAS SUPERFICIALES*. Lima.
- OPS & CEPIS. (2005). *GUÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA A NIVEL CASERO*. LIMA.
- OPS. (2009). *Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental*. Obtenido de Guia de orientacion en saneamiento básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm#arriba>
- OPS, COSUDE. (2005). *Tecnologías Para El Abastecimiento De Agua En Poblaciones Dispersas*. Lima.
- OPS, O. P. (2006). *Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento Utilizadas en el Ámbito Rural del Perú*. Lima.
- OPS, O. P. (2006). *CRITERIOS BÁSICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO EN LOS ÁMBITOS URAL Y DE PEQUEÑAS CIUDADES*. Lima.
- Organizacion de las Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivos del Milenio*. Recuperado el 15 de octubre de 2016, de UN: [www.un.org/es/millenniumgoals/global.shtml](http://www.un.org/es/millenniumgoals/global.shtml)
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Suiza.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Agua, saneamiento y salud (ASS)*. Suiza.
- Organización Mundial de la Salud. (Junio de 2015). *Whot Media Centre*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs392/es/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2006). *GUÍA PARA LA EDUCACIÓN SANITARIA DE USUARIOS*. Lima.
- Parr, J., & Rod , S. (2002). *choosing and appropriate technology*. UK: Wedc Loughborough University Leicestershire.
- RAS. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. República de Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Reid W, G. (1982). *Appropriate Methods of treating Water and Wasterwater in Developing Countries*. The University of Oklahoma at Norman.



- Reyes, J. (2014). *Modelos de intervención de agua y saneamiento en comunidades rurales dispersas*. México.
- Rivera, K., & Funes, D. (2003). *Soluciones innovadoras para el suministro de agua en comunidades dispersas en Honduras*. Perú: Biblos.
- Sara, J., & Katz, T. (1998). *Making Rural Water Supply Sustainable: Report on the Impact of Project Rules*. Washington: World Bank Water and sanitation program.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Atlas Geológico de Colombia*. Colombia.
- Smits, S., Tamayo, S., Ibarra, V., Rojas, J., Benavidez, A., & Bey, V. (2007). *Gobernanza y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rurales en Colombia*. Colombia: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Valdez, E. C. (2013). *Instructivo para estudio y proyecto de abastecimiento de agua potable*. México: Universidad Nacional Autónoma De México. Facultad de Ingeniería.
- Villegas Gonzales, P. A., Obregon Neira, N., Lara Borrero, J. A., Mendez Fajardo, S., & Vargas Luna, A. (2009). Herramienta informática como apoyo en la toma de decisiones en proyectos de agua potable y saneamiento en comunidades indígenas. *Avance en recursos hídricos*, 19, 39-55.
- WPS & IRC. (2003). *guide on methodology for participatory assesment (MPA) for community driven development programs*. Washington.



## ANEXOS

Anexo 1. Bibliografía seleccionada y usada en la investigación.

TITULO	AUTOR Y AÑO	ZONA DE ESTUDIO	OBJETIVOS
Análisis de la sostenibilidad en sistemas de agua y saneamiento en el área rural de Honduras	Mayra Falck, Arie Sanders y Rosa Zelaya (2004)	Honduras	Evaluar el estado de sostenibilidad de los 43 sistemas existentes (Agua potable y saneamiento básico) en las zonas rurales, mediante la metodología Sara y Katz (1998).
Abastecimiento de agua por gravedad para poblaciones rurales dispersas	Nicolas Marinof (2001)	Poccontoy y Orconmarca (Lima, Perú)	Describir y analizar el proceso mediante el cual 5 pequeñas comunidades rurales dispersas en una vertiente de fuerte pendiente lograron dotarse de un servicio auto sostenible por gravedad.
Análisis de la sostenibilidad en sistemas de agua y saneamiento 43 proyectos en la zona rural de Nicaragua.	Jorge Latorre, Luis Dario Sanchez, Javier Fernández CINARA (2003)	Managua (Nicaragua)	Analizar de manera participativa la sostenibilidad de las inversiones que se han realizado en los sistemas de agua, higiene y recursos hídricos.
Criterios básicos para la implementación de sistemas de agua y saneamiento en los ámbitos rural y de pequeñas ciudades	OPS 2006	Lima	Establecer los criterios técnicos básicos para la implementación de sistemas de agua y saneamiento en los ámbitos rurales y de pequeñas ciudades.
Modelo de selección de tecnología en el tratamiento de agua para consumo humano.	Alberto Galvis, Viviana Vargas CINARA 2003	Colombia	Presentar un modelo metodológico que sea concebido como una herramienta de planeación para la selección de tecnologías sostenibles.



\*Continuación Anexo 1. Bibliografía seleccionada y usada en la investigación.

TITULO	AUTOR Y AÑO	ZONA DE ESTUDIO	OBJETIVOS
Tecnologías para el abastecimiento de aguas en poblaciones dispersas	OPS/CEPIS 2005	Perú	Aportar información que ayude a mejorar las condiciones sanitarias en la población rural
Criterios de sostenibilidad para acueductos comunitarios	Nora Cadavil Giraldo 2008	Área periurbana del municipio de Envigado(Antioquia)	Evaluar la sostenibilidad del servicio comunitario de acueducto en la zona de estudio a partir del estudio de las condiciones de administración, social, económico, ambiental.
Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation	Francois Brikké y Maarten Bredero (IRC) 2003	Ginebra (Suiza)	Ayudar a los encargados de tomar decisiones a identificar las tecnologías adecuadas para su situación, teniendo en cuenta las condiciones del proyecto de la zona.
Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento utilizadas en el ámbito rural del Perú	OPS/COSUDE 2006	Lima (Perú)	Contribuir al conocimiento del sector en relación a las opciones técnicas sencillas y de bajo costo, implementadas en los últimos años en el acceso de agua potable y saneamiento básico.



Anexo 2. Formato de encuesta realizada en el caso de estudio.

ENCUESTA DIAGNOSTICO SOBRE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y SANEAMIENTO EN ZONA RURAL			
UBICACIÓN			
FAMILIA			
ENCUESTADOR			
FECHA	DD	MM	AA

1. La vivienda es: ----- Propia ----- Arrendada ----- Prestada ----- Otro			
2. Número de habitantes por vivienda			
Nombre	Sibén	Edad	Grado de escolaridad /Hora
3. ¿Cuál es la fuente de ingresos económicos y cuánto?			
4. ¿De qué material es:			
<b>Techo de la vivienda,</b>	<b>Paredes</b>	<b>Pisos</b>	
---- Zinc	---- Ladrillo	----- Arena o relleno	
--- Asbesto	---- cañas	----- Concreto	
--- Palma	---- Tablas	----- Cerámica	
--- Otros. ¿Cuál? -----	---- Block	----- Otros ¿Cuál?-----	
	---- Otros ¿Cuál? -----		
5. Área de la vivienda: _____ m <sup>2</sup>			
6. Medios de transporte: _____			
Costo _____			
7. Tiempo de residencia en la zona:			



<p>8. ¿Qué fuentes de energía utilizan?</p>
<p>9. ¿Dónde, cómo y con qué cocinan?</p>
<p>10. ¿Cuántas habitaciones tiene la vivienda? _____</p>
<p>11. ¿Dónde consiguen los alimentos?</p>
<p>12. ¿Cuenta con baño en su vivienda? ___SI ___NO</p> <p>13. ¿Con que unidades sanitarias cuenta el baño? Ducha ___ Sanitario ___ Lavamanos ___</p> <p>Sino cuenta con sanitario, ¿dónde realiza la disposición de las excretas?</p>
<p>14. ¿Con que sistema de tratamiento de aguas residuales cuenta? ___ Ninguno ___ Letrina ___ Pozo séptico ___ Otro ¿Cuál? _____</p>
<p>15. ¿Qué tipo de manejo le dan a los residuos sólidos? ___ Relleno sanitario ___ Basurero ___ Incineración ___ Otro ¿cuál? _____</p>
<p>16. ¿Con que frecuencia se enferma? ___ Menor a 1 mes ___ Entre 1 y 6 meses ___ Cada año ___ Nunca</p>
<p>17. ¿A dónde van cuando se enferman?</p>
<p>18. ¿Cuáles son las enfermedades más comunes?</p>
<p>19. ¿Ha escuchado hablar acerca del tratamiento de aguas residuales? ___ SI ___ NO</p>
<p>20. ¿Cómo se abastece de agua? Detalles (distancia, frecuencia de recolección...)</p> <p>___ Agua lluvia ___ Pozo ___ Ríos, lagunas ___ Otros ¿Cuáles?</p>



21. ¿Recolecta agua lluvia? ¿Qué uso le da? ___SI ___USO _____ ___NO
22. ¿Cuántas latas de agua gasta diario? Dimensiones y fotografía _____
23. ¿Recibe algún tipo de tratamiento el agua para consumo? ___SI ___NO ¿Cuál?
24. ¿El agua de consumo es la misma para las actividades domésticas? ___SI ___NO ¿De dónde la toma?
25. ¿Ha escuchado hablar a cerca de alguna tecnología para el abastecimiento de agua potable? ___SI ___NO ¿Cuál?
26. ¿Estaría dispuesto a participar en la construcción, operación y mantenimiento de algún sistema que se vaya a implementar en la comunidad? ___SI ___NO

### Anexo 3. Sistemas de recolección de agua lluvias existentes.





**Anexo 4.** Tinajeras usadas para el almacenamiento del agua para consumo.



**Anexo 5.** Evidencia de las condiciones sanitarias encontradas.



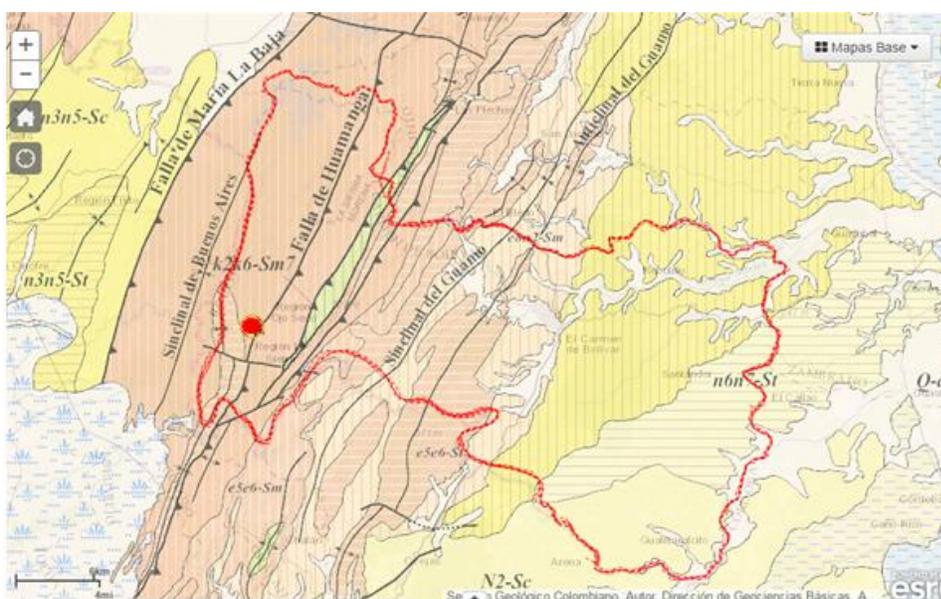


**Anexo 6.** Precipitaciones mensuales registradas en la estación en El Carmen.

Año	PRECIPITACIÓN MENSUALES(mm)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	36,5	113,2	27,2	94,8	168,3	54,1	129,8	80,4	107,2	126,2	119,93	32,6
2001	11,1	0	85,2	35,9	99,5	23,1	36,7	103,13	126,9	182,7	55,3	67,1
2002	4,3	12	34,9	199,13	150,6	101,2	116,5	68,2	304,4	134,9	27,2	44,9
2003	0	17,43	49,4	71,5	71	213,53	141,5	168,9	136,5	122,5	137,5	114,9
2004	16,6	37,5					110,4	88,3	233,5	78,1	65,8	31,8
2005	16,1	2,03	79,8	89,9	161,7	192,3	118,1	143,9	200,9	202,9	227,03	28
2006	16,1	3,6	63,5	187,7	75,3	170,3	96	107,1	116,3	173,6	80,1	27,2
2007	0,2	23,1	95,3	133,6	198,7	177,3	104,3	124	124,7	170,5	41	65,8
2008	0	76,5	101,3	170,2	136,6	73,1	70,7	86,2	218,7	133,5	291,7	5,2
2009	58,2	14,4	147	117	99,1	143,9	83,6	147,7	100,7	112,7	138,4	
2011	54,7	83,8	101,2	181,2	255,9	68,1	71,43	161	124,9	174,4	158,7	47,4
2012	3,5	3,8	11,53	152,8	147,7	69,3	64,1	115,43	118,7	264,7	79,8	56,6
2013	0	11,1	114,4	121,93	205,9	125	73,6	182,1	93,83	87,3	71,5	18,33
2014	0	44,93	92,4	47,1	78,73	42	57,3	88,1	103,5	264	50,8	21,1
2015	16,7	14,5	91,13	16	126,1	27,73	53,93	133,13	105,6	82,6		
<b>Prom</b>	<b>15,60</b>	<b>30,53</b>	<b>78,16</b>	<b>115,63</b>	<b>141,08</b>	<b>105,78</b>	<b>88,53</b>	<b>119,84</b>	<b>147,76</b>	<b>154,04</b>	<b>110,34</b>	<b>43,15</b>

Fuente: IDEAM

**Anexo 7.** Mapa geológico de la zona



Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2015)

Castro A., P. & Muñoz A., M



**Anexo 8.** Latas de agua usadas para recolectar el agua.



**Anexo 9.** Material predominante en los techos de las viviendas.





**Anexo 10.** Techo en palma en una de las viviendas de la población.



**Anexo 11.** Ensayo rápido de infiltración del suelo

