

Herramienta informática como apoyo en la toma de decisiones en proyectos de agua y saneamiento en comunidades indígenas

Informatics tool as support in the decision making for water projects and sanitation in indigenous communities

Paula Andrea Villegas González¹, Nelson Obregón Neira², Jaime Andrés Lara Borrero³, Sandra Méndez Fajardo³ & Andrés Vargas Luna³.

1. Universidad Católica de Colombia, sede Bogotá.

2. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

3. Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá.

pavillegas@ucatolica.edu.co

Recibido para evaluación: 24 de Abril de 2009 / Aceptación: 18 de Mayo de 2009 / Versión Final: 22 de Mayo de 2009

Resumen

Esta investigación propone una nueva metodología, generando no solo nuevos modelos conceptuales si no también una nueva herramienta informática para la toma de decisiones en proyectos de agua y saneamiento en comunidades indígenas. Específicamente se incorporan herramientas tales como: árboles de decisión, opiniones difusas y encapsulamiento de conocimiento experto. La metodología incluye además del diseño conceptual del modelo a desarrollar, encuestas e investigación de campo y la programación del aplicativo para generar la herramienta señalada anteriormente. Esta metodología se valida para el caso de estudio del resguardo indígena de Nazareth en el Trapecio Amazónico Colombiano. Para el caso de estudio se encontró que el mejor sistema para el tratamiento de agua potable es filtro de vela con 84%; para el tratamiento de agua residual letrina actual conectada a red de alcantarillado y humedal artificial con 70%, y para el manejo de residuos sólidos relleno sanitario manual individual con separación de la fracción orgánica para compostarla con 78% de consenso entre los expertos. La herramienta informática desarrollada contribuye a mejorar la toma de decisiones y en general el proceso de selección de alternativas de tratamiento, en donde resulta fundamental incluir no solo variables técnicas, sino también económicas, sociales y psicológicas.

Palabras Clave: sistema de saneamiento, comunidades indígenas, inteligencia artificial, opiniones difusas, paradigmas de sostenibilidad.

Abstract

This research develops a new methodology by generating not only new conceptual models but also a new IT tool as well. It would be the methodology will support the decision making in projects involving water and sanitation within indigenous communities. The tool will incorporate tools such as: decision trees, diffuse opinions and expert knowledge. The methodology also includes the conceptual design of the model for developing surveys, field research and an application to generate the tool mentioned before. The methodology is validated for the case study of the indigenous community of Nazareth in the Amazonian zone of Colombia. For this case, it was found that the best system for drinking water treatment is the sail type filter with 84%; for the treatment of residual water, current latrine connected to sewer system and artificial wetland with 70%, and for the solid waste management, single manual landfill with separation of the organic part to be composted, with 78% of agreement among experts. The informatic tool developed contributes to improve the decision making and the selection process of water treatment alternatives. It is important to include not only technical variables but economic, social and psychological variables too.

Key Words: sanitation systems, indigenous communities, artificial intelligence, fuzzy opinion, sustainability paradigms.

1. Introducción

Se estima que más de 120 millones de latinoamericanos carecen de acceso a sistemas mejorados de saneamiento. Menos del 15% de las aguas residuales son tratadas y la experiencia ha demostrado que donde no hay disponible ninguna instalación sanitaria ni sistemas de disposición de residuos sólidos, las aguas residuales permanecen en las zonas donde la población habita, y de manera general los grupos más pobres y vulnerables son los que mas sufren (WSP-LAC, 2007).

La realidad Colombiana no es diferente a la situación Latinoamericana; en el país los grupos más vulnerables son aquellos ubicados en las zonas rurales, los cuales, en la mayoría de los casos, han sido olvidados no solo por su ubicación geográfica o cultural; si no también, por su nivel de desarrollo tecnológico, que en muchos casos afecta la calidad de vida de la población debido a las deficiencias de los servicios básicos de saneamiento ambiental.

Las comunidades indígenas hacen parte de dichos grupos y han sido afectadas en su mayoría por problemas de salud pública presentados por los habitantes debido a las malas condiciones higiénicas, el consumo de agua no tratada y la generación de enfermedades por la inadecuada disposición de residuos sólidos. De acuerdo con el informe "Inventario de Agua y Saneamiento para poblaciones indígenas de Colombia", realizado por la GTZ (la Agencia de Cooperación Técnica Alemana al Desarrollo), el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y el CEPIS (el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) en el año 2003, ninguna de las 34 localidades registradas en el Amazonas cuenta con sistema de acueducto, siendo el agua lluvia el mayor suministro para consumo; adicionalmente, ninguna localidad cuenta con sistemas de potabilización.

Por otro lado, el tipo de evacuación de aguas residuales más común es el de campo abierto, encontrándose éste en 30 de las 34 localidades; en algunos casos mezclado con sistemas de pozo séptico (4 localidades), y con letrina (3 localidades). Finalmente, con relación al manejo de residuos sólidos, ninguna de las localidades evaluadas cuenta con un servicio de recolección domiciliaria y el tipo de disposición final más usado es el de cielo abierto, reportado por 20 localidades; así como el vertido en fuentes de agua en siete, enterramiento artesanal en cuatro, quema

en tres, y por último, una de las localidades combina su sistema con reciclaje.

Históricamente se han llevado a cabo proyectos de saneamiento básico en comunidades indígenas de diferentes regiones del país, de los cuales prácticamente todos han terminado en el abandono de las infraestructuras construidas (Opazo, 2007). Investigaciones preliminares indican que se presentó una nula o errónea aplicación de los conceptos de participación comunitaria propuestos por autores como Fals Borda en 1997 con la investigación, acción y participación.

Adicionalmente, estas malas prácticas suelen encontrarse en forma frecuente en la ingeniería. Las teorías existentes de participación comunitaria que pretenden lograr la apropiación de los proyectos, han surgido desde las ciencias sociales, principalmente desde la antropología y la sociología, áreas del conocimiento en las que las experiencias han sido exitosas. Sin embargo, desde la práctica de la ingeniería, estas teorías se quedan cortas al vincular sólo las variables netamente técnicas.

Desde el punto de vista ambiental y social y en el marco de la anterior problemática, esta investigación se basa en el principio que afirma, que la preservación del medio ambiente no solo debe enfocarse al cuidado de lo que denominamos naturaleza, sino también, a lograr las condiciones medioambientales óptimas para que el ser humano tenga una vida digna, independientemente del medio en el que se desarrolle.

Particularmente, esta investigación propone una metodología que puede ser usada como modelo de selección de tecnologías sostenibles a nivel mundial en regiones donde se encuentren este tipo de características, apoyándose en sistemas expertos que tienen como objetivo involucrar diversas opiniones de personas expertas en diferentes disciplinas que logran establecer las características de una comunidad y las variables que permiten a los tomadores de decisiones en tecnologías escoger algún tipo de sistema de tratamiento.

Específicamente se presentan los resultados de la implementación del modelo en el resguardo indígena de Nazareth (Colombia) y están enfocados a proponer un sistema que responda mejor a las condiciones, necesidades y prioridades del saneamiento ambiental en las comunidades indígenas de esta zona del país, sin alterar sus costumbres y creencias.

De esta manera, esta investigación representa un acercamiento para el estudio de los paradigmas de sostenibilidad hídrica encontrados en las comunidades indígenas del Trapecio Amazónico Colombiano relacionados con la escogencia de un sistema de saneamiento.

2. Metodología Propuesta para la Selección de Alternativas de Saneamiento Básico

Hoy en día existen diversas metodologías para la toma de decisiones relacionadas con la selección de sistemas de saneamiento. Entre ellas se encuentran por ejemplo los sistemas como el propuesto por el Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico CINARA de la universidad del Valle en Colombia, con un proyecto para la selección de tecnologías y análisis de costos en sistemas de potabilización de agua. También estudios como el modelo de la universidad de Oklahoma desarrollado con el respaldo de organizaciones como el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), la Organización Mundial de la Salud (OMS), y otras instituciones en Europa, África y Asia donde involucran en sus criterios de selección aspectos socioeconómicos, disponibilidad de recursos locales, calidad de agua cruda e información demográfica. En general estos sistemas se basan en parámetros asociados con aspectos económicos, sociales y técnicos, entre otros; y están planteados de manera general para comunidades con cierto número de habitantes.

2.1. Descripción General

La metodología aquí propuesta que puede ser usada como modelo de selección de tecnologías sostenibles, no solo considera aspectos sociales, técnicos, psicológicos y económicos sino las características específicas de una comunidad indígena ubicada

en el trapecio amazónico colombiano, si no también las opiniones de expertos en distintas disciplinas. Esto último con el fin de lograr capturar el conocimiento experto y llegar a acuerdos sobre alternativas de saneamiento a implementar, ya que la decisión de escoger uno de los sistemas puede estar sesgada por el conocimiento de uno u otro experto dependiendo de su experiencia académica y/o profesional.

Por otro lado, la metodología busca hacer partícipe a la comunidad indígena en el proceso de toma de decisiones, no solo con el fin de mejorar el desarrollo general de este; sino también, para potenciar la apropiación del proyecto y que no sea simplemente un sistema impuesto. En otras palabras, lo que se busca con esta metodología es involucrar a la comunidad en todo el proceso de selección e implementación de los sistemas de saneamiento, no solo al final como suele ocurrir.

El proceso de participación comunitaria se hace a través de encuestas y talleres, en los cuales se caracteriza la población y la zona de estudio a través de un diagnóstico; con esta información se implementa el modelo de selección de tecnologías sostenibles. Posteriormente, la comunidad valida las alternativas de saneamiento ambiental y a partir de este momento se inicia el proceso de gestión de recursos, capacitación, construcción, operación y mantenimiento.

La metodología general propuesta está fundamentada en la aplicación de una herramienta de modelación para la selección de alternativas de saneamiento que funciona paralela a un proceso de participación comunitaria y de expertos. Las actividades desarrolladas durante la investigación se presentan en la Figura 1 y se explican a continuación.

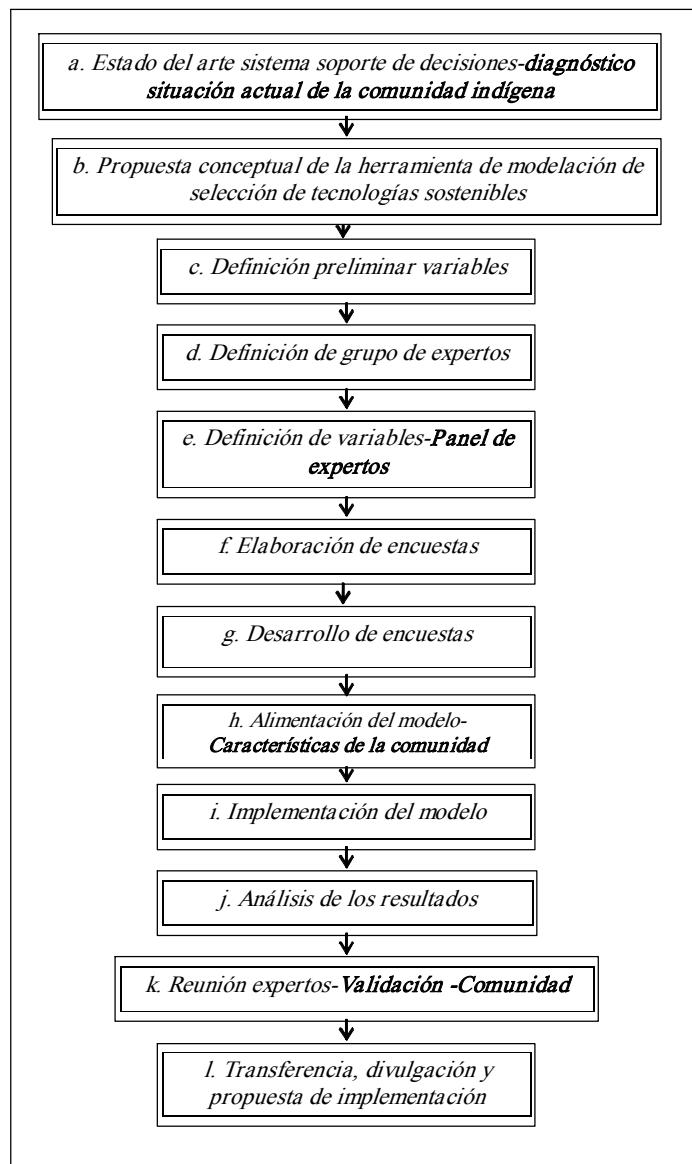


Figura 1. Esquema conceptual de la metodología de la investigación

Estas actividades están constituidas por una etapa inicial denominada estado del arte sistema soporte de decisiones (a), necesaria para escoger el tipo de modelo a emplear en el sistema de selección de alternativas de saneamiento.

Paralela a esta actividad se realiza un diagnóstico de la problemática de saneamiento en el resguardo respectivo (a). Para el caso de Nazareth, esta actividad comprendió el desarrollo de talleres de socialización para identificar las problemáticas, monitoreos de calidad de agua, encuestas de morbilidad sentida, se recopiló información de un censo hecho por la comunidad y

los datos del estado de salud de sus habitantes otorgados por el hospital en Leticia. Posteriormente, fue desarrollada una propuesta conceptual de la herramienta de modelación de selección de tecnologías sostenibles (b), cuyo desarrollo se mostrará con mayor detalle en la siguiente sección.

Después de hacer un análisis del estado del arte y del diagnóstico de las problemáticas de las comunidades indígenas, se llevó a cabo una definición preliminar de las variables (c) de entrada al modelo que podían caracterizar a una comunidad y las condiciones que debía tener un sistema de saneamiento, según dichas

particularidades. Estas variables luego fueron seleccionadas y complementadas por un (d) grupo de 13 expertos definido previamente compuesto por una Socióloga, un Teólogo y Filósofo, tres Psicólogos, una Magíster en Administración, cuatro Ingenieros Civiles, un Licenciado en Sociología, Ingeniero Sanitario, Magíster en Saneamiento Ambiental, un ecólogo y un Biólogo.

Luego se realizó un panel de expertos (e) fundamentado en algunos conceptos del método Delphi, panel que procede por medio de la interrogación de expertos con el soporte de cuestionarios, a fin de poner de manifiesto convergencia de opiniones y reducir eventuales consensos (Trujillo, 2004). En nuestro caso se tuvo en cuenta la opinión de cada uno de los profesionales en las diferentes áreas de trabajo (económica, técnica, social y psicológica) y allí fueron propuestas las variables que harían parte de la herramienta de modelación.

A partir de estas variables seleccionadas se elaboraron encuestas (f) con el fin de capturar el conocimiento experto. Dichas encuestas fueron desarrolladas (g) por un grupo de trabajo multidisciplinario logrando manejar etiquetas lingüísticas que permitieran el fácil diligenciamiento de estas. La información obtenida, fue el insumo para la construcción del modelo y su posterior implementación.

Luego con las características de la comunidad indígena de Nazareth, (h) se alimentó la herramienta de modelación obteniendo de esta manera los sistemas de saneamiento para esta comunidad. Al implementar el modelo (i) y tener los

resultados del sistema de selección de tecnologías, se realizó un análisis de los resultados (j), una reunión de expertos y unos talleres de socialización con la comunidad (k) para verificar el modelo, quienes validaron las tecnologías propuestas para el tratamiento de agua potable, agua residual y manejo de los residuos sólidos.

Una vez validadas las tecnologías, se llevaron a cabo los diseños de los sistemas de saneamiento con el fin de proponer un plan de implementación (l) que actualmente se encuentra en proceso de gestión por parte de las instituciones involucradas. Paralelo a este proceso, el proyecto atraviesa por su etapa de transferencia y divulgación (l).

2.2. Propuesta Conceptual de la Herramienta de Modelación del Sistema de Selección de Alternativas de Saneamiento

Como se mencionó con anterioridad, para el desarrollo de esta investigación, fue propuesta una herramienta de modelación apoyada en sistemas de toma de decisiones que combina sistemas expertos basados en opiniones difusas y árboles de decisión. El primero se usa para establecer un consenso entre las opiniones de un grupo de expertos en tecnologías de saneamiento y busca seleccionar las alternativas óptimas a implementar en una comunidad indígena y el segundo, aporta las características de la comunidad que serán utilizadas por dichos expertos para la toma de decisiones.

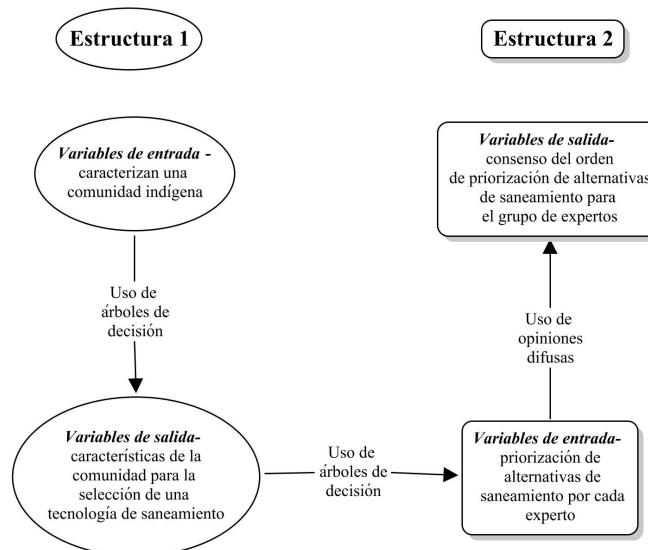


Figura 2. Estructura conceptual de la herramienta de modelación

En la estructura I (Ver Figura 2) se usan árboles de decisión, principalmente para el procesamiento de la información correspondiente a las características de una comunidad indígena. Para obtener dicha información se utilizan encuestas que poseen todas las posibles combinaciones de las variables de entrada que describen características de una comunidad (Ver primera columna, Tabla I) y son diligenciadas por sociólogos, psicólogos, ecólogos, biólogos, ingenieros, economistas, polítólogos y teólogos denominados expertos. A cada una de las variables le fue definida una categoría, etiqueta lingüística o respuesta. La concepción de esta primera parte del modelo, se hizo teniendo en cuenta las particularidades de un resguardo indígena en cuanto a cultura, hábitos, arraigos y costumbres.

De esta manera los atributos dados a las variables de entrada de la herramienta de modelación son las características de la comunidad.

En el marco de la estructura I, el primer paso para utilizar la herramienta es introducir los atributos relacionados con las características de la comunidad; por ejemplo: en el resguardo indígena de Nazareth la atención primaria de la salud es baja, la integración de los componentes de infraestructura es alta, la educación sanitaria es media y la operación y mantenimiento es media. Tomando como base estas respuestas se busca la combinación en las opiniones dadas por los expertos, para definir si la sostenibilidad es alta, media o baja. De igual forma se encuentran los atributos de las otras tres variables que se observan en la segunda columna de la Tabla I.

Este resultado se encuentra a partir de las opiniones dadas por el grupo de expertos cuando han diligenciado la encuesta correspondiente a la variable sostenibilidad. Por ejemplo, al grupo de expertos conformado por ingenieros se les pregunta (Variables

Tabla I. Variables de la herramienta de modelación para la selección de alternativas

Variables de entrada y etiquetas lingüísticas que caracterizan un comunidad indígena-Estructura 1 de la herramienta de modelación	Variables de salida y etiquetas lingüísticas de la estructura 1 que sirven para caracterizar las variables de entrada en la estructura 2 para la toma de decisiones de una tecnología
1. Atención primaria de la salud (<i>en la medida que los sistemas de tratamiento están mejorando la salud primaria de la población se puede decir que realmente el sistema puede ser sostenible, generando altos grados de confianza y por ende compromisos; porque si ocurre lo contrario y la salud empeora no va a resultar coherente sostenerlo).</i> (Alta-Media-Baja).	
2. Integración de los componentes de infraestructura (<i>esta enfocada a que los sistemas de saneamiento propuestos se encuentren acordes con el entorno en donde sean instalados, que además se integren a una comunidad, sea una tecnología apta para la zona de estudio, que la calidad del agua esté siendo mejorada por el sistema de Sostenibilidad:</i> integración de lo tratamiento y este a su vez mejore la calidad de vida de la población convirtiéndola en componentes de infraestructura una comunidad que no padezca constantemente de enfermedades asociadas con la operación y mantenimiento calidad del agua). (Alta-Media-Baja).	
3. Educación sanitaria (<i>todo sistema de saneamiento debe traer consigo un componente educación sanitaria. (Alta-Media educativo fuerte, porque la población e instituciones deben ser capacitadas, orientadas y Baja).</i> conscientizadas de la importancia que tiene para la salud de la comunidad la implementación de este tipo de tecnologías, de lo contrario el sistema fracasaría de inmediato ya que la gente no se apropiá y enseña de generación en generación las bondades de los sistemas). (Alta-Media-Baja).	
4. Operación y mantenimiento (<i>hace referencia a que en los sistemas de saneamiento implementados, se lleven a cabo buenas prácticas de operación y mantenimiento por parte de la comunidad, con la asesoría y apoyo de las instituciones que hacen parte del proyecto).</i> (Alta-Media-Baja).	

<p>Cambios de actitud: ideas y</p> <p>1. Aspecto cognitivo (<i>fuerte indica al existencia de ideas y razones lógicas a favor de la propuesta de saneamiento, y débil que no esta a favor de la propuesta de saneamiento</i>). (Fuerte-Débil)</p> <p>2. Aspecto emocional (<i>fuerte que indica al existencia de sentimientos de motivación, deseo, agrado, interés, gusto y entusiasmo frente al sistema de saneamiento, y débil que quiere decir indiferencia, disgusto y apatía frente a estos</i>). (Fuerte-Débil)</p> <p>3. Aspecto comportamental (<i>presente indica mínimas prácticas, acciones, conductas y hábitos frente a los sistemas de saneamiento y ausente no tienen mínimas prácticas, acciones, conductas y hábitos frente a los sistemas de saneamiento</i>). (Ausente-Presente)</p>	<p>razones lógicas a favor de la propuesta de saneamiento; sentimientos de agrado, entusiasmo, motivación, deseo, interés y gusto frente a los sistemas de saneamiento; prácticas, mínimos frente a los sistemas de saneamiento. (Altos-Medios-Bajos).</p>
<p>Variables de entrada y etiquetas lingüísticas que caracterizan un comunidad indígena-Estructura 1 de la herramienta de modelación</p>	<p>Variables de salida y etiquetas lingüísticas de la estructura 1 que sirven para caracterizar las variables de entrada en la estructura 2 para la toma de decisiones de una tecnología</p>
<p>1. Información (<i>para que una comunidad pueda ser participativa debe estar informada y recibir los fundamentos conceptuales de los sistemas de saneamiento que podrían ser implementado; si la comunidad no entiende de que hablan no puede participar y termina siendo ajena a los proyectos</i>). (Alta-Media-Baja).</p> <p>2. Concertación (<i>es la capacidad que tienen los actores de llegar a acuerdos frente a los sistemas de saneamiento</i>). (Alta-Media-Baja).</p> <p>3. Gestión (<i>corresponde a la capacidad que tienen los actores involucrados de realizar la gestión para obtener los sistemas de saneamiento a nivel local, regional, nacional e internacional</i>). (Alta-Media-Baja).</p>	<p>Organización, nivel y ámbitos de participación: la participación de los actores en el proyecto de saneamiento se debe dar en el analizar, el hacer y el decidir. Por lo tanto, las actividades incluyen acciones de información, educación, consulta, fortalecimiento de la iniciativa, fiscalización, concertación, toma de decisiones y gestión en todas las fases del proyecto. (Alta-Media-Baja).</p>
<p>1. Gobierno (<i>Esta variable pretende medir si el apoyo del gobierno es o no suficiente para la construcción, financiación, operación y mantenimiento, y seguimiento del sistema de saneamiento</i>). (Suficiente-Insuficiente).</p> <p>2. Universidad (<i>Igual que Gobierno</i>). (Suficiente-Insuficiente).</p> <p>3. ONG'S (<i>Igual que Gobierno</i>). (Suficiente-Insuficiente).</p> <p>4. Comunidad (<i>Igual que Gobierno</i>). (Suficiente-Insuficiente).</p>	<p>Apoyo y seguimiento institucional y comunitario: apoyo técnico, apoyo en costos de construcción, operación y mantenimiento en los proyectos de saneamiento y seguimiento por parte de la comunidad e instituciones de los proyectos. (Alto-Medio-Bajo).</p>

primera fila, Tabla I): si la atención primaria de la salud es alta, media o baja, la integración de los componentes de infraestructura es alta, media o baja, la educación sanitaria es alta, media o baja y la operación y mantenimiento es alta, media o baja, entonces la sostenibilidad en la comunidad es alta, media o baja. Se plantean entonces, todas las posibles combinaciones con dichas variables,

las cuales se convierten en preguntas para los expertos y los resultados de sus opiniones (encuestas) son encapsulados en un software para su procesamiento. Con esta metodología se logra conocer las características de cualquier comunidad indígena del trópico amazónico colombiano tomando como base sus particularidades.

Un aspecto importante a tener en cuenta fue la posibilidad de medir los niveles de sostenibilidad de un sistema de tratamiento en una comunidad indígena, factor que muchas veces ha determinado el fracaso o éxito de este tipo de proyectos.

Las variables de salida obtenidas en la primera estructura se convirtieron en las variables de entrada de la segunda estructura la cual está conformada por 2 sistemas como se observa en la Figura 2, donde a través de un sistema de árboles de decisión se obtiene un orden de priorización de alternativas de saneamiento dado por cada experto.

Por ejemplo, al grupo de expertos conformado por ingenieros civiles y sanitarios se les pregunta (Variables segunda columna,

Tabla 1): si la sostenibilidad es alta, media o baja en una comunidad indígena, los cambios de actitud son altos, medios o bajos, la organización, nivel y ámbitos de participación es alta, media o baja y, el apoyo y seguimiento institucional es alto, medio o bajo, entonces se debe seleccionar un orden de priorización de alternativas de saneamiento de agua potable (lo mismo se les pregunta a los expertos en agua residual y manejo de residuos sólidos) según la Tabla 2; una posible respuesta podría ser AP2, AP5, AP3, AP1, AP6, AP4. De esta manera son planteadas todas las posibles combinaciones utilizando dichas variables de entrada, las cuales se convierten en preguntas para los expertos y los resultados de sus opiniones (encuestas) son encapsulados en un software para su procesamiento.

Tabla 2. Posibles respuestas para las encuestas a los expertos en tratamiento de agua potable

Ejemplo de respuestas para el Tratamiento de Agua Potable (AP)	Alternativas de tratamiento de agua potable
AP1, AP2, AP3, AP4, AP5, AP6	AP1 Cloración centralizada (polvo)
AP2, AP3, AP1, AP4, AP6, AP5	AP2 Cloración individual con pastillas
AP2, AP1, AP6, AP3, AP5, AP4	AP3 Filtración centralizada
AP4, AP3, AP2, AP5, AP1.....	AP4 Filtro de vela
La respuesta debe tener todas las alternativas de saneamiento en orden prioritario según la opinión del experto para dar respuesta a las 4 variables de entrada.	AP5 Híperoxidación centralizada
	AP6 Híperoxidación individual

La información hasta este momento se trata sólo utilizando árboles de decisión, sistema que le otorga a la herramienta de modelación la capacidad de procesar la información de cualquier comunidad indígena del trópico amazónico colombiano, al apoyarse en encuestas donde se incluyen todas las posibles combinaciones que representan las características de estas comunidades y luego las tecnologías a implementar a partir de las últimas.

Para el desarrollo de los árboles de decisión se utilizó WEKA, un software de minería de datos, de libre distribución desarrollado por la Universidad de Waikato.

Posteriormente, al tener las respuestas correspondientes al orden de priorización de alternativas de tratamiento, se introducen a un aplicativo cuyo código se encuentra desarrollado en Visual Basic para aplicaciones en Excel donde se encuentra la alternativa de tratamiento apta para la comunidad. La metodología usada en dicho proceso se basa en Opiniones Difusas y busca realizar un consenso entre las opiniones de los expertos en tecnologías teniendo en cuenta las respuestas obtenidas según el orden de priorización de alternativas de saneamiento.

Esto se hace porque al escoger sistemas de saneamiento para comunidades con estas características, se encuentran gran variedad de opiniones respecto a la tecnología que debe ser implementada dependiendo de las experiencias y estudios de los expertos.

Por ejemplo, teniendo en cuenta la priorización dada por cada experto en tratamiento de agua potable, se encuentra una priorización acordada por el grupo como se presenta en la Tabla 3.

Para terminar, según el orden de alternativas para cada tipo de tratamiento, se calcula el grado de acuerdo entre los expertos; comparando cada alternativa con la decisión del grupo y evaluando el acuerdo del grupo para la priorización (resultados presentados en la sección de resultados). De esta manera se logran escoger las tecnologías más adecuadas para el tratamiento de agua potable, agua residual y el manejo de residuos sólidos, para una comunidad indígena del trópico amazónico colombiano según la opinión de un grupo de expertos y las características de la comunidad.

Tabla 3. Decisión acordada sobre el orden de priorización de alternativas de tratamiento de agua potable

Expertos	Orden de Priorización de Alternativas de Tratamiento de Agua Potable (AP)					
Experto 1	AP4	AP3	AP2	AP1	AP6	AP5
Experto 2	AP4	AP3	AP2	AP1	AP5	AP6
Experto 3	AP4	AP2	AP6	AP3	AP1	AP5
Experto 4	AP1	AP3	AP5	AP2	AP4	AP6
Decisión del grupo	AP4	AP3	AP2	AP1	AP6	AP5
Tecnologías de tratamiento de agua potable	Filtro de vela	Filtración	Coloración individual	Coloración centralizada	Híper oxidación individual	Híper oxidación centralizada

2.3. Ecuaciones y Conceptos Básicos Utilizados en la Herramienta de Modelación

Para los sistemas basados en árboles de decisión se utilizó el concepto de entropía; medida comúnmente usada en la teoría de la información que caracteriza la pureza o impureza de una colección arbitraria de patrones. Dada una colección S , la entropía de S se define como:

$$\text{Entropía}(S) = \sum_{i=1}^c - p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

Donde p_i es la proporción de S perteneciente a la clase i . El logaritmo es en base 2 porque la entropía es una medida de la longitud codificada en bits (Mitchell, 1997).

Para los sistemas basados en opiniones difusas fueron utilizados los conceptos que se presentan a continuación. Estas ecuaciones fueron encontradas y fundamentadas principalmente en los trabajos de investigación de Ben-Arieh y Chen en el año 2006.

$$\text{Consenso } (C_i) = \sum_1^m \left[\left(1 - \frac{|O_{A_i}^G - O_{A_i}^{E_k}|}{n-1} \right) * w_k \right] \quad (2)$$

Donde, C_i es el consenso respecto a i alternativas basado en la diferencia acumulada de cada uno de los m expertos y el grupo, n es el número de alternativas, k las opiniones, m el número de expertos, $O_{A_i}^G$ es el orden alternativas dadas por el grupo, $O_{A_i}^{E_k}$ corresponde al orden alternativas dadas por el experto y w es el peso que se le asigna a cada experto. El peso w representa la importancia de los expertos, el estatus o rango del experto.

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (3)$$

Donde, C es el consenso obtenido por el grupo de expertos respecto a las alternativas propuestas.

Con este modelo además de encontrar las tecnologías apropiadas, se busca medir el nivel de la calificación del consenso obtenido por el grupo de expertos y de esta forma conocer el grado de incertidumbre de la decisión tomada, mediante el mismo. El nivel de consenso es entendido según Ness y Hoffman en 1998, como una decisión que ha sido alcanzada cuando miembros de un grupo acuerdan una opinión clara y otros pocos se oponen a ésta, teniendo una oportunidad razonable de influenciar las preferencias. Todos los miembros del grupo acuerdan mantener una decisión.

3. Resultados

La población indígena seleccionada donde fue implementada la metodología de selección de alternativas de saneamiento propuesta, corresponde al resguardo indígena de Nazareth, ubicado en el departamento del Amazonas, el trapecio Amazónico colombiano, localizado en el extremo sur oriental del territorio colombiano. Limita por el Norte con los departamentos de Caquetá y Vaupés; por el oriente con Brasil; por el sur con Perú y por el occidente con el departamento del Putumayo, véase Figura 3. En la Amazonía Colombiana se han establecido resguardos indígenas, en los cuales habitan pueblos indígenas pertenecientes a las familias lingüísticas Tucano, Arawak, Witoto, Guahíbo, Makú-Puinave, Quechua, Bora, Sáliba-Piaroa, Chocó, Tikuna y Caribe, entre otros.

Esta zona geográfica, que actualmente alberga 15 resguardos indígenas, está limitada al norte por el río Putumayo, al sur por el río Amazonas, al occidente por Perú y al oriente por Brasil. El resguardo indígena se localiza en la orilla izquierda del río

Amazonas, a unos 15 km aguas arriba del casco urbano de Leticia, capital del departamento del Amazonas, Figura 3.

El territorio cubierto por el resguardo de Nazareth comprende un área de 25 hectáreas, en la cual se distribuye una población de 766 habitantes, distribuidos en 118 viviendas, (estadísticas obtenidas del censo elaborado en el 2008 por la comunidad indígena). La población del reguardo está conformada principalmente por indígenas de la etnia tikuna y en un menor porcentaje por algunos indígenas de otras etnias y algunos mestizos.

3.1. Resultados de La Herramienta de Selección de Alternativas de Saneamiento

La herramienta propuesta, fue implementada utilizando las características del resguardo indígena de Nazareth. En este resguardo se llevó a cabo un proceso de participación comunitaria con el fin de tener en cuenta las opiniones y características de la comunidad.

A continuación se presentan algunos ejemplos de los resultados obtenidos con la herramienta de modelación (Ver todos los resultados en Villegas, 2007):

Como fuente de alimentación de la herramienta fueron obtenidas encuestas que caracterizaron todas las variables. En la Tabla 4 se presenta un ejemplo de la encuesta elaborada por el grupo de psicólogos.

Tabla 4. Encuesta elaborada por el grupo de psicólogos de la Pontificia Universidad Javeriana Lucia Rojas y Fabiola Vanegas

Cambios de actitud							
N	Variable 1	Nivel	Variable 2	Nivel	Variable 3	Nivel	Respuesta
1	Aspecto cognitivo	Fuerte	Aspecto emocional	Fuerte	Aspecto comportamental	Presente	Alto
2	Aspecto cognitivo	Fuerte	Aspecto emocional	Fuerte	Aspecto comportamental	Ausente	Medio
3	Aspecto cognitivo	Fuerte	Aspecto emocional	Débil	Aspecto comportamental	Presente	Medio
4	Aspecto cognitivo	Fuerte	Aspecto emocional	Débil	Aspecto comportamental	Ausente	Bajo
5	Aspecto cognitivo	Débil	Aspecto emocional	Débil	Aspecto comportamental	Presente	Medio
6	Aspecto cognitivo	Débil	Aspecto emocional	Débil	Aspecto comportamental	Ausente	Bajo
7	Aspecto cognitivo	Débil	Aspecto emocional	Fuerte	Aspecto comportamental	Presente	Medio
8	Aspecto cognitivo	Débil	Aspecto emocional	Fuerte	Aspecto comportamental	Ausente	Bajo

Para la primera estructura fueron obtenidos árboles de decisión, que representan el comportamiento de cada una de las variables propuestas: sostenibilidad, cambios de actitud, organización, nivel y ámbitos de participación y, apoyo y seguimiento institucional y comunitario. En la Figura 4, se presenta un ejemplo del árbol de



Figura 3. Localización general de la zona de estudio, Fuente: Autor.

decisión obtenido cuando se caracteriza a la comunidad según la organización, nivel y ámbitos de participación. En este caso, las variables más importantes para estimar este atributo serían la capacidad de gestión de la comunidad, y la información, en segundo lugar.

- Tree View

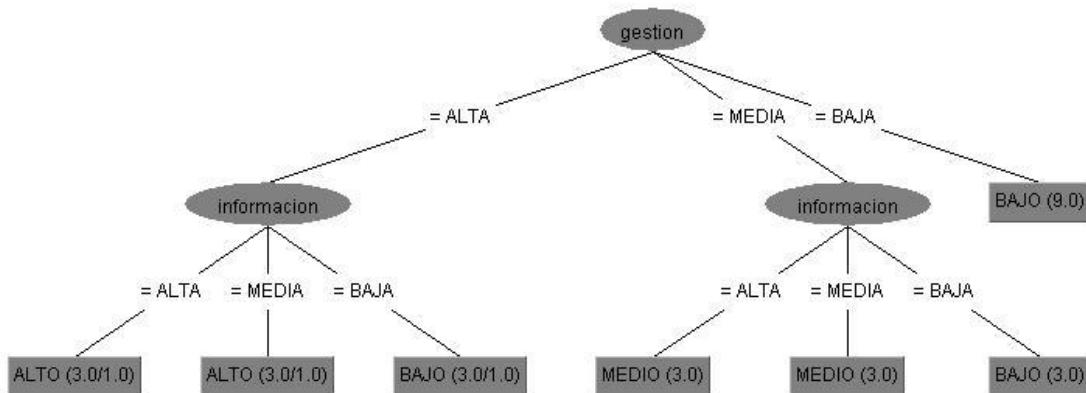


Figura 4. Resultado del árbol de decisión para la organización, nivel y ámbitos de participación, característica de una comunidad indígena según la experta Valentina Morales Aristizabal Magíster en Administración de la Universidad de los Andes

El árbol representa un esquema de cómo se organizan las variables según su orden de importancia de mayor o menor. El nodo inicial corresponde a la primera variable importante denominada, para este caso, gestión y a través de ramificaciones llegan a una hoja. Cuando se habla de ramificación, se encuentra un orden de variables que llevan hasta una respuesta (hoja). En este caso hay siete ramificaciones y las hojas son: (alto, alto, bajo, medio, medio, bajo, bajo). Por ejemplo, en la toma de decisiones si se sigue la primera ramificación del árbol ubicada al lado izquierdo de la variable gestión se obtiene el siguiente esquema lógico: si la gestión

en una comunidad es alta y la información es alta, entonces la organización, nivel y ámbitos de participación es alta.

Para la segunda estructura de la herramienta de modelación, fueron obtenidos árboles que representan el orden de priorización de tecnologías de tratamiento según las variables características de una comunidad indígena.

En la Figura 5, se observa un árbol obtenido para el sistema de tratamiento de agua residual.

- Tree View

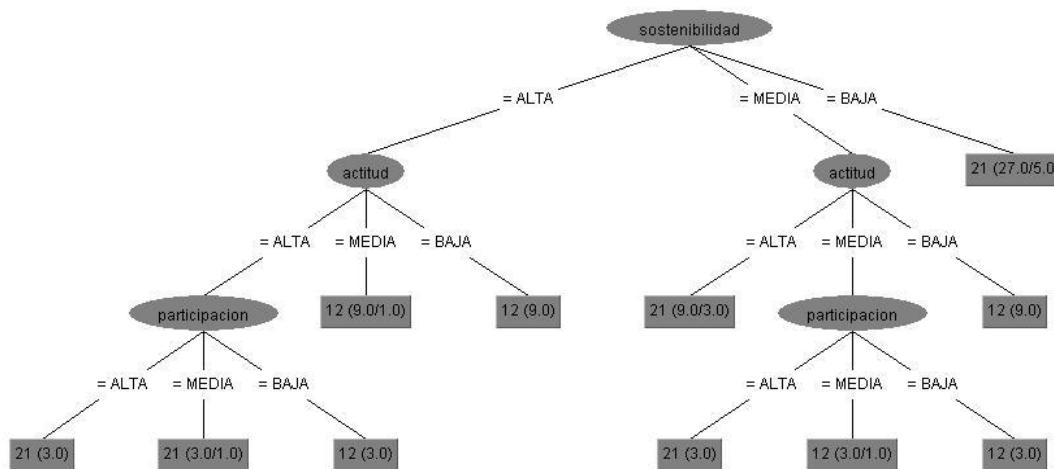


Figura 5. Resultado del árbol de decisión para la selección de tecnologías de tratamiento de agua residual según el experto Mario Opazo. Licenciado en Sociología, Ingeniero Sanitario, Magíster en Saneamiento Ambiental y Docente de la Pontificia Universidad Javeriana Sede Bogotá.

Al igual que el anterior, el árbol clasifica variables de entrada ordenándolas hacia abajo desde el nodo inicial variable sostenibilidad hasta alguna hoja. Cada nodo (representado por una variable en este caso: sostenibilidad, cambios de actitud, organización, nivel y ámbitos de participación) en el árbol especifica una prueba de alguna etiqueta (alta, media, baja) de la variable anterior, y cada rama descendiente desde este nodo corresponde a una de las posibles etiquetas para esta variable.

Se clasifica una variable en el nodo inicial del árbol, y se generan ramas hacia abajo examinando las etiquetas específicas para la raíz, estas ramas llegan hasta nuevos nodos correspondientes a otras variables de entrada. Este proceso se repite para los subárboles, generando otros nodos. (Mitchell, 1997)

Por ejemplo, para el árbol presentado en la Figura 5 existen 11 ramas principales y si se observa la primera ramificación ubicada al lado izquierdo del nodo principal se obtiene el siguiente orden lógico: si la sostenibilidad en una comunidad es alta, los cambios de actitud son altos, la organización, nivel y ámbitos de

participación es alta, entonces el orden de priorización de alternativas de tratamiento de agua residual es (21). Esta última respuesta coloca en primera opción la alternativa de agua residual AR2 siguiendo la ARI, que para este caso sería letrina ecológica, seguida de letrina actual de la comunidad conectada a la red y un humedal artificial, respectivamente.

Los detalles matemáticos y árboles de decisión resultado del modelo se encuentran publicados en (Villegas, 2007).

En la estructura dos de la herramienta de modelación también se obtienen los resultados correspondientes al sistema de opiniones difusas. La segunda fila de la Tabla 5 representa las opciones obtenidas por los expertos, correspondientes al orden de priorización de alternativas de tratamiento de agua potable; en este caso para obtener el valor de la combinación agrupada de alternativas, se tuvo en cuenta el criterio de maximización del consenso, el valor obtenido como resultado es el que mayor grado de consenso arroja.

Tabla 5. Resultado de selección de alternativas de saneamiento para la comunidad indígena de Nazareth y grado de acuerdo por el grupo de expertos en la toma de decisiones

Tipo de tratamiento	Orden de priorización de alternativas de tratamiento					
Agua potable	<i>AP4</i>	<i>AP3</i>	<i>AP2</i>	<i>AP1*</i>	<i>AP6</i>	<i>AP5</i>
	0.84	0.92	0.92	0.84**	0.84	0.84
Agua residual	<i>ARI*</i>	<i>AR2</i>				
	0.7	0.7	0.7			
Manejo de residuos sólidos	<i>MR3</i>	<i>MR2</i>	<i>MR1*</i>	<i>MR4</i>		
	0.8	0.86	0.8	1	0.87	

API (Alternativa de tratamiento de agua potable número uno), ARI* (Alternativa de tratamiento de agua residual número uno), MR1* (Alternativa de manejo de residuos sólidos), **Nivel de acuerdo entre el grupo de expertos por la alternativa API en tratamiento de agua potable, ***Grado de acuerdo del grupo de expertos para el orden de priorización de las alternativas de tratamiento de agua potable.*

Según la Tabla 5, para tratamiento de agua potable se tiene en primer lugar: AP4 que corresponde al filtro de vela alternativa escogida con un 84% de acuerdo entre el equipo de expertos, seguido de AP3 filtración centralizada con un 92%, AP2 cloración individual con pastillas con un 92%, API cloración centralizada (polvo) con un 84%, AP6 hiperoxidación individual y AP5 hiperoxidación centralizada

con un 84%. De igual forma se obtienen los resultados para tratamiento de agua residual y manejo de residuos sólidos.

Para llegar a dicho resultados fueron utilizados los datos de la Tabla 6 y la Tabla 7, que se encuentran sistematizados en una aplicación informática. A continuación se presenta un ejemplo de la información utilizada para tratamiento de agua potable.

Tabla 6. Orden de alternativas de sistemas de tratamiento de agua potable propuesto por los expertos y el grupo

Expertos/posición	Calculo del consenso-Grupo de expertos						
	Orden de Alternativas Propuesto por lo Expertos para Tratamiento de Agua Potable (AP)						w (peso)
	1	2	3	4	5	6	
Experto 1	AP2	AP4	AP6	AP1	AP3	AP5	0.40
Experto 2	AP4	AP2	AP3	AP1	AP5	AP6	0.20
Experto 3	AP4	AP2	AP6	AP3	AP1	AP5	0.20
Experto 4	AP2	AP4	AP6	AP5	AP1	AP3	0.20
Grupo	AP2	AP4	AP6	AP1	AP3	AP5	1

Tabla 7. Resultados del consenso de las alternativas y el grupo de expertos

Alternativas	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6
Consenso i	0.87	0.87	0.73	0.87	0.4	0.6
Consenso G				0.83		

Por otro lado, fueron establecidos indicadores que tienen como objetivo medir el grado de sostenibilidad de las alternativas de saneamiento elegidas con la herramienta de modelación planteada, algunos ejemplos se presentan a continuación:

Sostenibilidad: instituciones educativas con programas de educación sanitaria en el resguardo indígena; Cambios de actitud: población que utiliza los sistemas de saneamiento; Organización, nivel y ámbitos de participación: organizaciones comunitarias, apoyo y seguimiento institucional y comunitario: instituciones públicas presentes en el resguardo indígena, de orden nacional, regional y local y Sistemas de saneamiento: periodicidad en la medición de parámetros de calidad de agua potable.

Los resultados del sistema de opiniones difusas, las encuestas e indicadores de la herramienta de modelación se encuentran publicados en (Villegas, 2007).

implementación de tecnologías es una de las causas más importantes en el fracaso de diferentes experiencias.

Adicionalmente, el vincular a la comunidad en las diferentes etapas genera empleo que aporta de forma directa al desarrollo socioeconómico de sus habitantes.

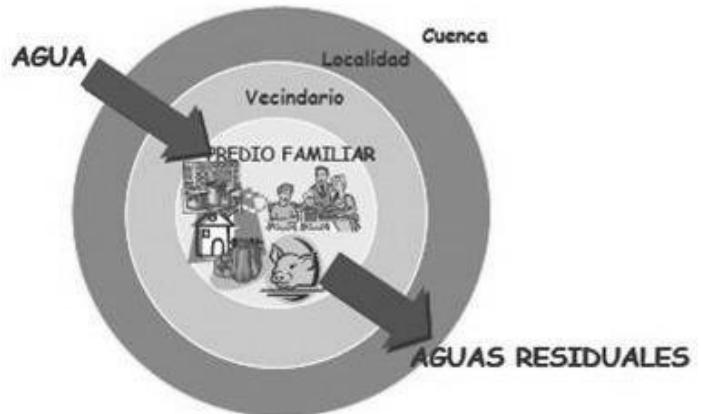


Figura 6. Sistemas de agua potable y saneamiento, y la comunidad. (Restrepo, 2002)

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

Componente social:

Los sistemas de agua potable y saneamiento básico incluyen a la comunidad como parte integral, según lo representa la Figura 6. Debido a que las comunidades participan en este ciclo del agua, siendo uno de los principales factores de su contaminación o conservación, su falta de vinculación a los procesos de

De acuerdo con diferentes teorías de participación comunitaria, entre las que se encuentran las de autores como Borda, Freire, Brandao, entre otros, una de las estrategias para garantizar la apropiación de los proyectos está en la participación directa de la población a beneficiar.

Componente de modelación:

Respecto a la herramienta de modelación, una vez terminado el estudio se propuso incluir variables como arraigo de una población a sus costumbres y cultura y la variable resistencia, que fue denominada inicialmente como incertidumbre participativa.

Utilizar la herramienta computacional WEKA, fue un ahorro en tiempo para el procesamiento de información, además al ser de libre distribución resulta muy útil en este tipo de proyectos que se desean replicar en otras comunidades. A través de dicha herramienta, se encontró una forma rápida y eficaz para la clasificación de las reglas otorgadas por un conjunto de expertos; con esta herramienta se puede encontrar una respuesta rápida para obtener las características de una comunidad indígena. De esta forma se contribuye al proceso de toma de decisiones en comunidades indígenas pertenecientes al trapecio amazónico Colombiano.

El aplicativo computacional relacionado con opiniones difusas fue desarrollado en Visual Basic, teniendo en cuenta que puede ser replicable en otras comunidades implementándolo en Leticia, donde hay instituciones vinculadas con estos proyectos que poseen Microsoft Office.

Componente técnico:

Uno de los objetivos de la investigación resumido en el presente trabajo consiste en proponer la solución técnica que menos impacte en las costumbres de la comunidad. La alternativa definitiva de los sistemas de abastecimiento de agua y de recolección y tratamiento del agua residual fue en este caso el resultado del trabajo multidisciplinario de especialistas en diferentes áreas de las ciencias sociales y de la ingeniería, y de la comunidad que se beneficiará con dicha solución.

El impacto positivo en la calidad de vida de la población fue uno de los principales aspectos a estudiar durante esta investigación. Específicamente en lo relacionado con las enfermedades hídricas, se plantea un sistema de potabilización para el agua de bebida y preparación de alimentos. Para el resto de usos (aseo, limpieza, etc.) no se considera necesario la realización del tratamiento, lo cual permite que la población mantenga todas las actividades recreativas que se realizan en los cauces naturales cercanos.

Con el fin de evitar la contaminación fecal del acuífero y quebradas circundantes al resguardo, se propuso un sistema de recolección de agua residual compuesto por un sistema de tuberías y pozos de inspección que conducen el agua residual desde las letrinas de las viviendas hasta dos sistemas de humedales artificiales. El sistema de humedales permite la depuración de la materia orgánica de manera natural, lo cual evitará la contaminación de los cuerpos de agua cercanos al resguardo.

En relación con los parámetros empleados en el diseño de la red de alcantarillado, debe aclararse que éstos difieren de los rangos típicos considerados en la normatividad Colombiana. Sin embargo, son sustentados en las experiencias en sistemas de conducción de agua residual de bajo costo de Duncan Mara, investigador del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Leeds en el Reino Unido, mundialmente reconocido por sus avances en este campo (Mara, 1996).

4.2. Recomendaciones

Componente social:

Implementar equipos sanitarios y garantizar agua potable en todo el mundo, generaría un mayor impacto en la disminución de la pobreza y mejoraría la calidad de vida y la salud pública, que cualquier otro programa que se desarrolle (WSSCC, 2008). Sin embargo, de acuerdo con las evaluaciones de la década del agua y el saneamiento, la construcción de infraestructura no necesariamente mejora las condiciones de la prestación del servicio, si no que se encuentran casos en los que la infraestructura empeora las condiciones de salud de la comunidad (Hogreve et al., 1993).

Los equipos responsables de este tipo de proyectos deben ser interdisciplinarios, puesto que la problemática del saneamiento y el agua potable tiene aspectos no sólo técnicos, si no políticos, legales, sociales, económicos, ambientales, entre otros (Restrepo T.I., 2002) que deben ser contemplados en el proceso completo, es decir, desde el diseño hasta la implementación y operación de las tecnologías.

De acuerdo con esto último, no sólo los errores en la concepción de la participación social es causa de fracasos, sino también la falta de voluntad política; en la mayoría de los casos, los gobiernos

tienen pocos incentivos políticos para enfrentar el problema. De igual forma, en muchos casos se fijan políticas públicas inadecuadas por parte de las instituciones y entidades encargadas de crear las condiciones propicias para la implementación de las tecnologías de saneamiento (CCAAS, WHO. 1994).

La verdadera apropiación se logra no con talleres o reuniones en donde se expone, por ejemplo, lo que se va a construir, sino propiciando verdaderos espacios de participación y vinculación de las personas, desde la misma etapa de concepción del proyecto, de modo que este trabajo conjunto trascienda todas las etapas: planeación, prefactibilidad, factibilidad, diseño, implementación y operación.

Mediante un verdadero trabajo en grupo, en el que se pueda involucrar, no sólo la comunidad y los diseñadores de las tecnologías, sino además profesionales de áreas de las ciencias sociales como antropólogos y sociólogos, y actores relevantes de la comunidad como gobernantes de los cabildos, cabildantes, promotores de salud, profesores, entre otros, se podría llegar a comprender realmente cuáles son tanto las costumbres primordiales de la comunidad indígena que no pueden ser alteradas en forma violenta, como los imaginarios o representaciones sociales que los individuos se forman frente a las tecnologías de saneamiento básico.

Comprender estos factores es lo que realmente permite cerrar la brecha entre las diferentes culturas, pero esto no es un logro fácil de alcanzar; entre varios factores que interrumpen este proceso, el más importante se encuentra en la comunicación misma. En ambos resguardos indígenas se habla además del Tikuna, su lengua nativa, el español, por lo cual se facilita mucho el trabajo. Sin embargo, se observa aún en la actualidad, que a pesar de hablar el mismo idioma, la comunicación no es efectiva, de modo que las personas que lleguen a una comunidad a desarrollar este tipo de proyectos, deberán comenzar por tratar de homologar o de homogenizar el lenguaje, principalmente los términos técnicos relevantes. Este punto se ejemplifica aquí con un hecho puntual: para el ingeniero civil o sanitario "blanco", el término "agua negra" es algo muy diferente a lo que el mismo término representa para los indígenas del resguardo, pues para ellos es el agua de la quebrada en donde se bañan, lavan la ropa, las vajillas, y de donde también utilizan agua en épocas de verano para cocinar.

El ser cuidadoso con estos puntos que a veces pasan desapercibidos o no se les da la importancia suficiente, puede ser determinante en el éxito de la implementación de tecnologías que deberán ser apropiadas por la comunidad beneficiada.

Hay un gran reto en este tipo de proyectos y es establecer una metodología para que las comunidades indígenas tengan cambios de actitud frente a los sistemas de saneamiento; además también es importante ser conscientes del cambio de actitud que los asesores de estos proyectos deben tener con relación a los pueblos indígenas. Todo esto con el fin de construir nación respetando la cultura e identidad de cada comunidad.

Componente de modelación:

Para futuras investigaciones, utilizar una metodología para obtener los pesos del grupo de expertos puede darle un valor agregado al modelo y disminuir la incertidumbre de los resultados, partiendo del hecho de que para este estudio los valores fueron elegidos de manera subjetiva. Por otro lado, sería importante acoplar el algoritmo que utiliza WEKA, con el construido para opiniones difusas con el fin de sistematizar el modelo y convertirlo, en una herramienta de fácil acceso.

Componente técnico:

Es de vital importancia que en las soluciones de saneamiento básico orientadas a comunidades especiales, y sobre todo a comunidades indígenas, se considere la participación de la población a satisfacer y que esta sea complementada con un análisis riguroso de sus costumbres, lo cual permitirá obtener soluciones técnicamente viables y apropiadas para cada caso.

Deben existir entre la comunidad e instituciones involucradas en el proyecto compromisos y acuerdos a largo plazo, con el fin de evaluar, apoyar y replicar la experiencia en otras comunidades indígenas, pues el proceso de sostenibilidad es un proceso que debe ser estudiado para no cometer los mismos errores en otros resguardos.

Agradecimientos

Trabajo realizado con el apoyo de la Pontificia Universidad Javeriana a través del proyecto de investigación titulado "Desarrollo de una metodología para selección de alternativas de saneamiento ambiental para comunidades indígenas mediante el empleo de inteligencia artificial y técnicas de fuzzy opinión", el grupo de asesores de la Universidad Católica de Colombia y expertos pertenecientes a la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad de los Andes y la Fundación Universitaria Konrad Lorenz.

Referencias

- Ben-Arieh, D y Chen, Z., 2006. Linguistic group decision-making: opinion aggregation and measures of consensus, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, Vol. 5, (4,) pp. 371-386.
- Ben-Arieh, D y Chen, Z., 2006. On the fusion multi-granularity linguistic label sets in group decision making, *Computers & Industrial Engineering*, (51), pp. 526-541.
- Borda, F., 1997. Participación popular: retos del futuro. Registro del Congreso Mundial de Convergencia en Investigación Participativa.
- CCAAS, Comité de Colaboración sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento; Grupo de trabajo sobre promoción de saneamiento., 1994. WHO, Water Supply & Sanitation Collaborative Council. El problema del saneamiento. Traducción Anna Zucchetti, OACA, Lima Perú.
- GTZ, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo de Colombia y CEPIS/OPS., 2003. Guía para la elaboración de material educativo en comunidades indígenas. 58 P.
- Hogreve, W., Joyce, S.D y Perez, E.A., 1993. The unique challenges of improving peri-urban sanitation. Technical report No.86, WASH. USA. Mara D. (Edited by) Low-Cost Sewerage. Wiley, 238 P.
- Mara, D., 1996. (Edited by) Low-Cost Sewerage. Wiley, 238 P.
- Mitchell, T., 1997. Machine Learning. 1a. ed. Estados Unidos de America: McGraw-Hill, 414 P.
- Opazo, M. O., 2007. Entrevista personal, Bogotá, Colombia.
- Restrepo, T.I., 2002. Proyectos de aprendizaje en equipo: estrategia para contribuirá la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento. Universidad del Valle, CINARA.
- Trujillo, R., 2004. Empaques flexibles y semi rígidos en Colombia & cadena láctea y sus derivados en Colombia, aplicaciones del método Delphi. Trabajo de titulación (Especialista en pensamiento estratégico y prospectiva). Bogotá: Universidad Externado de Colombia, Facultad de Administración de Empresas. 115 P.
- Villegas, P. A., Obregón, N y Lara, J.A., 2007. Estudio de infraestructura ambiental sostenible en el Trapecio Amazónico Colombiano articulando aspectos científicos y tecnológicos con participación comunitaria. Trabajo de titulación (Magister en Hidrosistemas). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Civil. 115 P.
- WSSCC, Water Supply & Sanitation Collaborative Council., 2008. ONU, Instalaciones sanitarias y agua potable la mejor opción para la reducción de la pobreza. Boletín de Noticias Agua & Saneamiento No.26.
- WSP-LAC Programa de Agua y Saneamiento para América Latina y el Caribe., 2007. Saneamiento para el desarrollo ¿Cómo estamos en 21 países de América Latina y el Caribe?, 208 P.