

ARTÍCULO 001 RES 11(1): 2019

Artículo RES 001

ÍNDICE SIMPLIFICADO DE LA SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN CUENCAS DE MONTAÑA. CASO DE ESTUDIO: SUB CUENCA HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA FRÍA, MUNICIPIO LIBERTADOR, ESTADO MÉRIDA, VENEZUELA

23

*Simplified Index of Sustainability of Water Resource in mountain basins,
Study' Case: Sub Basin Hydrographic of Quebrada La Fría, Libertador
Municipality, Mérida State, Venezuela*

**KARINA DEL VALLE PEÑA RODRÍGUEZ¹, BETTY ISABEL CONTRERAS BETANCOURT y
BETTY JOSEFINA DUGARTE RIVAS**

¹ Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela. E-mails:
karina.kapisi@gmail.com, karinap@ula.ve; bettycontreras1105@gmail.com; dugartebetty@gmail.com

Recibido: 02/12/2019. **Aceptado:** 21/04/2020

RESUMEN

A lo largo de la historia de la humanidad, el agua es el recurso natural vital para la existencia y el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Sin embargo, cada día tienden a incrementarse los problemas y desafíos para su sostenibilidad y sustentabilidad, debido a la eminente variabilidad de aspectos ambientales globales, en especial, el cambio climático. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue determinar el nivel de sostenibilidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable en cuencas hidrográficas de montaña, a través de un conjunto de indicadores hídricos y de intervención antrópica, que se integraron en el *Índice Simplificado de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña* (ISRH-CHM). Ello dio como resultado, un nivel de sostenibilidad moderado, con alto riesgo de insostenibilidad de la seguridad hídrica para la población que se beneficia del sistema de abastecimiento de agua. En atención a este resultado, se propone a todos los actores institucionales y usuarios de la fuente abastecedora, cuatro (04) programas y diecinueve (19) estrategias vinculados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); todo ello, con el fin de realizar una apropiada gestión del agua potable que fortalezca la resiliencia ante amenazas naturales y logre una mejor adaptación al cambio climático.

PALABRAS CLAVE: Índice de la sostenibilidad, recurso hídrico, cuencas hidrográficas de montaña.

SUMMARY

Throughout the history of humanity, water is the vital natural resource for the existence and development of life on our planet. However, every day the problems and challenges for their sustainability and sustainability tend to increase, due to the eminent variability of global environmental aspects, especially climate change. In this context, The aim of this this research was to determine the level of sustainability of the *hydric* resource for the purpose of supplying drinking water in mountain river basins, through a set of *hydric* indicators and anthropic intervention, which were integrated into the *Simplified Index of Sustainability of Hydric Resource in Mountain Hydrographic Basins* (ISRH-CHM). This resulted in a moderate level of sustainability, with a high risk of unsustainable water security for the population those benefits from the water supply system. In response to this result, four (04) programs and nineteen (19) strategies related to the Sustainable Development Goals (SDGs) are proposed to all institutional actors and users of the supply source; all this, in order to carry out appropriate management of drinking water that strengthens resilience to natural threats and achieves better adaptation to climate change.

KEY WORDS: Sustainability Index, hydric resources, mountain hydrographic basins.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, el agua es el recurso natural vital para la existencia de la vida en nuestro planeta y ha sido la base para el desarrollo de los pueblos en el mundo, ya que en entorno al agua se originaron las primeras formas de sociedad, tal y como la concebimos hoy en día; es por ello, que las poblaciones han almacenado y distribuido agua desde sus orígenes, empleando desde las técnicas más primitivas hasta las infraestructuras y tecnologías más sofisticadas de la actualidad para las diversas actividades que realizan, por lo que se sigue considerando que es uno de los recursos naturales que define el desarrollo de la humanidad (Troballes, 2015 citado por Peña, 2019).

Sin embargo, el uso de tan vital recurso natural, cada día se hace de forma insostenible por una población cada vez mayor y una producción económica creciente, que pudiese llegar a comprometer su disponibilidad y, junto con ello, la creciente degradación de su calidad, por lo que la interrelación de estos escenarios incidirán directa e indirectamente en la sostenibilidad del recurso hídrico, convirtiéndose esto en un problema ambiental importante a nivel mundial que puede traer graves consecuencias para la sociedad y los ecosistemas (World Resource Institute, 1997; World Water Council, 2003; Giordan y Souchon, 1995; Callopin y Rijsberman, 2000 citados por Peña, 2019).

La situación expuesta anteriormente, se refleja en diversas investigaciones, informes y documentos técnicos sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo publicadas por el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (en sus siglas en inglés WWAP), World Resources Institute (WRI), United Nations Development Programme (UNDP), Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (UN-HABITAT), Global Water Partnership (GWP), Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Panamericana de la Salud (OPS); UN-Water; y el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), todo en su conjunto, citados por Peña (2019), los cuales señalan que el agua es el recurso natural renovable más importante para la especie humana y ante su limitada disponibilidad se le une el carácter de insustituible, vulnerable (sequías y crecidas) y susceptible de usos alternativos; además que, es indispensable para la actividad económica y está sujeta a un ciclo importante en el que la intervención del desarrollo está modificando sus características cuantitativas y cualitativas.

En este sentido, los especialistas en sus informes explican que los recursos hídricos son cada día más vulnerables y todos suelen coincidir que el riesgo clave para los próximos años, **«será una crisis en el abastecimiento de agua por el agotamiento de reservas de agua dulce»**, debido a la variabilidad climática y las evidencias de que el cambio climático pudiese alterar el régimen hídrico, a los notables niveles de contaminación y al incremento de la demanda del vital líquido para que la población pueda desarrollar sus actividades, por lo que la escasez física y económica del recurso hídrico llegará a afectar a gran parte de todos los continentes (Sánchez y Sánchez, 2004).

Es por ello, que las diversas declaraciones y acuerdos internacionales instan a que las políticas de Estado consideren incorporar en sus planes, programas y proyectos, la gestión integral del recurso hídrico, la resiliencia y la capacidad de adaptación y mitigación al cambio climático (IPCC, 2007a; 2007b; 2008); ya que los problemas en torno al agua y los desastres naturales registrados en las últimas décadas, han representado y representan enormes desafíos para la gestión del agua potable y del saneamiento (OPS, 2006).

Lo antes señalado, ha conllevado a la promoción de una gestión integrada del recurso hídrico, con el fin de poder garantizar el acceso al agua potable para las actuales y futuras generaciones como derecho humano fundamental, es por ello, que hoy día, se reitera como un objetivo global el **«Asegurar agua sostenible para todos»**, y se ratifica en la Agenda 2030 de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ONU, 2016).

Por esta razón, se amerita de un enfoque multidimensional que permita definir estrategias y acciones para monitorear políticas, planes, programas, proyectos, productos y servicios vinculados directamente con la planificación y gestión para la prestación del servicio de agua potable, basándose en evidencias medibles y verificables, que permitan a las empresas u operadores del servicio, conocer los signos vitales de una determinada dinámica ambiental de la fuente abastecedora (cuenca hidrográfica) y sus interrelaciones con los procesos de gestión del agua potable (Sánchez y Sánchez, 2004; Breña, 2007; Peña, 2019).

Desde esta perspectiva, y por lo antes mencionado, resulta importante para la toma de decisiones oportunas en busca de garantizar la gobernabilidad y gobernanza del sector agua, ante la vulnerabilidad del recurso hídrico por amenazas naturales y antrópicas que pueden llegar a afectar el acceso de agua potable a las poblaciones (Tate, 1991; Quiroga, 2001; IPCC, 2008; García y Balmaseda, 2013).

Es por ello que en el mundo se han desarrollado diversos índices para calcular la sostenibilidad ambiental en una cuenca hidrográfica. Uno de los más empleados es el indicador integrado propuesto por Chaves y Alipaz (2007), conocido como HELP (*Hydrology, Environment, Life, Policy*). Según sus autores, este índice considera la habilidad de los países para proteger el medio ambiente en las próximas décadas, por lo que es identificado por las Naciones Unidas para definir el Desarrollo Sostenible (García y Balsameda, 2013).

Así mismo, han surgido otros índices para evaluar la sostenibilidad y la gestión en cuencas hidrográficas, como es el caso del autor Cortés *et al.* (2011), que determinó el índice de sostenibilidad en la cuenca del río Elqui en Chile, y éste, fue aplicado por Kretschmer *et al.* (2011) en la cuenca del río Limarí en el mismo país; este índice, clasifica la gestión de acuerdo a sus fortalezas y debilidades en las dimensiones de la sostenibilidad.

En este contexto, en la República de Cuba el autor García (2011), así como García y Balsameda (2013), proponen un *Índice Simplificado de Gestión de Cuencas* (IsGC), el cual tiene como objetivo fundamental propiciar el análisis del estado de dicha gestión y facilitar la toma de decisiones para la mejora continua de su situación ambiental. Este índice IsGC, fue aplicado para medir el nivel de gestión por Castro (2011) en las diez principales cuencas hidrográficas de Cuba (Cuyaguaje, Ariguanabo, Almendares- Vento, Ciénaga de Zapata, Hanabanilla, Zaza, Cauto, Mayarí, Toa y Guantánamo- Guaso), además de que García y Balsameda (2013), lo implementó en la cuenca del río Naranjo.

Por lo antes expuesto, esta investigación, se enfocó en realizar la propuesta por un panel de expertos de carácter interinstitucional integrado por especialistas de la Universidad de los Andes, Aguas de Ejido C.A., Ministerio de Atención a las Aguas (Mérida), Instituto Nacional de Parques y el Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA), de un *Índice Simplificado de la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña* (ISRH-CHM), el cual permitiese evaluar el nivel de la sostenibilidad y seguridad del recurso hídrico para la población que se beneficia de un sistema de abastecimiento de agua que se emplaza en cuencas hidrográficas torrenciales.

Es por ello, que para su aplicación fue seleccionada la sub cuenca hidrográfica de la quebrada La Fría del municipio Libertador del estado Mérida, Venezuela, como fuente abastecedora superficial sin regulación (no cuenta con embalse), cuyo servicio de agua potable beneficia aproximadamente a 120.000 habitantes, que corresponden al 60% de la población asentada en el área urbana de Ejido, capital del municipio Campo Elías, y la población de Chamita (municipio Libertador) del estado Mérida; además, que esta fuente abastecedora superficial, presenta condiciones de alta vulnerabilidad por amenazas naturales referidas a crecidas torrenciales que están provocando con frecuencia interrupciones del servicio, así como daños parciales a severos en el sistema de abastecimiento de agua potable (Aguas de Ejido C.A., 2019; Aguas de Mérida C.A., 2019).

En consecuencia, esta evaluación fue sustentada teórica y metodológicamente en estudios científicos y validaciones de campo en panel de expertos interinstitucionales, que permitieron conocer la realidad ambiental de la cuenca hidrográfica, en busca de que su evaluación oriente a la toma de decisiones y acciones de las empresas prestadoras del servicio de agua potable, comunidades beneficiarias y alcaldías de los municipios involucrados en el área de estudio, para que sean resilientes ante la vulnerabilidad del recurso hídrico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la sub cuenca de la quebrada La Fría se ubica entre las coordenadas UTM 261.843 E y 945.964 N y 268.469 E y 941.097 N (WGS 84, zona 19); presenta una superficie de 35,59 km² y un perímetro de 26,28 km, hasta el sitio donde se ubica la captación del acueducto urbano de la ciudad de Ejido, en las coordenadas geográficas UTM 261.843 E - 945.964 N.

28

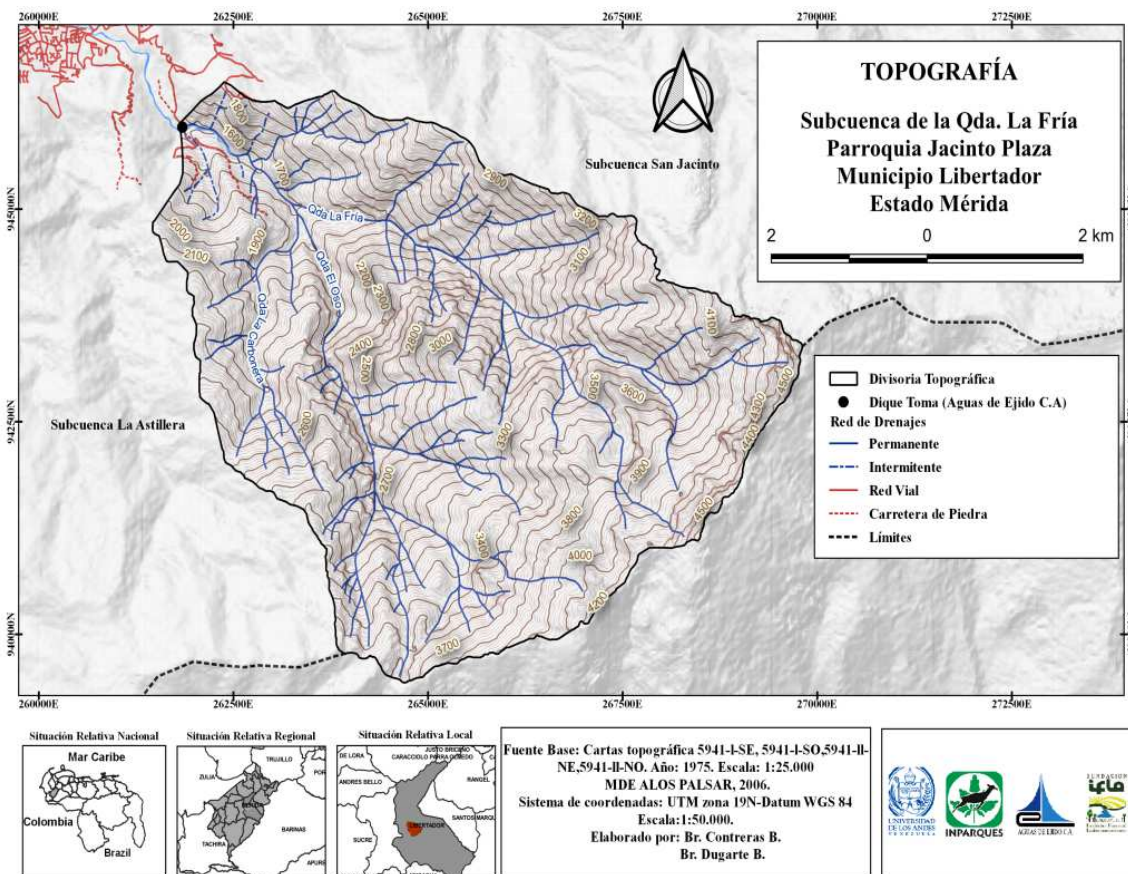


FIGURA 1. Mapa de la ubicación general de la sub cuenca de la quebrada La Fría. Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista político - administrativo, se encuentra en jurisdicción de la parroquia Jacinto Plaza, municipio Libertador del estado Mérida, Venezuela.

Hidrográficamente el área se denomina según cartografía nacional como quebrada La Fría, perteneciente a la región hidrográfica del Lago de Maracaibo y Golfo de Venezuela, cuenca hidrográfica del río Chama y limita al norte con los picos El Toro y El León, al sur con el río Chama, al Este con la sub cuenca de la quebrada La Astillera y al Oeste con la sub cuenca de la quebrada San Jacinto.

Esta sub cuenca hidrográfica es una fuente abastecedora de agua superficial del sistema de acueducto urbano de la ciudad de Ejido (municipio Campo Elías) y del acueducto de Chamita, los cuales están bajo la responsabilidad de la Empresa Aguas de Ejido C.A. y Aguas de Mérida C.A. respectivamente.

Esta cuenca hidrográfica de montaña con vocación hídrica y de carácter torrencial, se encuentra en un Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), que en este caso, pertenece al Parque Nacional Sierra Nevada (PNSN). Específicamente el área de la cuenca protegida por esta figura jurídica, ocupa el **91.37%** del área total de estudio, destacándose que la infraestructura hidráulica (dique toma) del acueducto urbano de Ejido, se ubica fuera de la poligonal del PNSN lo que representa el 8,63 % del área total de estudio.

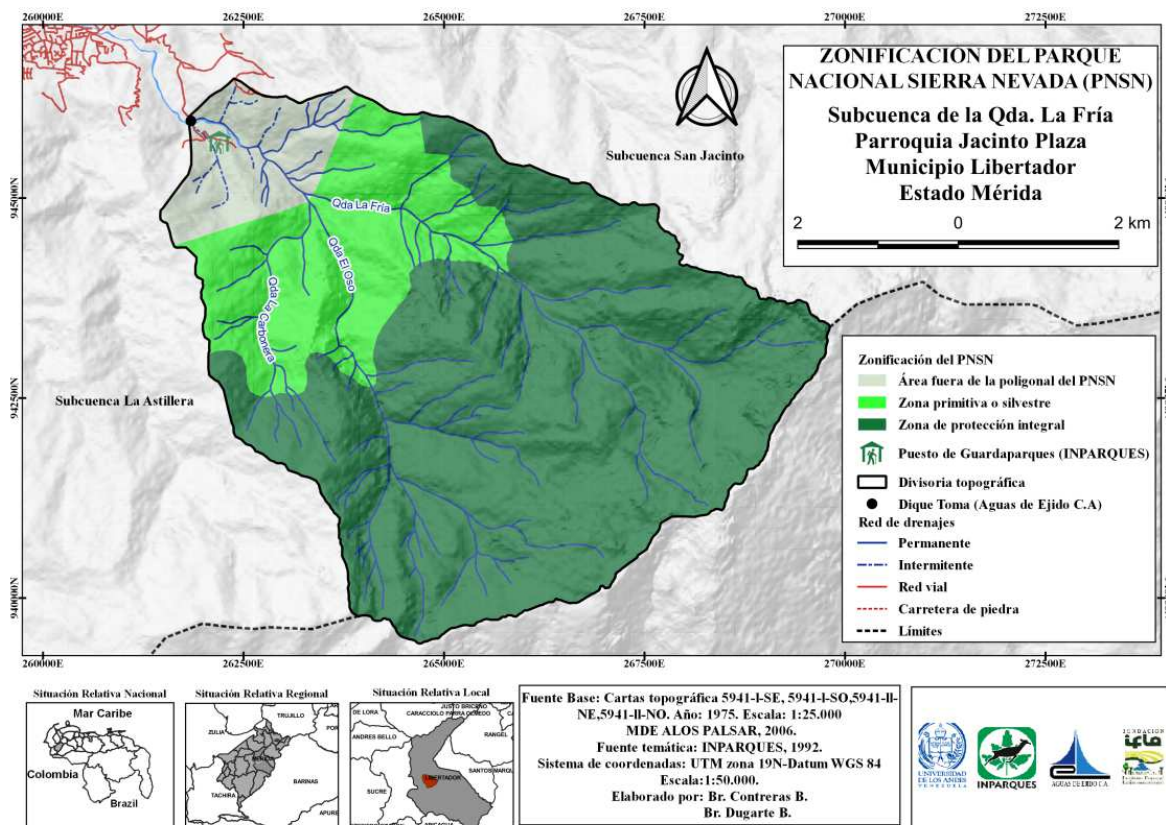


FIGURA 2. Mapa de zonificación del Parque Nacional Sierra Nevada correspondiente a la sub cuenca de la quebrada La Fría. Fuente: Elaboración propia.

2.2. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo descriptiva, exploratoria y de campo, siguiendo un proceso secuencial y sistematizado basado en revisión documental que implicó un trabajo de campo y el consenso de un panel de expertos, lo que permitió comparar, ampliar y validar información para proponer un *Índice para la Evaluación de la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña (ISRH-CHM)*, abastecedoras de agua para las poblaciones, en pro de fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación del servicio de agua potable.

Las etapas del trabajo se apoyaron en permanentes reuniones y trabajo de campo con expertos institucionales de la Empresa Aguas de Ejido C.A., Universidad de los Andes, Ministerio del Poder Popular de Atención a las Aguas, Instituto Nacional de Parques y el Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA) (Figura 3).



FIGURA 3. Reuniones con expertos institucionales y trabajo de campo. Fuente: Elaboración propia.

2.3. MÉTODOS IMPLEMENTADOS

La investigación persigue determinar el nivel de sostenibilidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable en cuencas hidrográficas de montaña a través de un conjunto de indicadores hídricos y de intervención antrópica, que constituirán el ISRH-CHM.

Para lograrlo se empleó la guía metodológica propuesta por García y Balmaseda (2013) y García (2011), quienes desarrollaron y validaron el *Índice Simplificado de Gestión de Cuencas* (IsGC), a

través de un método flexible para aplicarlo a otros casos de estudios, por lo que su desarrollo es relativamente sencillo y confiable, el cual consta de cuatro etapas fundamentales:

1. Definición de los pesos relativos o importancia de cada indicador seleccionado (i).
2. Escala de valores o contribuciones de cada indicador seleccionado en puntos de 0 a 100 y clasificación por rango (p).
3. Cálculo del Índice Simplificado.
4. Definición de la clasificación de la gestión de cuencas, por el valor del Índice Simplificado (ISGC).

Los autores de la metodología, señalan que los indicadores que considera el ISGC son importantes, medibles y tienen impacto directo e indirecto en la calidad de vida de la población.

De acuerdo a este contexto metodológico, en esta investigación se desarrolló una propuesta metodológica que surge a partir de lo planteado por García y Balsameda (2013), la cual consta de tres etapas desarrolladas en la Figura 4.

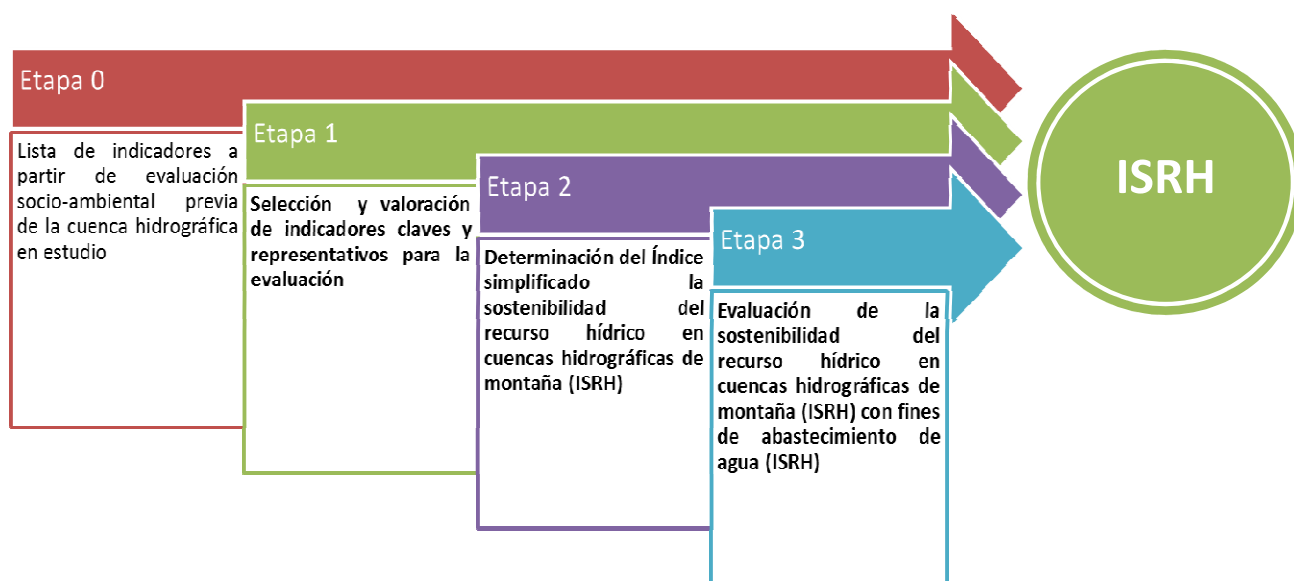


FIGURA 4. Etapas metodológicas para determinar el ISRH. Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar el nivel de sostenibilidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable en cuencas hidrográficas de montaña, se requiere proponer un índice simplificado de sostenibilidad. Para conseguirlo, se desarrolló un procedimiento metodológico secuencial que permitió lograr el objetivo de esta investigación, el cual se detalla a continuación:

33

Etapas 0: Lista de indicadores a partir de evaluación socio- ambiental previa

PASO 1

Selección de indicadores

Se considera clave como fase previa, partir de una evaluación socio ambiental de la cuenca hidrográfica; la cual debe estar soportada en un conjunto de indicadores hídricos, asociados al régimen natural y a la intervención antrópica en las cuencas, para lo cual, se debe desarrollar un sistema de indicadores que pretendan dar respuestas frente a los interrogantes sobre la disponibilidad del recurso hídrico y las restricciones por afectaciones a la oferta y a la calidad del mismo (IDEAM, 2014).

Por tanto, esta investigación se fundamenta en estudio previo realizado por Contreras y Dugarte (2019), quienes para establecer este sistema de indicadores partieron de una revisión documental de estudios científicos a nivel internacional y nacional, entre los que se destacan los realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de la República de Colombia desde el año 2010 al 2016, que sirvieron de sustento fundamental a la *«Evaluación de la sostenibilidad del recurso hídrico, con fines de abastecimiento de agua potable. Caso de estudio: sub cuenca de la quebrada La Fría, municipio Libertador, estado Mérida»*.

Esta evaluación permitió determinar en panel de expertos, **quince (15) indicadores** para evaluar la sostenibilidad del recurso hídrico en cuencas hidrográficas de montaña que son proveedoras de agua para el abastecimiento de poblaciones (Cuadro 1).

CUADRO 1. Sistema de Indicadores para evaluar la sostenibilidad del recurso hídrico, con fines de abastecimiento de agua potable en cuencas hidrográficas de montaña. Fuente: Contreras y Dugarte (2019).

Indicadores del sistema hídrico	
A	Índice de aridez
B	Caudales mínimos y medios disponibles en l/s.
C	Calidad del agua.
Indicadores de intervención antrópica	
D	Índice del uso de agua superficial
E	Densidad de la población dentro del bosque presente en la cuenca
F	Cobertura vegetal con relación a la superficie total del bosque
G	Uso de la tierra versus cobertura vegetal
H	Nivel de sensibilidad ambiental
I	Porcentaje (%) cumplimiento del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE)
Indicadores de vulnerabilidad	
J	Índice de torrencialidad
K	Porcentaje (%) de área de la cuenca con procesos geomorfológicos
L	Índice de escasez del agua
M	Índice de stress relativo
N	Índice de frecuencia de interrupción del servicio ante eventos extraordinarios hidro-meteorológicos
Ñ	Porcentaje (%) del cumplimiento de planes de contingencia -emergencia de la empresa prestadora del servicio de agua potable

De acuerdo a lo expuesto en el cuadro 1, se puede observar que estos 15 indicadores fueron clasificados en tres grandes grupos. Estos se describen brevemente a continuación:

Grupo 1. Indicadores del sistema hídrico

Estos indicadores permiten evaluar en forma indicativa la situación real de disponibilidad de agua y las posibles condiciones de sostenibilidad de la cuenca hidrográfica como fuente superficial que permite el abastecimiento de agua a la población; para ello, se utilizaron tres (03) indicadores sencillos y de fácil interpretación: *el primero*, es el índice de aridez que representa los niveles de agua que puede retener el suelo de un área; *el segundo*, es el relacionado con los caudales mínimos y medios con 95 % de probabilidad de excedencia disponibles para satisfacer la demanda por parte de la población beneficiaria; *el tercero*, es el referido a la calidad del agua para el cual se consideraron los parámetros de color, turbiedad y coliformes totales en base a la normativa establecida en el caso de Venezuela según los límites permisibles establecidos en el Decreto N° 883 (Asamblea Nacional de Venezuela, 1995) (Cuadro 2).

Grupo 2. Indicadores de intervención antrópica

Para este grupo se toman en cuenta variables de la caracterización socio-ambiental, considerando el estado actual de la cuenca hidrográfica como la oferta hídrica existente y la cantidad de habitantes, que pueden influir en la cantidad, calidad y continuidad del servicio que se ofrece a la población beneficiaria.

En este contexto, los indicadores que integran este grupo se clasificaron en dos tipos, *el primero*, como *indicador de presión por uso de agua* y, *el segundo*, de *estado y presión en la fuente abastecedora*, ambos estiman el grado de intervención de la población hacia los recursos naturales que puedan afectar directamente la sostenibilidad del recurso hídrico (Cuadro 3).

Grupo 3. Indicadores de vulnerabilidad

Estos indicadores permiten determinar el grado de fragilidad del sistema hídrico, para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas naturales, como períodos largos de estiaje o crecidas torrenciales podrían generar riesgos de desabastecimiento del servicio de agua, ya que en ese momento crítico no se podrá cubrir la demanda de la población beneficiaria del sistema de acueducto (Cuadro 4).

CUADRO 2. Breve descripción de Indicadores del grupo 1. Fuente: Contreras y Dugarte (2019).

GRUPO 1		Indicadores del sistema hídrico	
		Descripción	Fórmula
A	Índice de aridez	Determina el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región, a través de la identificación de áreas deficitarias de agua o con excedentes, calculadas a partir del balance hídrico superficial (IDEAM, 2010).	$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$ <p>Dónde: IA= Índice de Aridez (adimensional) ETP= Evapotranspiración Potencial (mm) ETR= Evapotranspiración Real (mm)</p>
B	Caudales mínimos y medios disponibles en l/s.	Determina los caudales mínimos y medios en los sitios de interés necesarios para la planificación del abastecimiento de agua, el cual depende del área de la cuenca y del promedio anual de precipitación de la misma aplicando el método de coeficiente de transferencia (Tahal Consulting Engineers LTD [TAHAL],1990).	$Tci = \frac{Ai}{A} \times \frac{Pi}{Pm}$ <p>Dónde: Tci = coeficiente de transferencia de la cuenca en estudio. Ai = Área de la Cuenca en estudio. A = Área de la cuenca patrón. Pi = Precipitación media de la cuenca en estudio. Pm = Precipitación media de la cuenca patrón.</p>
C	Calidad del agua.	<p>Parámetros fisicoquímicos: Color real: menor de 150 U Pt-Co. Turbiedad: menor de 250 UNT.</p> <p>Parámetros bacteriológicos: Coliformes totales: promedio mensual menor a 10.000 NMP por cada 100 ml.</p>	% de cumplimiento del Decreto N° 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

CUADRO 3. Breve descripción de Indicadores del grupo 2. Fuente: Contreras y Dugarte (2019).

GRUPO 2		Indicadores de intervención antrópica	
		Descripción	Fórmula
D	Índice del uso de agua superficial	Índice propuesto por Naciones Unidas, y establece la relación porcentual entre la demanda de agua ejercida por el hombre para el desarrollo de sus diferentes actividades sociales y económicas y la oferta hídrica disponible considerando condiciones de calidad y funcionamiento de los ecosistemas. Por tanto, refleja la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, sub zona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales.	$IUA = \frac{DH}{\text{oferta disponible}} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>DH= Volumen de agua extraída por uso en periodo determinado (m³/s)</p> <p>Oferta hídrica superficial disponible (m³/s), referida a caudales medios</p>
E	Densidad de la población dentro del bosque presente en la cuenca	Determina la densidad de la población dentro del bosque presente en la sub cuenca (Báez, 2018).	$DP(p/km^2) = \frac{N^{\circ} \text{ hab}}{ST}$ <p>Dónde:</p> <p>DP(p/km²) =Densidad poblacional en el Bosque N° hab= Número de habitantes dentro del Bosque ST km²= Superficie total de la subcuenca</p>
F	Cobertura vegetal con relación a la superficie total del bosque	Determina la proporción del bosque en valores porcentuales respecto al área total de la cuenca (Báez, 2018).	$PBP \% = \frac{\sum_{j=1}^s S_j}{S} (100)$ <p>Dónde:</p> <p>PBP %= Proporción del bosque en % S= Superficie Total Σsj= sumatoria áreas del bosque</p>
G	Uso de la tierra versus cobertura vegetal	Estima el porcentaje (%) del uso de la tierra respecto la cobertura vegetal al momento de la evaluación (Báez, 2018).	$\frac{UT}{CB} = \frac{\text{Uso de la Tierra}}{\text{Cobertura vegetal}} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>UT=Uso de la tierra CV: Cobertura Vegetal</p>
H	Nivel de sensibilidad ambiental	Determina en valores porcentuales el área de sensibilidad ambiental respecto al área total de la cuenca en estudio.	$NSA(\%) = \frac{ANSA}{AT} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>NSA(%)= Nivel de sensibilidad ambiental ANSA (ha)= Área del nivel de sensibilidad ambiental. AT(ha)=Área total de la cuenca</p>
I	Porcentaje (%) cumplimiento del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE)	Calcula el porcentaje del área que se encuentra dentro del Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) sin intervención antrópica. En este caso el Parque Nacional Sierra Nevada (PNSN).	$CR(\%) = \frac{AI}{AT_{PNSN}} * 100$ <p>Dónde:</p> <p>CR (%)= Cumplimiento del reglamento. AI(ha)= Área intervenida AT_{PNSN}= Área total del PNSN</p>

CUADRO 4. Breve descripción de Indicadores del grupo 3. Fuente: Contreras y Dugarte (2019).

GRUPO 3		Indicadores de vulnerabilidad	
		Descripción	Fórmula
J	Índice de torrencialidad (It)	Es el resultado del producto de los índices frecuencia de drenajes y densidad de drenajes de la cuenca en estudio. De acuerdo con esto, el índice puede inferir en el comportamiento hidrológico torrencial de la cuenca (Ovalles, 2011).	$I_T = D_d * F_d$ <p>Dónde: Dd: Densidad de drenaje Fd: Frecuencia de drenaje</p>
K	Porcentaje (%) de área de la cuenca con procesos geomorfológicos	Procesos geomorfológicos interpretados en la imagen satelital.	$PG(\%) = \frac{A_{pg}}{AT} * 100$ <p>Dónde: PG(%)= área que ocupa los procesos geomorfológicos activos e inactivos en ha. AT= área total de la cuenca en ha</p>
L	Índice de escasez del agua	Representa la relación de la demanda proyectada con respecto a los caudales mínimos con 95% de probabilidad de excedencia.	$IEA(\%) = \frac{VH}{OH} * 100$ <p>Dónde: VH= Demanda hídrica (m³/s). OH=Oferta hídrica superficial neta (Qmin)</p>
M	Índice de stress relativo	Indicador propuesto por el programa mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO	$RWSI = D/Q$ <p>Dónde: Q: suministro de agua-km3/año. D: Demanda de agua para uso doméstico- km3/año</p>
N	Índice de frecuencia de interrupción del servicio ante eventos extraordinarios hidro-meteorológicos	Representa el número de interrupciones del servicio de agua para la población beneficiada ante la ocurrencia de crecidas torrenciales	$IFI = \frac{N^{\circ} I}{N^{\circ} CT}$ <p>Dónde: IFI: Índice de frecuencia de interrupciones del servicio. N° I= Número de interrupciones del servicio. N° CT= Número de crecidas torrenciales</p>
Ñ	Porcentaje (%) del cumplimiento de planes de contingencia -emergencia de la empresa prestadora del servicio de agua potable	Determina el % de cumplimiento de los planes de emergencia y contingencia elaborados y ejecutados por la empresa en este caso de estudio: Aguas de Ejido C.A	$ICP = \frac{N^{\circ} PE}{N^{\circ} pe} * 100$ <p>Dónde: ICP= Índice de cumplimiento de los planes de la empresa. N° PE= número de planes elaborados. N° pe = números de planes ejecutados</p>

Etapa 1: Selección y valoración de indicadores claves y representativos para la evaluación

PASO 1

Definición de la importancia de sistema de indicadores inicial

Este paso consistió en definir de los pesos relativos para cada indicador según su importancia o jerarquía en la cuenca hidrográfica abastecedora de agua. Para ello, fue indispensable validar y obtenerlos en consenso de un grupo de expertos vinculados a la gestión integral del recurso hídrico, al aprovechamiento hídrico en el sector agua potable y en la prestación del servicio de agua potable, a través de la aplicación del Método Delphi.

Por tanto, para la validación de estos 15 indicadores iniciales (Cuadro 1), se ejecutó un proceso de jerarquización basado en el criterio de importancia que permitió demostrar a nivel global la interrelación de la influencia territorial en la prestación del servicio de agua potable. Este procedimiento fue clave, ya que permitió seleccionar aquellos indicadores más representativos para la agregación en un índice simplificado.

En este sentido la importancia otorgada por los siete expertos participantes, fue clasificada de acuerdo a la siguiente escala de jerarquía:

0. Muy poco importante
1. Poco importante
2. Medianamente importante
3. Importante
4. Muy importante

CUADRO 5. Importancia de los indicadores definida con el panel de expertos. Fuente: Contreras y Dugarte (2019).

Identificación del indicador	Descripción del sistema de indicadores	Grado de importancia (0-4)
Indicadores del sistema hídrico		
A	Índice de aridez	3
B	Caudales mínimos-medios disponibles en l/s	4
C	Calidad del agua	4
Indicadores de intervención antrópica		
D	Índice del uso de agua superficial	4
E	Densidad de la población dentro del bosque presente en la cuenca	4
F	Cobertura vegetal con relación a la superficie total del bosque	3
G	Uso de la tierra versus cobertura vegetal	4
H	Nivel de sensibilidad ambiental	3
I	Porcentaje (%) cumplimiento del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE)	3
Indicadores de vulnerabilidad		
J	Índice de torrencialidad	4
K	Porcentaje (%) de área de la cuenca con procesos geomorfológicos	3
L	Índice de escasez del agua	3
M	Índice de stress relativo o demanda de relativa	4
N	Índice de frecuencia de interrupción del servicio ante eventos extraordinarios hidro-meteorológicos	4
Ñ	Porcentaje (%) del cumplimiento de planes de contingencia - emergencia de la empresa prestadora del servicio de agua potable	4

Este cribado de indicadores según su importancia, permitió jerarquizar y seleccionar en panel de expertos, nueve (09) indicadores calificados como muy importantes que permiten interrelacionar la influencia territorial de las cuencas de montaña de carácter torrencial y la prestación del servicio de agua potable y por ende evaluar la sostenibilidad del recurso hídrico (Cuadro 6).

CUADRO 6. Lista de indicadores con jerarquía muy importante (4) asignado por el panel de expertos Fuente: Elaboración propia.

Indicadores del sistema hídrico	B. Caudales mínimos-medios disponibles en l/s.
	C. Calidad del agua.
Indicadores de intervención antrópica	D. Índice del uso de agua superficial.
	E. Densidad de la población dentro del bosque presente en la cuenca.
	G. Uso de la tierra versus cobertura vegetal.
Indicadores de vulnerabilidad	J. Índice de torrencialidad
	M. Índice de stress relativo
	N. Índice de frecuencia de interrupción del servicio ante eventos extraordinarios hidrometeorológicos.
	Ñ. Porcentaje (%) del cumplimiento de planes de contingencia - emergencia de la empresa prestadora del servicio de agua potable

El sistema de indicadores seleccionados (Cuadro 6), fue evaluado por los expertos en el área de estudio como muy importantes, representativos, medibles y señalan que tienen impacto directo e indirecto en la calidad, cantidad y continuidad del servicio de agua potable que se presta a la población.

PASO 2

Definición de los pesos relativos (PR) de cada indicador seleccionado (i)

A partir de la importancia concedida a cada indicador por el panel de expertos conformado por siete profesionales vinculados al área del aprovechamiento hídrico en el sector agua potable en el paso 1, se determinaron los pesos relativos a través de un procesamiento estadístico, donde se realiza la ponderación de los nueve indicadores que resultaron con la jerarquía de muy importante para lograr la sostenibilidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable (Cuadro 7).

CUADRO 7. Pesos relativos otorgados por el panel de expertos a cada indicador. Fuente: Contreras y Dugarte (2019).

Indicador	Importancia Relativa otorgada por los expertos								Relación e/t =PR
	1	2	3	4	5	6	7	$\sum e$	
B	4	4	3	4	3	4	4	26	0,11
C	4	4	3	4	4	4	4	27	0,12
D	4	4	4	3	3	4	4	26	0,11
E	4	4	3	3	4	4	3	25	0,11
G	4	4	4	3	3	4	4	26	0,11
J	4	4	3	4	4	3	4	26	0,11
M	4	4	4	3	4	4	3	26	0,11
N	4	3	4	4	3	3	4	25	0,11
Ñ	4	4	3	4	4	4	4	27	0,12
$\sum t$								234	1

Leyenda: $\sum e$ Sumatoria de los criterios de los expertos sobre cada indicador, $\sum t$ Sumatoria total de los criterios del total de indicadores, **PR**-Peso Relativo.

PASO 3

Escala de valores o contribuciones de cada indicador seleccionado

Una vez elegidos los indicadores con mayor importancia para establecer la relación entre la influencia de las características de la cuenca hidrográfica en la sostenibilidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable; se procedió junto con el panel de expertos en mesas de trabajo, a establecer una escala referencial de valores-contribuciones para el otorgamiento de puntos (0 -50) de cada indicador en relación a la sostenibilidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable (Cuadros 8, 9, 10).

Esta escala referencial permitirá que esta evaluación de la sostenibilidad a partir de este sistema de indicadores, sea replicable y aplicable a otras cuencas hidrográficas de montaña abastecedora de agua para la población y que la valoración técnica sea confiable y representativa de la influencia territorial en la prestación del servicio de agua potable.

CUADRO 8. Escala de valor o contribución de indicadores del sistema hídrico a la sostenibilidad del recurso hídrico en cuencas hidrográficas abastecedora de agua a las poblaciones. Fuente: Elaboración propia.

		Criterios a evaluar	Escala referencial para el otorgamiento de puntos
Indicadores del sistema hídrico	B. Caudales mínimos-medios disponibles en l/s.	La cuenca hidrográfica presenta una oferta de agua a lo largo de todo el año, que la caracteriza por tener vocación hídrica para abastecer a las poblaciones usuarias de la misma.	40,5 – 50
		La cuenca hidrográfica presenta una moderada oferta de agua a lo largo de todo el año, que afecta el abastecimiento a las poblaciones usuarias de la misma.	20,5- 40
		La cuenca hidrográfica presenta una baja oferta de agua a lo largo de todo el año, que afecta el abastecimiento a las poblaciones usuarias de la misma.	0- 20
	C. Calidad del agua	En el monitoreo de calidad de agua en un periodo de 15 años, esta no evidencia alteraciones de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos y cumple con las normas de calidad de agua cruda para que pueda clasificarse como aguas que puede destinarse para el abastecimiento de agua para las poblaciones. Desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.	40,5 – 50
		En el monitoreo de calidad de agua en un periodo de 15 años, evidencia alteraciones moderadas de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos y cumple con las normas de calidad de agua cruda para que pueda clasificarse como aguas que puede destinarse para el abastecimiento de agua para las poblaciones. Desde el punto de vista sanitario, esto implica acondicionarlas con tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.	20,5- 40
		En el monitoreo de calidad de agua en un periodo de 15 años, evidencia alteraciones altas de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos que superan los límites máximos permisibles y no cumple con las normas de calidad de agua cruda para que pueda destinarse para el abastecimiento de agua para las poblaciones lo que implica desde el punto de vista sanitario acondicionarlas con tratamientos no convencionales para que sea apta para el consumo humano.	0 – 15

CUADRO 9. Escala de valor o contribución de indicadores de intervención antrópica a la sostenibilidad del recurso hídrico en cuencas hidrográficas abastecedora de agua a las poblaciones. Fuente: Elaboración propia.

	Criterios a evaluar	Escala referencial para el otorgamiento de puntos	
Indicadores de intervención antrópica	D. Índice del uso de agua superficial	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible	50
		La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible	30,6 – 49,5
		La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible	20,5 - 30,5
		La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible	0- 20
	E. Densidad de la población dentro del bosque presente en la cuenca	Cuando la densidad poblacional dentro del bosque es mayor a 21 hab/km ² (Categoría Malo)	0- 10
		Cuando la densidad poblacional dentro del bosque es 11- 20 hab/km ² (Categoría Regular)	10,5 - 20,5
		Cuando la densidad poblacional dentro del bosque es 6 – 10 hab/km ² (Categoría Bueno)	20,6 – 30,5
		Cuando la densidad poblacional dentro del bosque es menor de 5 hab/km ² (Categoría Muy Bueno)	30,6 – 50
	G. Uso de la tierra versus cobertura vegetal	Cuando la población local ocupa para actividades antrópicas más del 71% de la superficie de la cuenca y lo demás está cubierto de vegetación natural (Categoría Malo)	0- 10
		Cuando la población local ocupa para actividades antrópicas hasta el 70% de la superficie de la cuenca y lo demás está cubierto de vegetación natural (Categoría Regular)	10,5 - 20,5
		Cuando la población local ocupa para actividades antrópicas hasta el 30% de la superficie de la cuenca y lo demás está cubierto de vegetación natural (Categoría Bueno)	20,6 – 30,5
		Cuando la población local ocupa para actividades antrópicas hasta el 10% de la superficie de la cuenca y lo demás está cubierto de vegetación natural (Categoría Muy Bueno)	30,6 – 50

CUADRO 10. Escala de valor o contribución de indicadores de vulnerabilidad a la sostenibilidad del recurso hídrico en cuencas hidrográficas abastecedora de agua a las poblaciones. Fuente: Elaboración propia.

	Criterios a evaluar	Escala referencial para el otorgamiento de puntos	
Indicadores de vulnerabilidad	J. Índice de Torrencialidad (It)	La cuenca hidrográfica tiene un comportamiento hidrológico de carácter torrencial a nivel general fuerte y la zona es altamente susceptible ante cualquier evento hidro-meteorológico extraordinario (El valor del It es >6)	0-10
		La cuenca hidrográfica tiene un comportamiento hidrológico de carácter torrencial a nivel general moderado y la zona es moderadamente susceptible ante cualquier evento hidro-meteorológico extraordinario (El valor del It se encuentra entre 2 – 6)	10,5 – 24,9
		La cuenca hidrográfica tiene un comportamiento hidrológico de carácter torrencial a nivel general bajo y la esta zona presenta baja susceptibilidad ante cualquier evento hidro-meteorológico extraordinario (El valor del It <2)	25- 50
	M. Índice de stress relativo	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, es insuficiente la oferta hídrica para atender la alta demanda de agua por sector residencial y se restringe su desarrollo urbano- económico (categoría Muy Alto: > 0,40 km ³ /año).	0- 5
		La oferta hídrica llega al límite máximo para atender la demanda, es necesario el uso eficiente del agua en el sistema de acueducto e implementar medidas de conservación en la cuenca (categoría Alto: 0,20 - 0,40 km ³ /año).	5,5 - 10
		La disponibilidad de agua se puede convertir en un factor limitante del desarrollo; se debe implementar un mejor sistema de monitoreo (caudales y consumos) y seguimiento permanente macro y micro medición, medición de caudales, calidad de agua, catastro de suscriptores reales (categoría Moderado: 0,10 – 0,20 km ³ /año).	10,5 – 25
		No se experimenta presiones sobre el recurso en términos de cantidad de agua (categoría Bajo: < 0,10 km ³ /año).	25,5 - 50
	N. Índice de frecuencia de interrupción del servicio ante eventos extraordinarios hidrometeoro lógicos.	Alto número de interrupciones del servicio por eventos extraordinarios (>10 horas de interrupción por día del servicio por crecida torrencial).	0- 10
		Moderado número de interrupciones del servicio por eventos extraordinarios (entre 5 y 10 horas de interrupción por día del servicio por crecida torrencial)	10,5 – 25
		Bajo número de interrupciones (entre 0 - 5 horas de interrupción por día del servicio por crecida torrencial del servicio por eventos extraordinarios).	25,5- 50
	Ñ. Porcentaje (%) del cumplimiento de planes de contingencia - emergencia de la empresa prestadora del servicio de agua potable	Los planes de contingencia – emergencia son aplicados con eficiencia.	35-50
		Existen planes de contingencia – emergencia pero no se cumplen.	20,5 – 34,9
		No existen planes de contingencia – emergencia o sólo son directrices generales técnicos – operativos que hace que la atención no sea eficiente y favorece al riesgo al desabastecimiento de agua potable ante una amenaza natural.	0- 20

PASO 4 Valoración de los indicadores seleccionados

Para realizar la valoración de los indicadores seleccionados, es indispensable contar con una evaluación socio ambiental previa del área de estudio, soportada en el conjunto de indicadores del sistema hídrico, de intervención antrópica y de vulnerabilidad, que permita al personal técnico que participe en la evaluación de la sostenibilidad otorgar los puntos correspondientes según la escala referencial (Cuadros 8, 9, 10) con mayor certeza y confiabilidad de acuerdo a la caracterización y diagnóstico de la cuenca hidrográfica abastecedora de agua en estudio. Para su aplicación al caso de estudio, esta valoración se fundamentó en estudio técnico realizado por Contreras y Dugarte (2019), cuyos resultados se reportan en los cuadros 11, 12 y 13.

CUADRO 11. Valoración de indicadores del sistema hídrico. Fuente: Elaboración propia.

		Justificación según reporte basado en indicadores	Puntos otorgados (PO)
Indicadores del sistema hídrico	B. Caudales mínimos-medios disponibles en l/s.	La cuenca hidrográfica presenta una oferta de agua a lo largo de todo el año (caudales mínimos 108,10 l/s y caudales medios de 747,34 l/s determinados con una probabilidad de excedencia del 95%,) que la caracteriza por tener vocación hídrica para abastecer a las poblaciones usuarias de la misma. Esta vocación es una potencialidad del área de estudio debido a que se encuentra dentro de del parque nacional Sierra Nevada, cuya figura de protección ha permitido garantizar el estado de conservación actual de la parte media – alta de la subcuenca y por ende mantener el microclima de la zona con un balance hídrico positivo (alto excedente de agua), debido a que en la zona existe una franja de selva nublada que ocupa un área de 53,84 ha, con temperaturas relativamente bajas y cuya principal característica climática es la alta nubosidad diaria, que tiene como consecuencia una baja insolación y una alta humedad relativa.	50
	C. Calidad de agua	En el monitoreo en un periodo de 10 años reporta como excelente la calidad de agua, sin embargo, en registros de los últimos 5 años se evidencia alteraciones moderadas de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos y aun cumple con las normas de calidad de agua cruda para que pueda clasificarse como aguas que puede destinarse para el abastecimiento de agua para las poblaciones. Desde el punto de vista sanitario, esto implica acondicionarlas con tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración. Según registros de la empresa prestadora del servicio de agua potable, el agua cruda de esta fuente cumple con las especificaciones técnicas definidas en las normas técnico - legales específicas de calidad de agua cruda y potable (Decreto N° 883 y norma N° S.G.-018-98) y es clasificada como aguas tipo 1 que requiere tratamientos convencionales, sin embargo, el sistema de acueducto de Ejido, solo cuenta con captación, desarenador, línea de conducción – aducción y desinfección en estaque de almacenamiento, con una planta de potabilización en construcción y actualmente paralizada. Situación que se agrava a partir de mayo de 2019, cuando se afecta la infraestructura hidráulica (captación) por colmatación de sedimentos por crecida torrencial, lo que conlleva al aprovechamiento hídrico con captación artesanal.	35

CUADRO 12. Valoración de indicadores de intervención antrópica. Fuente: Elaboración propia.

	Justificación según reporte basado en indicadores	Puntos otorgados (PO)
Indicadores de intervención antrópica	<p>D. Índice del uso de agua superficial</p> <p>los caudales extraídos de la quebrada La Fría realizados por la empresa hidrológica Aguas de Ejido C.A para el período 1998-2019, oscilan entre caudales mínimos de 92,53 (l/s) y caudales máximos de 299 (l/s), como se evidencia en los registros históricos del aprovechamiento del recurso hídrico de esta fuente.</p> <p>Actualmente la presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible, esto al relacionar el caudal promedio mensual aprovechado durante 15 años es de 231,85 l/s por la Empresa prestadora del servicio de agua potable Aguas de Ejido C.A. para atender la demanda de 67.990 habitantes (año 2019) lo que corresponde al 60% de la población del área urbana Ejido que se abastece de la quebrada La Fría.</p>	30
	<p>E. Densidad de la población dentro del bosque presente en la cuenca</p> <p>La densidad poblacional dentro del bosque es de 2,25 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km²), por lo que aún no existe alta presión antrópica en la cuenca hidrográfica en estudio, por lo que se clasifica en una categoría de muy bueno, ya que la densidad poblacional dentro del bosque es menor de 5 hab/km². Sin embargo, es un indicador que debe tener seguimiento continuo, ya que se evidencio en visitas de campo, el avance de la frontera agrícola por los pobladores presentes dentro del bosque</p>	35
	<p>G. Uso de la tierra versus cobertura vegetal</p> <p>Para la aplicación de este índice se tomó como referencia el área total cubierta por vegetación de la cuenca hidrográfica (3.049 ha), la cual se relacionó con el porcentaje de área donde se encuentra las actividades antrópicas (actividad agropecuaria, herbazales, bosque intervenido y suelo desnudo).</p> <p>En este caso se determinó para el año 2019, que la superficie de la cuenca que utiliza la población local para estas actividades es de 468 hectáreas, lo que representa el 15,35% de la superficie total del área de estudio, lo que indica que este uso de la tierra vs cobertura vegetal es bueno. Sin embargo, es importante resaltar que las actividades agropecuarias actuales se desarrollan sin considerar medidas de conservación de suelos y aguas. Este es un indicador que debe tener seguimiento continuo ya que puede poner en riesgo la sostenibilidad del recurso hídrico; esto debido a que se detectó en la investigación que:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En un período de 15 años, disminuyó la cobertura de vegetación natural en 444 hectáreas, lo que representa una tasa de variación de cobertura de la vegetación natural (Tv/año) de 0,84%. - Para el año 2019, se evidenció que la zona primitiva o silvestre, está siendo intervenida producto de actividades antrópicas para usos agropecuarios, lo que ha provocado que en esta zona se encuentren bosques intervenidos, herbazales y suelos desnudos. Esta área intervenida en la zona primitiva o silvestre, ocupa una superficie de 189,08 ha, lo que representa un 25,52% de esta zona del PNSN que se encuentra dentro del área de estudio 	30

CUADRO 13. Valoración de indicadores de vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia.

		Justificación según reporte basado en indicadores	Puntos otorgados (PO)
Indicadores de vulnerabilidad	J. Índice de Torrencialidad (It)	La sub-cuenca hidrográfica de la quebrada La Fría, presenta un comportamiento hidrológico de carácter torrencial a nivel general de medio a moderado (It = 6), lo que indica que esta zona es susceptible ante cualquier evento hidro-meteorológico extraordinario. La zona de estudio a nivel general es vulnerable a que se presenten crecidas súbitas y violentas, que pueden llegar a generar daños a las infraestructuras del sistema de abastecimiento de agua para la ciudad de Ejido y la población de Chamita.	10,5
	M. Índice de stress relativo	Considerando la demanda per cápita para uso doméstico (453,58 l/d) de la población beneficiaria del sistema de acueducto que se abastece de la quebrada La Fría en relación al caudal promedio aprovechado por la Empresa prestadora del servicio Aguas de Ejido C.A. Este indicador refleja que La disponibilidad de agua se puede convertir en un factor limitante del desarrollo; se debe implementar un mejor sistema de monitoreo (caudales y consumos) y seguimiento permanente macro y micro medición, medición de caudales, calidad de agua, catastro de suscriptores reales.	15
	N. Índice de frecuencia de interrupción del servicio ante eventos extraordinarios hidro-meteorológicos.	Según registros de la empresa prestadora del servicio, la frecuencia de interrupción del servicio de agua potable en promedio es de 8,5 horas al día por crecida torrencial, sin embargo, este indicador se hace más crítico en épocas de lluvia y nevadas, cuando en promedio ocurren hasta 15 crecidas torrenciales al mes en promedio. Actualmente, estas interrupciones del servicio de agua potable se clasifican de categoría moderada y están vinculadas directamente a las características torrenciales de la cuenca abastecedora de agua, las cuales ocasionan alteraciones a la calidad del agua por la gran cantidad de sedimentos aportados al cauce y la colmatación o daños que ocasionan estas a las obras hidráulicas (sistema de acueductos convencionales), lo que obliga a la suspensión del servicio. Estas circunstancias de contingencia o emergencias eventuales representan un riesgo para que el personal técnico y operativo pueda realizar labores inmediatas de mantenimiento, ya que se debe esperar que las condiciones del caudal se estabilicen para ejecutar la evaluación de posibles daños al sistema de acueducto para poder restituir el servicio de agua potable. Lo antes expuesto, se evidencio en el mes de mayo del año 2.019, cuando ocurrió una crecida torrencial extraordinaria, que afecto parte de la infraestructura hidráulica del sistema de acueducto. Esta situación aún sigue afectando las horas del servicio de agua potable al 60% de la población de la ciudad de Ejido del municipio Campo Elías y Chamita del municipio Libertador. Por tanto, este es un indicador, que debe tener seguimiento continuo, ya que puede poner en riesgo la sostenibilidad y la seguridad del recurso hídrico.	10,5
	Ñ. Porcentaje (%) del cumplimiento de planes de contingencia - emergencia de la empresa prestadora del servicio de agua potable	No existen planes de contingencia – emergencia como lo establece la legislación nacional vigente. El prestador del servicio de agua potable sólo cuenta con directrices generales técnicos – operativos, que hace que la atención no sea eficiente y favorece al riesgo al desabastecimiento de agua potable ante una amenaza natural.	03

Etapa 2: Determinación del Índice Simplificado la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña (ISRH-CHM)

El Índice Simplificado para Evaluar la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña que son abastecedoras de agua para la población, se abrevia como ISRH-CHM (Ecu: 1) y su determinación se realizó a partir de la ecuación propuesta en los estudios realizados por García (2011) y García y Balsameda (2013), que permite la agregación de los indicadores seleccionados y valorados en la etapa 1.

$$ISRH = \sum_a^f i * p \quad \text{Ecu: 1}$$

Dónde:

i – Peso relativo de cada indicador (PR)

p – Puntos otorgados a cada indicador de acuerdo con su escala = PO

B, C, D, E, G, L, M, N y Ñ – Indicadores que intervienen en el cálculo.

Con los resultados obtenidos de la importancia relativa otorgada por los expertos (pesos relativos), y la valoración referida a los puntos otorgados (PO) a cada indicador en la etapa 1, se obtuvo lo siguiente:

CUADRO 14. Determinación del valor del índice simplificado de la sostenibilidad del recurso hídrico. Fuente: Elaboración propia.

Indicador	PR (e/t)	Puntos otorgados (PO) a la cuenca en estudio	ISRH (PR*PO)
B	0,11	50	5,50
C	0,12	35	4,20
D	0,11	30	3,30
E	0,11	35	3,85
G	0,11	30	3,30
J	0,11	10,5	1,15
M	0,11	15	1,65
N	0,11	10,5	1,15
Ñ	0,12	3	0,36
ISRH-CHM			$\sum T = 24,46$

El resultado obtenido de la aplicación de la ecuación antes señalada, fue un *Índice Simplificado de la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña* (ISRH-CHM) con fines de abastecimiento de agua (ISRH) es de **24,46 =24**.

Etapa 3: Evaluación de la sostenibilidad del recurso hídrico

50

La evaluación de la sostenibilidad del recurso hídrico del agua está soportada en el conjunto de nueve indicadores hídricos, asociados al régimen natural y a la intervención antrópica descritos en la etapa 1 y, a partir de allí, se construyó el *Índice Simplificado de la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña* (ISRH-CHM), y para su evaluación se desarrolló el siguiente procedimiento metodológico:

PASO 3.1 Clasificación de la sostenibilidad del recurso hídrico según el valor de ISRH-CHM.

Para que el valor obtenido del ISRH, permita determinar el nivel de sostenibilidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable, se construyó con el panel de expertos una escala referencial que permite de acuerdo al valor del ISRH-CHM realizar la clasificación de la sostenibilidad del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica en estudio (Cuadro 15).

CUADRO 15. Escala de clasificación de sostenibilidad del recurso hídrico de la cuenca hidrográfica en estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Valor del ISRH	Clasificación de sostenibilidad del recurso hídrico	Representación gráfica	Interpretación para la evaluación
40 – 50,5	Muy Alto	AZUL	Cuenca abastecedora de agua, en excelente estado de conservación, con un uso sostenible de sus recursos naturales, con medidas de conservación de suelos y aguas en vertientes y obras de control de torrentes en cauce, resiliente ante eventos hidro-meteorológicos extraordinarios. El prestador del servicio de agua potable hace un uso eficiente del recurso agua.
30 – 40	Alto	VERDE	Cuenca abastecedora de agua, en alto estado de conservación, con uso sostenible de sus recursos naturales, con medidas de conservación de suelos y aguas en vertientes y obras de control de torrentes, resiliente ante eventos hidro-meteorológicos extraordinarios. El prestador del servicio de agua potable hace un uso eficiente del recurso agua.
20-30	Moderado con alto riesgo hacia la insostenibilidad	AMARILLO	Cuenca abastecedora de agua, con moderado estado de conservación, con uso moderado de sus recursos naturales, con existencia de algunas a escasas medidas de conservación de suelos y aguas en vertientes y obras de control de torrentes, poco resiliente ante eventos hidro-meteorológicos extraordinarios. El prestador del servicio de agua potable hace un uso medianamente eficiente del recurso agua.
10 – 20	Bajo con muy alto riesgo de insostenibilidad	NARANJA	Cuenca abastecedora de agua, con bajo estado de conservación, con un uso poco sostenible de sus recursos naturales, escasas a inexistentes medidas de conservación de suelos y aguas en vertientes y obras de control de torrentes, poco resiliente ante eventos hidro-meteorológicos extraordinarios. El prestador del servicio de agua potable hace un uso poco eficiente del recurso agua.
0 – 10	Muy Bajo e Insostenible	ROJO	Cuenca abastecedora de agua, con muy bajo estado de conservación, con uso insostenible de sus recursos naturales, sin medidas de conservación de suelos y aguas en vertientes y obras de control de torrentes, por su nivel de afectación no logra ser resiliente ante eventos hidro-meteorológicos extraordinarios y tiende a incrementar problemas de la dinámica torrencial. El prestador del servicio de agua potable no hace un uso eficiente del recurso agua.

Al emplear la escala de clasificación detallada en el cuadro 15 y utilizando el valor ISRH-CHM (24), se obtiene que la cuenca hidrográfica en estudio es ***Moderado con alto riesgo hacia la insostenibilidad.***

PASO 3.2

Establecer la relación del valor del ISRH-CHM con el desempeño del prestador del servicio de agua potable para alcanzar la sostenibilidad del recurso hídrico.

Para que el ISRH-CHM, se constituya en una herramienta e instrumento para la gestión y planificación del sector agua potable, requiere que se evalúe el desempeño del prestador del servicio de agua potable para alcanzar la sostenibilidad del recurso hídrico; para lograrlo, se construyó en panel de expertos una escala de evaluación que permita proponer estrategias de

acción en el marco de los objetivos del desarrollo sostenible pro de fortalecer la resiliencia del recurso hídrico y el sistema de acueducto (Cuadro 16).

CUADRO 16. Escala de relación del ISRH y la evaluación del desempeño del prestador del servicio de agua potable para alcanzar la sostenibilidad del recurso hídrico. Fuente: Elaboración propia.

Valor del ISRH-CHM	Interpretación para la evaluación del desempeño del prestador del servicio de agua potable para alcanzar la sostenibilidad del recurso hídrico.
40 – 50,5	Para mantener un estado de sostenibilidad ideal del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable, se requiere la continua implementación del 100 % de programas, proyectos y acciones dirigidas al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales de la cuenca abastecedora de agua, en busca de fortalecer la resiliencia del recurso hídrico y el sistema de acueducto.
30 -40	Para alcanzar un estado de sostenibilidad ideal del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable, se requiere la implementación del 50 - 100% de programas, proyectos y acciones dirigidas al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales de la cuenca abastecedora de agua según, en busca de fortalecer la resiliencia del recurso hídrico y el sistema de acueducto.
20-30	Para alcanzar un estado de sostenibilidad ideal del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable, se requiere el diseño y la implementación del 25 - 50% de programas, proyectos y acciones dirigidas al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales de la cuenca abastecedora de agua, en busca de fortalecer la resiliencia del recurso hídrico y el sistema de acueducto.
10 -20	Para alcanzar un estado de sostenibilidad ideal del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable, se requiere el diseño y la implementación del 5 - 25% de programas, proyectos y acciones dirigidas al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales de la cuenca abastecedora de agua, en busca de fortalecer la resiliencia del recurso hídrico y el sistema de acueducto.
0 -10	No logra alcanzar un estado de sostenibilidad ideal del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable, ya que no se evidencia diseño e implementación de programas, proyectos y acciones dirigidas al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales de la cuenca abastecedora de agua, en busca de fortalecer la resiliencia del recurso hídrico y el sistema de acueducto.

Al emplear la escala de clasificación detallada en el cuadro 16 y utilizando el valor ISRH-CHM (24), se obtiene que el prestador del servicio de agua potable en este caso de estudio, requiere para alcanzar un estado de sostenibilidad ideal del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable, el diseño y la implementación del 25 - 50% de programas, proyectos y acciones dirigidas al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales de la cuenca abastecedora de agua, en busca de fortalecer la resiliencia del recurso hídrico y el sistema de acueducto.

PASO 3.3

Propuesta de estrategias generales para fortalecer la resiliencia y capacidad de adaptación del servicio de agua potable.

Para adaptarse a los impactos del cambio climático y asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico para el abastecimiento de agua para las poblaciones, para ello se hace significativo y necesario identificar medidas que permitan gestionar los desafíos de la variabilidad climática ante el eminente cambio climático en busca de una mejor calidad de vida de manera compatible con éste (GWP, 2000; 2017).

En este contexto y de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación socio ambiental y el *Índice Simplificado de la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña (ISRH-CHM)* de la sub cuenca de la quebrada La Fría, es clasificado como **moderado con alto riesgo de insostenibilidad**, implica la definición e implementación de estrategias que involucren a todos los actores sociales y las comunidades de la zona, en busca de fortalecer la resiliencia del recurso hídrico y el acueducto urbano de Ejido.



Moderado
Con alto riesgo hacia la
insostenibilidad

Esto implica, activar un proceso de planificación y gestión estratégica que permita acciones permanentes donde se pueda alcanzar y mantener un estado de sostenibilidad ideal del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable, que se fundamenten en el aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales de la cuenca abastecedora de agua.

Por tanto, para alcanzar la sostenibilidad del recurso hídrico de la quebrada la Fría que abastece al acueducto urbano de la ciudad de Ejido, se requieren establecer cuatro programas de carácter permanente e interrelacionados entre sí, ya que son interdependientes y se fortalecen unos a los otros, lo cual contribuiría al cumplimiento de las metas establecidas en los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) de la Agenda 2030 (ONU, 2016), como lo son la *igualdad de género* (N°5), *agua limpia y saneamiento* (N°6), *ciudades y comunidades sostenibles* (N° 11), *producción y consumo responsables* (N° 12), acción por el clima (N°13), vida de ecosistemas terrestres (N° 15), que en su conjunto son pertinentes en esta investigación:

1. Programa de organización y participación comunitaria en el sector agua potable.



54

2. Programa uso eficiente del agua en el sistema de acueducto.



3. Programa gestión ambiental en el sector agua potable.

Objetivos del Desarrollo Sostenible al que se vincula

Desarrollar la planificación y formulación del sistema de gestión ambiental de los servicios de agua potable.

 Formular proyecto de educación ambiental en las cuencas abastecedoras de agua con alianzas comunales.

 Formular, implementar y desarrollar el proyecto de control de calidad de agua.

 Formular, implementar y desarrollar el proyecto de medición de caudales de la fuente abastecedora.

 Formular proyecto tarifario que incluya la protección y conservación de cuencas abastecedoras de agua.

 Formular proyecto de agricultura sostenible en el área fuera de la poligonal del PNSN, de la cuenca abastecedora.

 Fortalecer labores de vigilancia y control en el puesto de guardaparques ubicado dentro de la subcuenca.

 Actualización del Plan de ordenamiento y reglamento de uso (PORU) del PNSN.

ESTRATEGIAS

4. Programa de resiliencia y adaptación al cambio climático en el sector agua potable

Objetivos del Desarrollo Sostenible al que se vincula

Recuperación de la infraestructura hidráulica existente en el subsistema de producción de la quebrada La Fría del acueducto urbano de Ejido.

 Establecer obras de control de torrentes con el fin de mitigar daños por crecidas torrenciales.

 Formular e implementar los planes de contingencia ante situaciones ambientales adversas para la prestación del servicio de agua potable.
(Ley orgánica de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento, artículo 65, literal p)

ESTRATEGIAS

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación de la sostenibilidad del recurso hídrico desarrollada en esta investigación se enmarcó en una iniciativa de carácter interinstitucional de la Universidad de los Andes (ULA), Instituto Nacional de Parques (INPARQUES), Aguas de Ejido C.A. y el Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA), basándose en el marco de diversas declaraciones y acuerdos internacionales en torno al recurso hídrico que buscan **«Asegurar agua sostenible para todos»** de acuerdo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

La evaluación fue soportada en un conjunto de nueve indicadores hídricos, asociados al régimen natural y a la intervención antrópica que fueron determinados en panel de expertos vinculados al sector agua potable y a partir de allí, se construyó el *Índice Simplificado de la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña* (ISRH-CHM), por lo que constituye una herramienta e instrumento de gestión y planificación para la sostenibilidad del recurso hídrico con fines de abastecimiento de agua potable.

Este índice y el modelo metodológico aplicado, es un aporte de la investigación al Ministerio del Poder Popular para la Atención a las Aguas (MINAGUAS) y a las empresas prestadoras del servicio de agua potable, el cual surgió a partir del *Índice simplificado de Gestión de Cuencas* (ISGC) realizado por García y Balsamede (2013), resultando un modelo flexible y útil ante la escasez de datos para la evaluación del recurso hídrico. Por tanto, este índice para la evaluación de la sostenibilidad del recurso hídrico, permite dar los primeros pasos ante el débil monitoreo de este recurso, para que los planificadores, gerentes y autoridades responsables de la gestión integral de las aguas y la prestación del servicio de agua potable, puedan valorar el estado ambiental de la fuente abastecedora y su influencia en la prestación del servicio de agua potable, así como identificar y basar técnicamente la propuesta de estrategias generales para fortalecer la resiliencia y capacidad de adaptación del servicio de agua potable.

Sin embargo, se recomienda que para ir fortaleciendo esta propuesta de evaluación, es fundamental incorporar al *Índice Simplificado de la Sostenibilidad del Recurso Hídrico en Cuencas Hidrográficas de Montaña* (ISRH-CHM) creado en esta investigación, los indicadores de estado, de calidad y presión por contaminación.

Esta recomendación, se realiza en vista de que no se logró incorporarse en esta investigación por no contar con registros continuos estadísticamente válidos para las variables bacteriológicas

y fisicoquímicas (oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, pH del agua, nitrógeno total Kjeldahl y fósforo total); además, no fue posible relacionar la carga contaminante que pudiese recibir la cuenca en estudio por lo que no fue posible determinar la Alteración Potencial de la Calidad del Agua (IACAL) de la quebrada La Fría.

5. AGRADECIMIENTOS

Al panel de expertos que participaron en todas las etapas de la investigación de la Empresa Aguas de Ejido C.A., Aguas de Mérida C.A., Universidad de los Andes (Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales), Ministerio del Poder Popular de Atención a las Aguas (MINAGUAS), Instituto Nacional de Parques (INPARQUES) y el Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUAS DE EJIDO C.A. 2019. *Compilación de informes técnicos del subsistema de producción de la quebrada La Fría del acueducto urbano de Ejido del período 1998 - 2019*. Aguas de Ejido C.A. Ejido, estado Mérida.
- AGUAS DE MÉRIDA C.A. 2019. *Compilación de informes técnicos de la quebrada La Fría del período 1999-2019*. Mérida, estado Mérida.
- CASTRO, V. C. 2011. *Un Índice simplificado para evaluar la gestión sostenible en cuencas hidrográficas (IsGC) 2da Etapa*. Trabajo presentado en la 2ª Asamblea General de la RELOC. 24-26 de noviembre de 2011. Ciudad de Panamá, Panamá.
- CHAVES, H., y S. ALIPAZ. 2007. An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Management* 21: 883-895.
- ASAMBLEA NACIONAL DE VENEZUELA. 1995. *Decreto N° 883. "Normas para la Clasificación y Control de la Calidad del Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos"*. Gaceta Oficial Extraordinaria de la República de Venezuela N° 5.021 de 18 de Diciembre de 1995. Caracas, Venezuela.
- CONTRERAS, B., y B. DUGARTE. 2019. *Evaluación de la sostenibilidad del recurso hídrico, con fines de abastecimiento de agua potable. Caso de estudio: sub cuenca de la quebrada La Fría, municipio Libertador, estado Mérida*. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 222 p.
- CORTÉS, A. E., R. OYARZÚN, N. KRETSCHMER, H. CHAVES y G. SOTO. 2011. Aplicación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas a una cuenca HELP en zona árida: La cuenca del Río Elqui en la parte norte-central de Chile. Simposio Internacional HELP 2011, Panamá, 12 – 15 de septiembre de 2011. Ciudad de Panamá, Panamá.
- GARCÍA, J. 2011. *Guía metodológica para el perfeccionamiento del Índice simplificado de Gestión de Cuencas Hidrográficas (IsGC) 2da Etapa*. Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. La Habana, Cuba.

- GARCÍA, Y., y C. BALMASEDA. 2013. Índice simplificado de gestión de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 45-49.
- GWP. 2000. Integrated Water Resources Management. Paper No. 4. Global Water Partnership [GWP]. En línea: <https://www.gwp.org> [Consultado en: 17/05/2019].
- GWP. 2017. Seguridad hídrica: Esencial para la resiliencia al clima. En línea: <https://www.gwp.org> [Consultado en: 18/05/2019].
- IDEAM. 2014. *Estudio nacional del agua*. Colombia: Ministerio del Medio Ambiente. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. En línea: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000047/ESTUDIONACIONALDEL AGUA.pdf>. [Consultado en: 21/05/2019].
- IPCC. 2007a. *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis*. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC). Ginebra, Suiza.
- IPCC. 2008. *El Cambio Climático y el agua*. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC). Ginebra, Suiza.
- IPCC. 2007 b. *Climate Change: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- KRETSCHMER, N., A. WENDT, R. OYARZUN y H. CHAVES. 2011.. El Índice de Sostenibilidad de Cuencas en la cuenca del Río Limarí en Chile. Simposio Internacional HELP 2011, 12–15 de septiembre de 2011. Ciudad de Panamá, Panamá.
- . 2016. *Agenda 2030 Objetivos del Desarrollo Sostenible*. En línea: <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf> [Consultado en: 23/06/2019].
- ONU. 2016. *Agua 1977-2015*. En línea: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html> [Consultado en: 13/06/2019].
- OPS. 2006. *El Desafío del Sector de Agua y Saneamiento en la Reducción de Desastres: Mejorar la Calidad de Vida Reduciendo las Vulnerabilidades*. Organización Panamericana de la

Salud (OPS). En línea: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd52/desafiodelagua/intro.pdf>
[Consultado en: 12/06/2019].

PEÑA R., K. 2019. *Desarrollo de una metodología para la evaluación del desempeño y la sostenibilidad ambiental en la gestión del agua potable. Caso de Estudio: Aguas de Mérida C.A.* (Venezuela). Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. Valencia, España.

QUIROGA, R. 2001. *Indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible: Estado del arte y perspectivas.* Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Naciones Unidas. Santiago de Chile, Chile. En línea: <https://repositorio.cepal.org>
[Consultado en: 15/06/2019].

SÁNCHEZ, L., y A. SÁNCHEZ. 2004. *Uso eficiente del agua.* CW Delft, Países Bajos: International Water and Sanitation Centre. En línea: <http://www.irc.nl> [Consultado en: 11/06/2019].

TATE, D. 1991. *Principios del uso eficiente del agua.* Internacional sobre uso eficiente del agua. México D.F., México.