





Área Académica Agroforestal

Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

Trabajo Final de Graduación sometido al Tribunal del Área Académica Agroforestal del Tecnológico de Costa Rica para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

**Propuesta de un marco de evaluación de seguridad hídrica con un enfoque preventivo y adaptativo en el contexto de la prestación sostenible del servicio de abastecimiento de agua potable a cargo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados**

Juan Pablo González Ramírez

Campus Tecnológico Central Cartago, Costa Rica

Junio, 2024

## Hoja de aprobación

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción.

---

M. Sc. Andrés Lazo Páez

Tutor

---

Dra. Cynthia Salas Garita

Profesora lectora

---

Dr. Dagoberto Arias Aguilar

Presidente del Tribunal

---

Juan Pablo González Ramírez

Sustentante

## **Dedicatoria**

A mi madre y mi padre, por inculcarme el valor de la superación.

## **Agradecimiento**

A Dios.

Al panel de expertos consultados, por su disposición.

A mi tutor, por el acompañamiento.

A la Maestría y grupo de profesores, por sus enseñanzas.

A mis colegas de estudio, por su apoyo y compañerismo.

Y a Ti, por todo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 El problema de investigación y su importancia.....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 La seguridad hídrica.....	4
2.2 Desafíos en materia de seguridad hídrica .....	4
2.3 Métrica para la seguridad hídrica: dimensiones, indicadores e índice .....	6
2.4 Experiencias en la medición de la seguridad hídrica.....	8
2.5 Abordajes de investigación sobre seguridad hídrica .....	8
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>9</b>
3.1 Enfoque y tipo de investigación.....	9
3.2 Marco espacial y temporal .....	9
3.3 Mención sobre la utilización del Método Delphi.....	10
3.4 Sistematización de los objetivos.....	11
3.4.1 Objetivo específico 1.....	11
3.4.2 Objetivo específico 2.....	13
3.4.3 Objetivo específico 3.....	16
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>17</b>
4.1 Elementos para la definición conceptual de seguridad hídrica.....	17
4.2 Desafíos para la seguridad hídrica.....	20

4.3 Oportunidades de innovación para la seguridad hídrica .....	24
4.4 Dimensiones para el cálculo de un posible índice de seguridad hídrica .....	26
4.5 Conjunto de indicadores indispensables según dimensiones para utilizar en posibles índices de seguridad hídrica .....	29
4.6 Oportunidades de acción para el planteamiento futuro de ejercicios de medición de la seguridad hídrica .....	37
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>42</b>
5.1 Conclusiones.....	42
5.2 Recomendaciones.....	45
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	14
<i>Dimensiones e indicadores para consulta a expertos .....</i>	<i>14</i>
Tabla 2.....	17
<i>Conjunto de elementos requeridos para definir un concepto de seguridad hídrica.....</i>	<i>17</i>
Tabla 3.....	20
<i>Desafíos para la seguridad hídrica .....</i>	<i>20</i>
Tabla 4.....	24
<i>Oportunidades para la seguridad hídrica.....</i>	<i>24</i>
Tabla 5.....	27
<i>Dimensiones para un posible índice de seguridad hídrica .....</i>	<i>27</i>
Tabla 6.....	29
<i>Opinión del panel sobre el conjunto de indicadores según dimensiones .....</i>	<i>29</i>
Tabla 7.....	36
<i>Indicadores indispensables por dimensión .....</i>	<i>36</i>
Tabla 8.....	37
<i>Oportunidades de acción.....</i>	<i>37</i>

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Guía de instrumento de entrevista a experto_ronda 1.....	52
Anexo 2. Guía de instrumento de entrevista a experto_ronda 2.....	61

## Resumen

El presente estudio investiga el concepto de la seguridad hídrica, para su aplicación en la búsqueda de soluciones a los retos en la gestión del recurso hídrico que debe enfrentar el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Se enmarca en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 sobre agua potable y saneamiento de la Agenda 2030. El problema de investigación surge de los desafíos por resolver en el marco de la gestión del recurso hídrico, visualizados en el Plan Estratégico Institucional 2022-2026 del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Como objetivo principal, se propone un marco de evaluación de la seguridad hídrica, con un enfoque preventivo y adaptativo, en el contexto de la prestación sostenible del servicio de abastecimiento de agua potable a cargo de dicho instituto. Se busca, entonces, a partir del uso de técnicas cualitativas, la inmersión en el estado del conocimiento con respecto a qué se entiende por seguridad hídrica, la obtención de un panorama de factores condicionantes, así como oportunidades de innovación para que, a través de la gestión respectiva, se logren niveles aceptables de esa seguridad, el conocimiento sobre cómo se mide y cómo se cuantifica la misma y, finalmente, una descripción de posibles oportunidades y escenarios de acción para formular ejercicios de medición de la seguridad hídrica, según los espacios temporales y espaciales adecuados. La consulta a un panel de expertos basado en el método Delphi, así como a fuentes secundarias, es clave en el desarrollo de esta investigación.

**Palabras clave:** Seguridad hídrica, Agua, Potable, Delphi, Indicadores.

## Abstract

This study investigates the concept of water security, for its application in the search for solutions to the challenges in the management of water resources that the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewers must face. It is part of Sustainable Development Goal 6 on drinking water and sanitation of the 2030 Agenda. The research problem arises from the challenges to be solved within the framework of water resource management, visualized in the Institutional Strategic Plan 2022-2026 of the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewers. As the main objective, a framework for assessing water security is proposed, with a preventive and adaptive approach, in the context of the sustainable provision of the drinking water supply service by the institute. Therefore, through the use of qualitative techniques, it seeks to immerse oneself in the state of knowledge regarding what is meant by water security, to obtain an overview of conditioning factors, as well as opportunities for innovation so that, through the respective management, acceptable levels of this security are achieved, knowledge about how it is measured and how it is quantified, and, Finally, a description of possible opportunities and action scenarios to formulate exercises to measure water security, according to the appropriate temporal and spatial spaces. Consultation with a panel of experts based on the Delphi method, as well as secondary sources, is key in the development of this research.

**Keywords:** Water security, Water, Drinkable, Delphi, Indicators.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Introducción

La seguridad hídrica es un concepto de relevancia en materia de gestión de los recursos naturales, en un contexto de cambio social y económico acelerado, donde existen intereses y enfoques diversos en el manejo del recurso agua. Los impactos por eventos de variabilidad climática (sin olvidar las otras amenazas de origen natural y antropogénico) y un mundo pospandemia del COVID-19, refuerzan la necesidad de estudiar la pertinencia de la seguridad hídrica como el objetivo estratégico que permitiría ordenar el debate en torno al agua, como lo indica Peña (2016).

Según el Plan Estratégico Institucional 2022-2026 del AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2022), existe una serie de desafíos por resolver en el marco de gestión del recurso hídrico que realiza la institución. Ante esto, la Dirección de Investigación del AyA busca formas novedosas para revertir esos desafíos hacia escenarios positivos. Es allí donde la presente investigación contribuye a brindar un panorama, sobre cómo el paradigma de la seguridad hídrica aborda problemas inherentes a la gestión del recurso, en términos de suministro de agua potable, enmarcándose a su vez en el Objetivo de Desarrollo Sostenible N° 6, referido a “agua limpia y saneamiento”.

Como objetivo principal de la investigación, se propone un marco de evaluación de la seguridad hídrica con un enfoque preventivo y adaptativo, en el contexto de la prestación sostenible del servicio de abastecimiento de agua potable a cargo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Para ello, se analizan el concepto, los desafíos y las oportunidades de innovación en materia de seguridad hídrica (discusión conceptual) y se determinan dimensiones, indicadores y oportunidades de acción, que puedan servir para el planteamiento futuro de medición de la seguridad hídrica.

## 1.2 El problema de investigación y su importancia

Según el Plan Estratégico Institucional 2022-2026 del AyA, la institución posee debilidades en la capacidad operativa (lo que afecta la calidad del servicio), tecnología obsoleta, deficiencias en seguimiento a eventos adversos que perjudican la continuidad del servicio, y proyectos que se formulan de acuerdo con la demanda individualizada y no a partir de una oferta hídrica planificada. Se enfrenta a amenazas como el cambio climático y su impacto sobre el recurso hídrico, el ordenamiento urbano desarticulado y la contaminación en fuentes de agua (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2022).

Ante ello, la Dirección de Investigación Aplicada analiza si el concepto de seguridad hídrica puede ayudar a solucionar lo descrito anteriormente desde dos aproximaciones. La primera, desde una perspectiva exploratoria, de discusión del concepto y sus distintos abordajes, para conocer en qué punto de entendimiento con respecto a dicho concepto puede encontrarse la Institución, y que ayude a identificar si es factible abordar la seguridad hídrica desde una visión preventiva y adaptativa. La segunda aproximación es desde una perspectiva de aplicación de los preceptos anteriores, de tal forma que se puedan recopilar o generar datos para realizar mediciones de la seguridad hídrica, según categorías e indicadores que se vinculen con la prestación del servicio de agua potable.

Al atender esa inquietud, surge el problema de investigación: ¿Cuáles son los elementos necesarios para crear un marco para la evaluación de la seguridad hídrica, con un enfoque preventivo y adaptativo, en el contexto de la prestación sostenible del servicio de abastecimiento del agua potable a cargo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados? La importancia de responder a esa incógnita tiene dos fundamentos.

Primero, se identifican elementos de insumo para abarcar ese nivel indagatorio y exploratorio de la seguridad hídrica, por lo que el alcance de este trabajo se circunscribe solamente a ello. En segundo término, se apoya a dicha dirección en la promoción de la investigación para construir una visión de seguridad hídrica institucional, considerando el

sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ONU, 2023) de la Agenda 2030, donde se plantea garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Proponer un marco de evaluación de la seguridad hídrica, con un enfoque preventivo y adaptativo, en el contexto de la prestación sostenible del servicio de abastecimiento de agua potable a cargo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar el concepto, los desafíos actuales y las oportunidades de innovación en materia de seguridad hídrica en relación con las actividades del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Determinar las dimensiones e indicadores que deben considerarse en un posible cálculo de un índice de seguridad hídrica, teniendo en cuenta requerimientos operativos de la institución bajo un enfoque de continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.
- Identificar las oportunidades de acción para el planteamiento futuro de ejercicios de medición de la seguridad hídrica.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 La seguridad hídrica**

La seguridad hídrica es un concepto paradigmático que ha tomado fuerza desde el II Foro Mundial de La Haya del año 2000, producto del incremento de la escasez hídrica que invade una parte del planeta. Para Caldés (2024), la preocupación en la deficiente gestión hídrica pública-privada y de los efectos de la variabilidad y el cambio climático, fundamentó la discusión desde entonces. Gain et al. (2016), se refieren a la seguridad hídrica como “the conditions in which a sufficient quantity of water resources is available and accessible of adequate quality” [las condiciones en las que se dispone de una cantidad suficiente de recursos hídricos y accesible de calidad adecuada] (p. 3)

Cuando se analiza la seguridad hídrica, el abordaje debe concebirse desde la amplitud de los elementos que incorpora. Es decir, su concepto posee matices según la disciplina de estudio, y esa conceptualización se alinea en función de la disponibilidad del agua, el acceso al servicio, la calidad y la gestión (esto último es de especial consideración para este trabajo de investigativo). Es conveniente recordar a Global Water Partnership (2015), al señalar la importancia de la seguridad hídrica para abordar las soluciones a la gestión del recurso agua de acuerdo con las condiciones locales, ayudando a detectar anticipadamente las áreas de atención prioritaria y de mayor susceptibilidad en los conflictos socioambientales.

### **2.2 Desafíos en materia de seguridad hídrica**

En un estudio liderado por el Banco Interamericano de Desarrollo, que trata sobre la estrategia de la seguridad hídrica para América Latina y el Caribe, se señala que los desafíos principales en esta materia, en los países de la región, incluyen los aspectos siguientes:

*...la compleja interacción entre todos los sectores que usan el recurso, la alta vulnerabilidad de la región a los desastres naturales<sup>1</sup> (sic) de origen hídrico, el deficiente acceso al agua y a los servicios de saneamiento, la debilidad institucional y la deficiente infraestructura hídrica. (Bretas et al., 2020, p. 6)*

Para el caso de Costa Rica, este estudio también señala una serie de desafíos relacionados con su seguridad hídrica, vinculados con la disponibilidad del recurso (según rangos de escenarios de cambio climático) y de la calidad de agua. Bretas et al. (2020) indican que el país no da muestras de escasez hídrica, y que existe un grado de conocimiento catalogado como intermedio en términos de la caracterización de los acuíferos. También señalan que la amenaza de las sequías es baja, aunque la contaminación de los cuerpos de agua, por actividades domiciliarias, industriales y agrícolas, sigue presente e intensa.

Por su parte, Reyes (2016), en el marco de trabajo del Global Water Partnership (Asociación Mundial para el Agua) analizó la situación del recurso hídrico de Costa Rica, a partir de una caracterización y evaluación de elementos como la oferta y demanda hídrica, los usos del recurso y la calidad de los cuerpos de agua. Incluyó, a su vez, un análisis del marco institucional y legal, con el fin de proponer estrategias de solución a los retos y prioridades del país. En resumen, señaló:

*El país cuenta con balances hídricos para algunas cuencas en específico, sin embargo, se carece de un balance hídrico en el ámbito nacional.*

*Se requiere de un mayor acceso a la información de las redes meteorológica e hidrometeorológica para cubrir, con información en tiempo real, las principales cuencas del país.*

*Costa Rica cuenta con un marco legal desactualizado; se requiere renovar la Ley de Aguas para clarificar la rectoría del recurso hídrico y el impulso de instrumentos que permitan el financiamiento de la gestión de los recursos hídricos del país.*

*En términos de adaptación al cambio climático, se requiere la generación de información actualizada que permita la toma de decisiones (medidas adaptativas)*

---

<sup>1</sup> Los desastres nunca son naturales. Las que sí pueden ser “naturales” son las amenazas (Mora, 2019).

*y, además, asociarla (como debe ser) a la Política Nacional para la Gestión del Riesgo, pues en la actualidad se trabaja de manera separada y hay competencia por los recursos financieros, humanos e institucionales disponibles.*

*El país ha innovado en el desarrollo de instrumentos económicos que garanticen el financiamiento de la conservación de los recursos hídricos, por ejemplo, con el canon de aguas, el canon por vertidos, el pago por servicios hidrológicos y la tarifa hídrica, pero se carece de recursos para realizar un seguimiento y evaluación del nivel de avance y de los logros alcanzados. (Reyes, 2016, pp. 35-36).*

Por otro lado, dimensiones críticas como el cambio climático y las condiciones ambientales, se han sumado a las métricas que abarcan la disponibilidad, vulnerabilidad y sostenibilidad del agua y de la infraestructura respectiva, así como algunas aproximaciones de orden político y socioeconómico. Nkiaka (2022) abordó tales consideraciones, lo cual permitió revelar la heterogeneidad espacial y los patrones de seguridad hídrica entre diferentes países de África y el Pacífico Asiático.

### **2.3 Métrica para la seguridad hídrica: dimensiones, indicadores e índice**

En términos de mediciones de la seguridad hídrica, Hoekstra et al. (2018) señalan que *“the indicators and indices can be powerful communication tools to facilitate discussions between different stakeholders”* (p. 11) [los indicadores e índices pueden ser una poderosa herramienta de comunicación para facilitar las discusiones entre las diferentes partes interesadas]. Pero esa medición tiende a ser compleja.

Estos mismos autores apuntan hacia la disponibilidad de los datos, el uso de suposiciones o de datos indirectos, así como la consulta a la opinión de expertos, como elementos que vuelven complejo el tener o generar métricas de seguridad hídrica. No obstante, se han identificado dimensiones (categorías) de métricas para evaluar el progreso en seguridad hídrica a escala nacional y global.

Mason y Calow (2012) propusieron como principales dimensiones *“titled resource stress, variability and risk, basic human needs and productivity, environmental needs, and governance”* [estrés, variabilidad y peligro de los recursos, necesidades humanas básicas y productividad, necesidades medioambientales y gobernanza] (p. 38). A su vez, Van Beek y Lincklaen (2014) catalogan a las dimensiones como el elemento clave que engloba el propósito de seguridad hídrica, mientras que los indicadores serían las variables cuantitativas o cualitativas que evalúan de manera confiable el logro o el cambio de la dimensión. Metodológicamente, en su estudio proponen lo siguiente, para calcular la seguridad hídrica:

*A first step is to determine the relevant dimensions of water security...A second step is to select indicators that reflect the main characteristics of the key dimensions...A third step involves measuring indicators, and scoring and combining indices for each of the dimensions of water security. Combining indices for all dimensions can provide an overall water security index.* [Un primer paso es determinar las dimensiones relevantes de la seguridad hídrica... Un segundo paso es seleccionar indicadores que reflejen las principales características de las dimensiones clave... Un tercer paso consiste en medir los indicadores, y puntuar y combinar índices para cada una de las dimensiones de la seguridad hídrica. La combinación de índices para todas las dimensiones puede proporcionar un índice general de seguridad hídrica]. (p. 9)

Una manera de medir la seguridad hídrica es por medio de la utilización de índices, que permitan hacer comparaciones entre regiones distintas, y donde se involucre la identificación de indicadores (verificados por expertos y partes interesadas) para el suministro de agua público a escala local. *“Results showed that, for the area of study, 34 indicators are capable of adequately composing a water security index”* [Los resultados mostraron que, para el área de estudio, 34 indicadores son capaces de componer adecuadamente un índice de seguridad hídrica] (Pozzebon et al., 2022, p. 947).

## **2.4 Experiencias en la medición de la seguridad hídrica**

De la Rosa et al. (2021) efectuaron una investigación aplicada, puntualmente el cálculo del índice de seguridad hídrica, y enfocaron su trabajo a escala de cuenca hidrológica. Para ello, recurrieron al uso de los sistemas de información geográfica, para georreferenciar dimensiones e indicadores relevantes en México, específicamente en el estado de Veracruz.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2017) consideró indicadores para la creación de una metodología probabilística de la seguridad hídrica en el ámbito estatal, apoyada en el uso de sistemas de información geográfica. Según su estudio, un obstáculo importante por salvar fue la temporalidad de los datos, su seguimiento y procesamiento, así como el nivel de escala de estos (estatal o municipal) y el manejo discrecional de la información.

## **2.5 Abordajes de investigación sobre seguridad hídrica**

Fuster et al. (2017) examinaron enfoques conceptuales sobre la seguridad hídrica y sus factores condicionantes y desafíos. Además, investigaron sobre posibles indicadores asociados a dichas circunstancias, y se incorporaron líneas de acción, para establecer la política de la seguridad hídrica.

Todo lo anterior se hizo a través de la consulta a profesionales en la gestión del recurso hídrico, y contrastado con el conocimiento de iniciativas nacionales e internacionales. Cabe mencionar que, para alcanzar los objetivos de esta investigación, se tomó como base la secuencia de pasos adaptados de la metodología de los referidos autores.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1 Enfoque y tipo de investigación**

El enfoque de investigación planteado fue cualitativo, lo que permitió establecer planteamientos con cierta apertura de criterio conforme avanzó la tarea permanente de recolección y análisis de datos. Los tipos de investigación que se utilizaron fueron:

- Teoría fundamentada: se abordaron conceptos vinculados a la gestión del recurso hídrico y la seguridad hídrica, así como los factores condicionantes en la gestión del agua y el logro de esa seguridad, que puedan ser de interés y aplicación al servicio de prestación de agua potable.
- Investigación-acción participativa: se consultó a funcionarios de la institución y a expertos, por lo que existió una descripción del problema estudiado a partir de la experiencia profesional. El trabajo definió una visión consensuada acerca de la seguridad hídrica y un marco de acción para su implantación en etapas futuras.

De este modo, se contextualizó el caso de estudio con riqueza interpretativa a partir de procesos inductivos y recurrentes, tal y como es sugerido por Hernández et al. (2014). Con este enfoque de investigación, “la acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación” (Hernández et al., 2014, p. 7).

### **3.2 Marco espacial y temporal**

El contexto de desarrollo del trabajo de investigación no se circunscribió a un territorio en particular. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados tiene cobertura nacional, por lo que, a raíz de los resultados, se recomendó el espacio territorial pertinente para la aplicación potencial de un índice de seguridad hídrica. Con respecto al marco temporal, la investigación se realizó desde el mes de enero del año 2024 hasta el mes de mayo del 2024.

### 3.3 Mención sobre la utilización del Método Delphi

El método Delphi se utilizó para indagar el criterio de un panel de once expertos, respecto a lo planteado en los tres objetivos específicos, y obtener consenso. También se aplicó criterio experto del autor, para complementar el panel de personas entrevistadas. Este panel fue escogido a conveniencia del proceso indagatorio, según recomendación de la Dirección de Investigación del AyA, pero utilizando ciertos criterios, como lo son la experiencia mayor a un año para los consultados dentro de la institución, así como el grado de involucramiento en la gestión y manejo del recurso hídrico desde distintas ramas profesionales, de manera tal que el peso de lo investigado no recayera sobre una profesión u otra.

López (2018) señala que este método se utiliza para obtener consenso entre diversas opiniones de un grupo de expertos, quienes se someten a una serie de cuestionarios en profundidad, intercalados con retroalimentación controlada de sus opiniones (p. 19). Como lo sugieren Reguant y Torrado (2016), es una estrategia relativamente flexible que permite actuar con autonomía, superando los sesgos y limitaciones de un solo individuo al tener un juicio intersubjetivo, con devoluciones o *feedbacks* controlados.

La consulta incluyó a directores de la Unidad Ejecutora Portafolio de Inversiones AyA-BCIE, Dirección de Operación y Control del AyA, así como profesionales en gestión social y ambiental de la institución. Para enriquecer el proceso, se consideró pertinente incluir a expertos externos vinculados con el quehacer en la gestión del recurso hídrico.

Al ser así, participó la academia (profesor del Tecnológico de Costa Rica), la Dirección de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y un experto en gestión del riesgo (GdR) ante las amenazas naturales hidrometeorológicas y climáticas. Se utilizó como instrumento de consulta un cuestionario en dos rondas (anexos 1 y 2).

Esos cuestionarios fueron validados con una “prueba cognitiva de instrumento” (Salas, C, 1 de febrero de 2024, comunicación personal). El objetivo de la prueba fue verificar si los sujetos consultados comprendían las preguntas que se les hicieron (Valverde et al.,

2015). La validación fue realizada por expertos en investigación aplicada del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

La aplicación de cada instrumento se efectuó mediante entrevista virtual, utilizando la plataforma Teams y el envío por correo electrónico para el caso de expertos que no pudieron atender la consulta, sobre todo para la segunda ronda. Las dos rondas de aplicación de los instrumentos (cuestionarios) fueron entre los meses de febrero y abril del 2024.

Como proceso iterativo, el método Delphi garantizó el anonimato de los participantes, evitando así la influencia sesgada de algún experto sobre los demás. Solo el investigador que aplicó el cuestionario y analizó la información recabada, conoció a cuál experto perteneció la opinión recogida, tal y como lo sugiere Soliño (2003). Con respecto a la condición de consenso, esta se obtuvo cuando el índice intercuantil relativo (IRR) fue menor a 0.70, tal y como lo plantea Soliño (2003).

Cabe señalar que, para el objetivo específico 3, la consulta al panel de expertos se efectuó mediante pregunta abierta. Se decidió su exclusión del método Delphi, para permitirle al panel exponer sus criterios en torno a lo consultado de una manera más amplia.

### **3.4 Sistematización de los objetivos**

#### **3.4.1 Objetivo específico 1**

**Analizar el concepto, los desafíos actuales y las oportunidades de innovación en materia de seguridad hídrica en relación con las actividades del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.**

## **Recopilación y revisión de información técnico-científica**

Se revisó literatura relacionada con la temática de la seguridad hídrica, enfatizando en sus conceptos, desafíos y oportunidades de innovación, como atributos de investigación de este objetivo específico. Las fuentes de información incluyeron investigaciones de organismos internacionales y expertos en gestión del recurso hídrico, así como la academia.

Además, se consultaron instrumentos de planificación del AyA, para extraer elementos que pudieran tener incidencia sobre dichos atributos. Como producto de la revisión y el intercambio de criterio con la Dirección de Investigación del AyA, se precisó cuáles posibles elementos para la definición conceptual de seguridad hídrica, desafíos y oportunidades de innovación se debía consultar al panel de expertos.

### **Consulta a panel de expertos**

Como producto de la revisión y el intercambio de criterio con la Dirección de Investigación del AyA, se precisó cuáles posibles elementos para la definición conceptual de seguridad hídrica, desafíos y oportunidades de innovación se debían consultar al panel de expertos. Las opciones de respuesta para el panel de expertos fueron: indispensable, deseable y no necesario (ver cuestionarios en anexos 1 y 2).

En lo que respecta a elementos para una definición de seguridad hídrica, en la primera ronda se consultó al panel de expertos una cantidad de cinco enunciados. Como resultado de la posibilidad de los expertos para sumar otras propuestas de enunciados, para la segunda ronda se agregaron dos enunciados más.

En relación con la consulta sobre desafíos para la seguridad hídrica, en la primera ronda se consultó al panel una cantidad de doce enunciados, mientras que para la segunda ronda se agregó un enunciado más, como resultado de la posibilidad de los expertos para sumar otras propuestas de enunciados. Para la consulta sobre oportunidades de innovación en seguridad hídrica, se consultaron cinco enunciados para ambas rondas.

### **3.4.2 Objetivo específico 2**

**Determinar las dimensiones e indicadores que deben considerarse en un posible cálculo de un índice de seguridad hídrica, teniendo en cuenta requerimientos operativos de la institución bajo un enfoque de continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.**

#### **Recopilación y revisión de información técnico-científica**

De la literatura utilizada para el objetivo anterior, también se extrajeron posibles dimensiones e indicadores (siendo los atributos de estudio para este objetivo) más afines al ámbito de prestación del servicio de agua potable, y que pudieran tener incidencia en futuros ejercicios de cuantificación de la seguridad hídrica.

#### **Consulta a panel de expertos**

Como producto de la revisión y el intercambio de criterio con la Dirección de Investigación del AyA, se precisó cuáles posibles elementos para la definición de dimensiones e indicadores se debía consultar al panel de expertos. Las opciones de respuesta para el panel de expertos fueron: indispensable, deseable y no necesario (ver cuestionarios en anexos 1 y 2).

Se consultaron, por medio del cuestionario, al panel de expertos, las dimensiones y los indicadores que podrían representar atributos medibles para ejercicios futuros de métricas de seguridad hídrica, en términos de prestación del servicio de agua potable. Al tomar en consideración la consulta a las fuentes consultadas y, según el propio criterio y experiencia de la Dirección de Investigación del AyA, se propusieron las dimensiones e indicadores para la consulta a expertos, que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.***Dimensiones e indicadores para consulta a expertos*

<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>
Disponibilidad de agua dulce	Capacidad máxima cuantificada de la fuente o reservorio.
	Balance entre oferta y demanda.
	Agua disponible per cápita.
	Monitoreo hidrometeorológico en el territorio.
	Cantidad de reservorios de respaldo con caudales importantes.
Calidad de agua	Cantidad de sistemas, cuyas redes, tanques y demás infraestructura incumplen parámetros de contaminación fisicoquímica.
	Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura incumplen parámetros de contaminación por microorganismos.
Eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final	Volumen de pérdidas reales.
	Volumen de pérdidas aparentes.
	Volumen de pérdidas operacionales.
	Eficiencia en los sistemas electromecánicos.
Gestión del riesgo	Proyecciones de escenarios climáticos.
	Grado de exposición del sistema a las amenazas naturales.
	Cantidad de fuentes vulnerables ante las amenazas antrópicas sin medidas de gestión (contaminación, vandalismo).
	Plan de seguridad del agua implantado y con revisión periódica.
	Instrumentos para la reducción estructural y no-estructural del riesgo.

Dimensión	Indicador
	Instrumentos para la protección financiera y financiamiento del riesgo.
	Procedimientos y protocolos para la observación, vigilancia, alerta, alarma, respuesta y continuidad operativa ante las amenazas naturales y antropogénicas.
Gestión social	Cantidad de usuarios sensibilizados en la protección, uso y buen manejo del recurso hídrico (cultura del agua).
	Cantidad de la población desabastecida de agua.
	Cantidad de la población con enfermedades reportadas, por falta o deficiencia de agua de buena calidad.
	Comunicación efectiva de la información a la población, acerca del quehacer institucional.
	Cantidad real de usuarios que reciben el servicio.
Administrativa-financiera	Número de servicios versus estado de pago del usuario (estado de la morosidad del usuario en el pago).
	Cuantificación del impacto financiero ante el riesgo materializado.
	Financiamiento disponible para mejoras en los sistemas.
	Gastos de operación cubiertos por ingresos (tarifa).
	Financiamiento disponible para compra de tierras destinadas para protección de fuentes o áreas de recarga.
Cantidad de acueductos implementando tarifa de protección hídrica.	

*Nota.* Elaboración propia (2024).

### **3.4.3 Objetivo específico 3**

#### **Identificar oportunidades de acción para el planteamiento futuro de ejercicios de medición de la seguridad hídrica**

##### **Recopilación y revisión de la información disponible**

Se efectuó una revisión de literatura, acerca de oportunidades de acción y espacios territoriales (atributos de estudio para este objetivo) para el planteamiento futuro de un ejercicio piloto de cálculo del índice de seguridad hídrica.

##### **Consulta a panel de expertos**

Como elementos para generar oportunidades de acción para el planteamiento futuro de ejercicios de medición de la seguridad hídrica, en el contexto de prestación del servicio de agua potable, se le consultó al panel, por medio de pregunta abierta, el plantear algunas líneas de trabajo. También se le pidió su criterio en torno a la escala territorial a la cual deberían hacerse ejercicios de medición de la seguridad hídrica. Con respecto a los requerimientos, se consultó en el orden:

- Técnico (por ejemplo, investigación sobre datos disponibles para proponer y generar indicadores para métricas de seguridad hídrica).
- Financiero (por ejemplo, para financiar la creación de bases de datos, estudios y análisis).
- Recurso humano (por ejemplo, capacitar profesionales y técnicos en temas de seguridad hídrica).
- Logística y servicios de apoyo (por ejemplo, crear o utilizar software existente para generar, almacenar, y cuantificar datos para ejercicios de medición de la seguridad hídrica).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Elementos para la definición conceptual de seguridad hídrica

Según los resultados de la aplicación del método Delphi, el panel experto consultado llegó al consenso de que, para una adecuada definición conceptual de seguridad hídrica en el marco de prestación del servicio de agua potable, deben incluirse, de forma indispensable, los siete elementos propuestos en el cuestionario. En la tabla 2 se muestra cuáles son estos elementos.

**Tabla 2.**

*Conjunto de elementos requeridos para definir un concepto de seguridad hídrica*

Elementos para una definición de seguridad hídrica	Ronda I			Ronda II		
	Mediana*	IRR**	% opinión	Mediana*	IRR**	% opinión
Disponibilidad de agua en cantidad y calidad para el consumo humano y demás actividades socioeconómicas.	2	0.00	100	2	0.00	100
Capacidad a nivel técnico, financiero y administrativo para brindar el servicio.	2	0.50	73	2	0.00	91
Acciones de manejo y protección del recurso agua para la conservación de ecosistemas.	2	0.00	82	2	0.00	82
Resiliencia (adaptación) ante posibles efectos adversos por amenazas naturales.	2	0.50	64	2	0.50	55
Prevención de efectos adversos por amenazas antrópicas.	2	0.50	64	2	0.50	55
Gobernanza: altas gerencias involucradas e interesadas (AyA, ASADAS, gobierno local, otros operadores).				2	0.50	73

Elementos para una definición de seguridad hídrica	Ronda I			Ronda II		
	Mediana*	IRR**	% opinión	Mediana*	IRR**	% opinión
Capacidad para la planificación de mediano y largo plazo, que ayude a garantizar el equilibrio entre la demanda y la oferta del recurso hídrico.				2	0.50	73

\* La mediana está delimitada para cada elemento entre 0 y 2 (0=no necesario, 1=deseable y 2=indispensable)

\*\* IRR=0,00 representa un consenso del 100% mientras que un IRR  $0 \leq 0,70$  indica que los expertos abarcaron las opciones indispensables y deseables en su respuesta.

*Nota.* Elaboración propia (2024).

Nótese que existió consenso entre el panel de expertos, al indicar que todos los enunciados son considerados indispensables, tanto en la primera como en la segunda ronda de consulta. Los enunciados que obtuvieron un valor de IRR de 0.00, hacen alusión a que, según la frecuencia relativa de respuestas, el consenso fue de un 100% (para este caso, la opción “indispensable”), mientras que los valores de IRR distintos a 0.00 (0.50 en este caso), reflejan que las respuestas de los expertos abarcaron las opciones de “indispensable” y “deseable”.

Para el panel de expertos, la disponibilidad de agua en cantidad y calidad para el consumo humano y demás actividades socioeconómicas, se presenta como el principal elemento para una definición de seguridad hídrica. Esto es de relevancia en el marco de prestación del servicio de agua potable, coincidiendo con lo señalado por una empresa con similitud en sus funciones, como lo es la Agencia Nacional de Aguas de Brasil (s.f.), al señalar que en términos de la seguridad hídrica se deben satisfacer las necesidades humanas de consumo y desarrollo socioeconómico.

La capacidad a nivel técnico, financiero y administrativo, para brindar el servicio de agua potable, fue otro elemento preponderante según el panel de expertos. Sobre ello se refiere la Agencia Nacional de Aguas de Brasil (2019), en su Plan nacional de seguridad

hídrica, al mencionar elementos técnicos y administrativos de relevancia, como lo son el planeamiento, control, operación, monitoreo y mantenimiento de los sistemas hídricos.

Las acciones de manejo y protección del recurso agua para la conservación de ecosistemas, así como la adaptación ante posibles efectos adversos por amenazas naturales y antropogénicas, fueron de valor para el panel. Es de relevancia que la seguridad hídrica considere el enfoque preventivo de gestión del riesgo (GdR) para favorecer la resiliencia ante dichos efectos.

Eso coincide con el criterio de Assefa et al. (2019) quienes señalan que la seguridad hídrica debe garantizar la protección frente a los desastres relacionados con el agua. También coincide con lo considerado por la Agencia Nacional de Aguas de Brasil (s.f.), en el sentido de que esa seguridad debe ir acompañada de un nivel de riesgo que permita manejar amenazas naturales, como las sequías y las inundaciones.

El tema de gobernanza, donde las altas gerencias institucionales (lo político) estén involucradas e interesadas en materia de seguridad hídrica, fue de relevancia para el panel, tanto así que surgió como parte de la discusión de la primera ronda para su inclusión en la segunda. Perochena (2021) también lo aborda, cuando señala que el marco político para el fortalecimiento y toma de decisiones en materia hídrica es importante considerarlo.

La capacidad para la planificación de mediano y largo plazo, que ayude a garantizar el equilibrio entre la demanda y la oferta del recurso hídrico, no fue propuesta en la primera ronda, sino que surgió como parte del interés del panel de expertos. El conocimiento de ese equilibrio es de valor para el adecuado planeamiento y manejo del recurso hídrico, y de ahí su propuesta como elemento que defina una seguridad hídrica en el contexto de prestación del servicio de agua potable.

En términos generales, ambos elementos, capacidad y disponibilidad, fueron preponderantes en las consideraciones del panel de expertos bajo un contexto de prestación del servicio de agua para consumo humano. La capacidad contempla lo

operativo, que permite que el recurso sea captado, almacenado y distribuido, y la disponibilidad hace referencia al agua disponible en un espacio y tiempo determinados.

## 4.2 Desafíos para la seguridad hídrica

El grupo experto consultado llegó al consenso de que la seguridad hídrica enfrenta doce desafíos, de un total de trece consultados. Esto se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.**

*Desafíos para la seguridad hídrica*

Desafíos para la SH	Ronda I			Ronda II		
	Mediana*	IRR**	%opinión	Mediana*	IRR**	%opinión
Evitar la degradación y contaminación de las fuentes de agua.	2	0.00	100	2	0.00	100
Adaptarse a eventos hidrometeorológicos intensos.	1	1.00	45	1	1.00	27
Manejar integralmente las cuencas.	2	0.50	55	2	0.00	82
Brindar mantenimiento preventivo a la infraestructura de abastecimiento.	2	0.50	73	2	0.00	82
Procurar la optimización de los sistemas.	2	0.50	64	2	0.00	91
Búsqueda de financiamiento para proyectar la habilitación de nuevos sistemas de abastecimiento.	2	0.50	55	2	0.50	55
Prospección para localizar nuevas fuentes de agua de calidad para generar nuevos proyectos.	2	0.50	55	2	0.50	64

Desafíos para la SH	Ronda I			Ronda II		
	Mediana*	IRR**	%opinión	Mediana*	IRR**	%opinión
Evitar conflictos sociales por el acceso al recurso hídrico.	1	1.00	45	1	0.00	18
Aumentar la cobertura territorial del servicio.	1	1.00	27	1	0.00	9
Inversión en capital humano.	2	0.50	73	2	0.00	91
Considerar los instrumentos de ordenamiento territorial en el ámbito cantonal, para proyectar nuevos servicios.	2	0.50	73	2	0.00	82
Prospección para localizar nuevas fuentes de agua de calidad para generar redundancia.	2	0.50	55	2	0.50	64
Visión del agua como seguridad de Estado.				2	0.50	73

\* La mediana está delimitada para cada elemento entre 0 y 2 (0=no es desafío, 1=podría ser un desafío y 2=es un desafío).

\*\* IRR=0,00 representa un consenso del 100% mientras que un IRR  $0 \leq 0,70$  indica que los expertos abarcaron las opciones podría ser un desafío y es un desafío en su respuesta.

**Nota.** Elaboración propia (2024).

A pesar de que en la primera ronda el panel no tuvo consenso en tres desafíos (*Adaptarse a eventos hidrometeorológicos intensos, Evitar conflictos sociales por el acceso al recurso hídrico, Aumentar la cobertura territorial del servicio*), en la segunda ronda únicamente no se mantuvo el consenso en el desafío determinado como *Adaptarse a eventos hidrometeorológicos intensos*. Para el resto de los enunciados, hubo consenso.

Evitar la degradación y contaminación de las fuentes de agua, se presentó como el principal desafío para el panel de expertos. Los recientes reportes de contaminación del recurso en varios sectores del país a nivel metropolitano y en las periferias, demuestran la problemática. La preocupación por la degradación de la calidad del agua en las fuentes

converge con lo señalado como desafío para la región latinoamericana y del Caribe (Peña, 2016).

Ello justifica aún más la preocupación, máxime cuando el servicio de agua puede verse interrumpido por lapsos de tiempo prolongados, generándose así el malestar social (nótese cómo no en vano un porcentaje del 91% de opinión se refiere a un elemento que va ligado a ello, como lo es *procurar la optimización de los sistemas*). El riesgo siempre está latente, y Perochena (2021) lo menciona al señalar que, en la conceptualización de la seguridad hídrica, existe nivel de riesgos para la población, el ambiente y la economía, por eventos relacionados con un exceso o ausencia de agua por las causas que sean.

Sin desligarse de ello, un alto porcentaje del panel ve como un desafío el brindar mantenimiento preventivo a la infraestructura de abastecimiento y procurar la optimización de los sistemas, que se traduciría en un mejoramiento en el servicio a la población. La Agencia Nacional de Aguas de Brasil (2019) ya lo señala, cuando estima que la operación y el mantenimiento, aunque parezca obvio, es fundamental. Para ello no solamente es importante contar con personal capacitado en la parte operativa, sino también en el entendimiento conceptual de la seguridad hídrica y la búsqueda de soluciones a los desafíos que ella engloba, en el ámbito de la prestación del servicio de agua potable (es decir, transitar de la interiorización del concepto a la práctica que favorezca acercarse a esa seguridad). Ese tipo de desafío fue relevante en un 91% de opinión, bajo el enunciado de inversión en capital humano.

Lo anterior puede guardar relación con el hecho de que el panel consideró como un desafío para la seguridad hídrica, el considerar al agua como un elemento de seguridad de Estado, según un alto porcentaje de los expertos (73%). Assefa et al. (2019) también lo incorporan, al señalar a la disponibilidad de este valioso recurso como medular en un clima de paz y estabilidad política de los países.

Por su parte, un 82% del panel reconoció al manejo integral de las cuencas como un desafío para la seguridad hídrica, en el tanto se reconoció como una unidad territorial crítica en la gestión del recurso hídrico por cuestiones de orden ambiental y social. Acá

toma relevancia también el componente hidrológico de una cuenca, como lo recalca Hernández (2019), en tanto que tiene relación con la distribución espacial, la incertidumbre interanual y la disponibilidad natural del agua.

La consideración de los instrumentos de ordenamiento territorial en el ámbito cantonal (como los planes reguladores) para proyectar nuevos servicios, fue un desafío significativo para el panel de expertos. El considerar los estudios de ese tipo de planes, sobre la proyección del crecimiento demográfico y la demanda de suelo para el desarrollo urbano, es fundamental, tal y como lo abarcan ATUK (2022) y Hernández (2019), debido a la creciente urbanización, el aumento de la población y los cambios de usos del suelo.

La prospección para localizar nuevas fuentes de agua de calidad para generar nuevos proyectos y para generar redundancia, fueron también de interés del panel, aunque en un porcentaje más bajo que los anteriores desafíos, presumiblemente por la importante inversión en recursos que debe hacerse para las exploraciones del subsuelo. Sin embargo, en los informes de inversiones del 2010-2030 del AyA, se menciona como un desafío en su gestión el rezago de inversiones en nuevas obras de abastecimiento.

Un elemento importante por señalar es que, para el panel de expertos, el adaptarse a eventos hidrometeorológicos intensos no obtuvo consenso. Mientras para autores como Álvarez et al. (2023) se ve como un desafío de primera consideración, el panel no lo señaló categóricamente como un desafío.

La visión de los expertos al respecto probablemente es cautelosa, debido a las incertidumbres en las estimaciones de ocurrencia de eventos intensos en distintos escenarios climáticos, y su vinculación con las posibilidades de inversión en instrumentos para la reducción del riesgo ante ese tipo de eventos. En todo caso, según los expertos, en el diseño de obras se estudian y consideran las posibles amenazas, siendo un tema que no se deja de lado.

### 4.3 Oportunidades de innovación para la seguridad hídrica

El grupo experto consultado llegó al consenso en cuatro oportunidades de innovación para la seguridad hídrica, de un total de cinco consultados. Esto se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.**

*Oportunidades para la seguridad hídrica*

Oportunidades de innovación para la Seguridad Hídrica	Ronda I			Ronda II		
	Mediana*	IRR	%opinión	Mediana*	IRR	%opinión
Desarrollo de ciencia y tecnología (inversión en investigación y conocimiento) para una gestión más eficiente y eficaz del recurso hídrico.	2	0.50	64	2	0.50	73
Actualización del marco legal en materia del recurso hídrico que incorpore un enfoque de seguridad hídrica.	2	0.00	100	2	0.00	100
Planificación multisectorial para coordinar acciones en adaptación y mitigación ante la variabilidad y el cambio climático.	1	1.00	45	1	1.00	36
Trabajar bajo un enfoque de gestión del ciclo del agua que combine la infraestructura hídrica tradicional con el capital natural.	1	0.00	18	1	0.00	18
Crear programas de reservas de agua y de gestión de cuencas.	2	0.50	64	2	0.00	82

\* La mediana está delimitada para cada elemento entre 0 y 2 (0=no es oportunidad, 1=podría ser una oportunidad y 2=es una oportunidad).

\*\* IRR=0,00 representa un consenso del 100% mientras que un IRR  $0 \leq 0,70$  indica que los expertos abarcaron las opciones podría ser una oportunidad y es una oportunidad.

*Nota.* Elaboración propia (2024).

Nótese cómo tanto para la primera como para la segunda ronda, no existió consenso para el enunciado de *“Planificación multisectorial para coordinar acciones en adaptación y mitigación ante la variabilidad y el cambio climático”* Al respecto, los expertos señalaron que el abordaje de esas acciones variará según la agenda de trabajo, las prioridades y los intereses de cada sector, lo que podría dificultar la coordinación. Sin embargo, no descartaron la cooperación técnica, sobre todo en intercambio y análisis de datos de común interés.

El panel de expertos consideró, en un 100% de opinión, como oportunidad de innovación, la actualización del marco normativo costarricense referido al recurso hídrico. Por ejemplo, varios expertos mencionaron que se han realizado esfuerzos por reformar y actualizar la Ley de Aguas, que data de los años cuarenta del siglo pasado, dictada en un contexto socioeconómico y ambiental muy diferente al actual y, por ello, no brinda el marco actualizado, sistemático y coherente para regular de forma global la protección, extracción, uso, gestión eficiente de los recursos hídricos (MINAET, SENARA y AyA, s.f.).

Hoy día, sigue sin existir aún una actualización de esta, y la inclusión del enfoque de seguridad hídrica en ella fue considerada de interés. Esta necesidad de esfuerzos en mantener actualizada la legislación hídrica es de relevancia para la región, tal y como lo señalan Bretas et al. (2020) en su publicación Agua para el futuro: estrategia de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe.

Por otro lado, no es despreciable el porcentaje de opinión de expertos (un 73%) que consideró las oportunidades que puede brindar el desarrollo de la ciencia y tecnología. Puntualmente, como lo menciona el enunciado consultado, en la inversión en investigación y conocimiento para una gestión más eficiente y eficaz del recurso hídrico.

Esto guarda relación con distintos esfuerzos institucionales que se realizan en la actualidad. Por ejemplo, se puede mencionar el Proyecto de reducción de agua no contabilizada y optimización de la eficiencia energética (RANC-EE), el cual introduce soluciones tecnológicas de última generación para tareas básicas de gestión, como lo son la detección y reparación de fugas, la macromedición, la micromedición, el catastro de usuarios o la sustitución de tuberías.

Un alto porcentaje (82%) del panel señaló que la creación de programas<sup>2</sup> de reservas de agua y de gestión de cuencas, es una oportunidad de innovación en materia de seguridad hídrica. Ello puede tener sustento en lo señalado por el Plan Estratégico Institucional (PEI) 2022-2026 del AyA, al señalar la necesidad de solucionar problemas en sistemas de abastecimiento y de almacenamiento, lo cual conlleva, a su vez, problemas de limitaciones de cobertura y de déficit de capacidad hídrica e hidráulica.

A pesar de que el panel mencionó que el enunciado sobre “*Trabajar bajo un enfoque de gestión del ciclo del agua que combine la infraestructura hídrica tradicional con el capital natural*”, podría ser una oportunidad, es posible que en otras latitudes se aborde ese enfoque, según lo mencionado por Bretas et al. (2020). Al respecto, la entidad señala que dicho enfoque permite dar mayor espacio a combinaciones de infraestructura gris (es decir, infraestructura construida) y verde (capital natural) para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia y confiabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua para diversos usos.

#### **4.4 Dimensiones para el cálculo de un posible índice de seguridad hídrica**

Tanto en la primera como en la segunda ronda, se consultó al panel una cantidad de seis dimensiones. De la tabla 5, se puede apreciar cómo de las seis dimensiones propuestas, el panel consideró como indispensables todas las dimensiones para ser utilizadas en la generación de un índice de seguridad hídrica. Nótese como el porcentaje de personas

---

<sup>2</sup> Para el BID (2020), en su estudio sobre Estrategia de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe, dichos programas se enmarcan en lo que se conoce hoy día como soluciones basadas en la naturaleza.

que dan su respuesta como indispensable (% de opinión), aumenta o se mantiene para la segunda ronda, a excepción de la dimensión administrativa-financiera.

**Tabla 5.**

*Dimensiones para un posible índice de seguridad hídrica*

Dimensiones	Ronda I			Ronda II		
	Mediana	IRR	% opinión	Mediana	IRR	% opinión
Disponibilidad de agua dulce.	2	0.50	73	2	0.00	100
Calidad de agua.	2	0.50	73	2	0.00	91
Eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final.	2	0.00	82	2	0.00	82
Gestión del Riesgo (amenazas naturales y antropogénicas; vulnerabilidad).	2	0.50	73	2	0.50	73
Gestión social.	2	0.50	64	2	0.00	82
Administrativa-financiera.	2	0.50	64	2	0.50	55

\* La mediana está delimitada para cada elemento entre 0 y 2 (0=no necesario, 1=deseable y 2=indispensable)

\*\* IRR=0,00 representa un consenso del 100% mientras que un IRR  $0 \leq 0,70$  indica que los expertos abarcaron las opciones indispensables y deseables en su respuesta.

*Nota.* Elaboración propia (2024).

Las dimensiones alusivas a la disponibilidad de agua dulce, seguida de la calidad del agua, ocuparon los mayores porcentajes de opinión considerada como indispensable. Esto no es en vano, dado que el panel externó que estas son medulares en un contexto de prestación del servicio de agua potable.

Ello guarda relación con lo propuesto por Simonin et al. (2023). En su estudio propusieron dimensiones referidas a la disponibilidad y cantidad (productividad) de agua (balance hídrico para la recarga de aguas subterráneas) y la calidad del agua (desde la fuente y en su tratamiento para el consumo).

El proponer una dimensión que abarque elementos de eficiencia en el proceso y/o manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final, fue de relevancia para los expertos. Es decir, todos los esfuerzos posibles para minimizar los volúmenes de pérdidas de agua en dichos sistemas son de gran importancia, no solamente por un tema de ahorro energético y demás recursos, sino porque eso se traduce en beneficio (económico y de uso del recurso) al consumidor.

El panel de expertos considera, como una dimensión indispensable, el abordar las amenazas naturales y antropogénicas y la vulnerabilidad de los sistemas de almacenamiento y abastecimiento, bajo la visión de la gestión del riesgo (GdR). Autores como Hernández (2019), Simonin et al. (2023), y la Agencia Nacional de Aguas de Brasil (s.f.), consideran la vulnerabilidad del recurso ante afectaciones por contaminación (amenaza antropogénica) y por condiciones de variabilidad climática.

Es importante recalcar un aspecto sobre la gestión del riesgo. De acuerdo con Bretas et al. (2020), dicha gestión es el aspecto menos desarrollado en la legislación regional, que en general continúa considerando a las amenazas como accidentes imprevisibles, que son enfrentadas como situaciones de crisis a través de declaraciones de emergencia y acciones *ex post*. Entonces, el consenso de los expertos, para que se visibilice el riesgo, es de relevancia, por el carácter preventivo de este.

Nótese cómo el considerar una dimensión que trate sobre la gestión social, tuvo un importante porcentaje de opinión considerado como indispensable (82%). Su carácter estratégico, de bien público y de derecho humano, fue de peso para considerar una dimensión de esa naturaleza, máxime al saber que los conflictos sociales que puedan surgir, por el tema del agua, son esencialmente delicados.

Una dimensión que aglutine lo administrativo y financiero, apenas se sustentó en un 55% de opinión indispensable para el panel de expertos. Esto podría contrastar con lo que plantea el Plan Estratégico Institucional (PEI) 2022-2026 del AyA, en el sentido de procurar el equilibrio y la sostenibilidad financiera en la prestación del servicio de agua potable. El contraste se puede entender en términos de que el cálculo de lo administrativo y lo financiero, junto con las demás dimensiones, podría ser de alta complejidad.

#### 4.5 Conjunto de indicadores indispensables según dimensiones para utilizar en posibles índices de seguridad hídrica

En relación con la consulta sobre indicadores para ser considerados en posibles cálculos del índice de seguridad hídrica, y que pudieran ser afines al ámbito de prestación del servicio de agua potable, en la primera ronda se consultó al panel de expertos una cantidad de 21 enunciados. Como resultado de la posibilidad de los expertos para sumar otras propuestas de indicadores, para la segunda ronda se agregaron ocho enunciados más (tabla 6).

**Tabla 6.**

*Opinión del panel sobre el conjunto de indicadores según dimensiones*

	Ronda I			Ronda II		
	Mediana**	IRR**	% opinión	Mediana*	IRR**	% opinión
<b>Disponibilidad de agua dulce</b>						
Capacidad máxima cuantificada de la fuente o reservorio.	2	0.00	82	2	0.00	100
Balance entre oferta y demanda.	2	0.00	91	2	0.00	100
Agua disponible per cápita.	1	1.00	45	2	0.50	64
Monitoreo hidrometeorológico en el territorio.	2	0.50	64	2	0.50	55

	Ronda I			Ronda II		
	Mediana**	IRR**	% opinión	Mediana*	IRR**	% opinión
Cantidad de reservorios de respaldo con caudales importantes.				1	0.00	9
<b>Calidad de agua</b>						
Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura que incumplen parámetros de contaminación fisicoquímica.	2	0.00	82	2	0.00	91
Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura que incumplen parámetros de contaminación por microorganismos.	2	0.50	73	2	0.00	91
<b>Eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final</b>						
Volumen de pérdidas reales.	2	0.00	91	2	0.00	91
Volumen de pérdidas aparentes.	2	0.50	64	2	0.00	82
Volumen de pérdidas operacionales.	2	0.50	64	2	0.00	82
Eficiencia en los sistemas electromecánicos.				1	1.00	45
<b>Gestión del riesgo</b>						
Proyecciones de escenarios climáticos.	2	0.50	55	1	1.00	45
Grado de exposición del sistema a las amenazas naturales.	2	0.50	73	2	0.00	82
Cantidad de fuentes vulnerables ante las amenazas antrópicas sin medidas de gestión (contaminación, vandalismo).	2	0.00	91	2	0.00	100

	Ronda I			Ronda II		
	Mediana**	IRR**	% opinión	Mediana*	IRR**	% opinión
Plan de seguridad del agua implantado y con revisión periódica.	1	1.00	45	2	0.50	64
Instrumentos para la reducción estructural y no-estructural del riesgo.				1	1.00	45
Instrumentos para la protección financiera y financiamiento del riesgo.				1	1.00	36
Procedimientos y protocolos para la observación, vigilancia, alerta, alarma, respuesta y continuidad operativa ante las amenazas naturales y antropogénicas.				2	0.50	55
<b>Gestión social</b>						
Cantidad de usuarios sensibilizados en la protección, uso y buen manejo del recurso hídrico (cultura del agua).	2	0.50	55	2	0.50	73
Cantidad de la población desabastecida de agua.	2	0.50	64	2	0.00	82
Cantidad de la población con enfermedades reportadas por falta o deficiencia de agua de buena calidad.	1	1.00	45	1	1.00	45
Comunicación efectiva de la información a la población acerca del quehacer institucional.	2	0.50	55	2	0.50	73
Cantidad real de usuarios que reciben el servicio.				2	0.50	55
<b>Administrativa-financiera</b>						

	Ronda I			Ronda II		
	Mediana**	IRR**	% opinión	Mediana*	IRR**	% opinión
Número de servicios versus estado de pago del usuario (estado de la morosidad del usuario en el pago).	2	0.50	73	2	0.50	73
Cuantificación del impacto financiero ante el riesgo materializado.	2	0.00	82	2	0.50	73
Financiamiento disponible para mejoras en los sistemas.	2	0.00	82	2	0.00	100
Gastos de operación cubiertos por ingresos (tarifa).	2	0.00	82	2	0.50	64
Financiamiento disponible para compra de tierras destinadas para protección de fuentes o áreas de recarga.				1	1.00	36
Cantidad de acueductos implementando tarifa de protección hídrica.				1	0.00	18

\* La mediana está delimitada para cada elemento entre 0 y 2 (0=no necesario, 1=deseable y 2=indispensable)

\*\* IRR=0,00 representa un consenso del 100% mientras que un IRR 0≤0,70 indica que los expertos abarcaron las opciones indispensables y deseables en su respuesta.

*Nota.* Elaboración propia (2024).

De los 29 indicadores propuestos, el panel consensuó que se deberían utilizar un total de 21 como indispensables. Dos se consideran como deseables, mientras que no es necesario utilizar los siguientes indicadores:

- *Eficiencia en los sistemas electromecánicos.*
- *Proyecciones de escenarios climáticos.*
- *Instrumentos para la reducción estructural y no-estructural del riesgo.*

- *Instrumentos para la protección financiera y financiamiento del riesgo.*
- *Cantidad de la población con enfermedades reportadas por falta o deficiencia de agua de buena calidad.*
- *Financiamiento disponible para compra de tierras destinadas para protección de fuentes o áreas de recarga.*

Para las dimensiones de disponibilidad de agua dulce, los indicadores referidos a capacidad máxima cuantificada de la fuente o reservorio (volumen máximo de capacidad de un acuífero, por ejemplo) y el balance entre la oferta y la demanda (es decir, lo que el sistema puede brindar y lo que demanda la población), fueron considerados por el panel como indispensables en un 100% de opinión. Ello guarda relación con otros abordajes, donde también se proponen indicadores que cuantifican la capacidad y disponibilidad del agua subterránea (Hernández, 2019) y el balance hídrico para la recarga de aguas subterráneas (Simonin et al., 2023).

Puede verse cómo el conocimiento sobre la disponibilidad y cantidad (productividad) de agua es primordial. Otros autores abordan la cuestión bajo el concepto de agua renovable disponible (Paniagua, 2023), referido a la cantidad de recursos con los que dispone un territorio, en términos de lo que llueve sobre el terreno y el agua que se almacena de manera subterránea.

Por otro lado, a pesar de que en la consulta sobre oportunidades de innovación de la sección 6.3, un 82% del panel señaló que la creación de programas de reservas de agua y de gestión de cuencas, era una oportunidad de innovación en materia de seguridad hídrica, al momento de calificar un posible indicador referido a la cantidad de reservorios de respaldo con caudales importantes, el panel se decantó por una condición deseable y no indispensable. Para Paniagua (2023), disponer de respaldo de agua, o volumen de reserva, es importante ante imprevistos o reparaciones.

En la dimensión de calidad de agua, ambos indicadores, que hacen alusión a la cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura que incumplen parámetros de contaminación fisicoquímica y microbiológica, fueron valorados como indispensables en

un alto porcentaje de opinión. La preocupación por la calidad del agua es creciente a nivel mundial; por ejemplo, en lo referido a los contaminantes emergentes, como los microplásticos (Paniagua, 2023), así como otros agentes derivados de los hidrocarburos, va en aumento.

Para la dimensión de eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final, los tres volúmenes de pérdidas fueron considerados como indispensables en un elevado porcentaje de opinión. Como lo señala Cubillo (2020), las pérdidas de agua en las redes de distribución constituyen uno de los principales retos para el sector del abastecimiento de agua, y son consideradas un parámetro fundamental de caracterización de la eficiencia de un conjunto de infraestructuras y de su gestión.

El envejecimiento de la infraestructura y la operación inadecuada, son por lo general las causas más frecuentes de pérdidas (Cubillo, 2020). Estas pérdidas (o agua no registrada), se deben a fugas en las redes de distribución (por roturas, fisuras, válvulas mal ajustadas, por ejemplo) o a fallos en los contadores (medidores), que dejan caudales sin medir por errores de lectura o funcionamiento defectuoso, lo que genera las pérdidas aparentes (Paniagua, 2023). Las conexiones ilegales y clandestinas también propician esas pérdidas.

En cuanto a la dimensión de gestión del riesgo (GdR), el panel consideró al indicador sobre cantidad de fuentes vulnerables ante las amenazas antrópicas sin medidas de gestión (contaminación, vandalismo), en un 100% de opinión como indispensable. El aumento poblacional y la expansión urbana sin regulación, donde se afecten las fuentes de agua y los reservorios, sumados a la poca protección física que tienen las tomas de agua, favorecen esa contaminación y los actos vandálicos. La seguridad hídrica seguirá siendo deficiente, en tanto no se aborde el problema de contaminación de las fuentes (De la Rosa et al., 2022).

Seguido del indicador mencionado antes, igualmente, para la dimensión de gestión del riesgo, el grado de exposición del sistema (de abastecimiento) a las amenazas naturales obtuvo un 82% de opinión indispensable. Como lo señalan Rojas y Tzatchkov (2022), las

amenazas naturales relacionadas con el déficit y exceso de agua, como las sequías e inundaciones, pueden afectar al suministro del agua, teniendo como consecuencia importantes pérdidas e impactos socioeconómicos, sin olvidar las pérdidas financieras del prestador del servicio de agua potable por daños en el sistema de abastecimiento.

Para la dimensión de la gestión social, indicadores referidos a la cantidad de la población desabastecida de agua, a la cantidad de usuarios sensibilizados en la protección, uso y buen manejo del recurso hídrico (cultura del agua), así como la comunicación efectiva de la información a la población acerca del quehacer institucional, ocuparon el mayor interés del panel. Con respecto a la población abastecida de agua, en el estudio de Simonin et al. (2023) se propone efectuar la cuantificación del porcentaje de población con acceso y sin acceso a recursos hídricos, lo que guarda similitud con lo considerado por los expertos consultados.

En términos de la dimensión administrativa-financiera, los indicadores sobre financiamiento disponible para mejoras en los sistemas, número de servicios versus estado de pago del usuario (estado de la morosidad del usuario en el pago) y la cuantificación del impacto financiero ante el riesgo materializado, ocuparon los mayores porcentajes de opinión como indispensable. La preocupación financiera es tratada por Bretas et al. (2020), cuando indican que los recursos financieros se consumen usualmente en obras definidas con objetivos institucionales, y no a partir de definiciones técnicas estratégicas.

En términos de financiamiento para mejoras en los sistemas, se debe considerar lo que señala el Plan Estratégico Institucional 2022-2026. Dicho instrumento señala que el costo del financiamiento de la infraestructura, así como los costos de operación y mantenimiento de los servicios, deben ser cubiertos por la población meta, que será beneficiada con cada proyecto y servicio. De ahí la importancia de mantener niveles tarifarios acordes con las políticas de crecimiento de los servicios y las metas de prestación del servicio, dispuestas por la administración superior (p. 40). En resumen, los indicadores indispensables para cada dimensión se resumen en la tabla 7.

**Tabla 7.***Indicadores indispensables por dimensión*

<b>Dimensión: Disponibilidad de agua dulce</b>
Capacidad máxima cuantificada de la fuente o reservorio.
Balance entre oferta y demanda.
Agua disponible per cápita.
Monitoreo hidrometeorológico en el territorio.
<b>Dimensión: Calidad de agua</b>
Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura incumplen parámetros de contaminación fisicoquímica.
Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura incumplen parámetros de contaminación por microorganismos.
<b>Dimensión: Eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final</b>
Volumen de pérdidas reales.
Volumen de pérdidas aparentes.
Volumen de pérdidas operacionales.
<b>Dimensión: Gestión del riesgo</b>
Grado de exposición del sistema a las amenazas naturales.
Cantidad de fuentes vulnerables ante las amenazas antrópicas, sin medidas de gestión (contaminación, vandalismo).
Plan de seguridad del agua implantado y con revisión periódica.
Procedimientos y protocolos para la observación, vigilancia, alerta, alarma, respuesta y continuidad operativa ante las amenazas naturales y antropogénicas.
<b>Dimensión: Gestión social</b>
Cantidad de usuarios sensibilizados en la protección, uso y buen manejo del recurso hídrico (cultura del agua).
Cantidad de la población desabastecida de agua.
Comunicación efectiva de la información a la población acerca del quehacer institucional.

---

Cantidad real de usuarios que reciben el servicio.

---

**Dimensión: Administrativa-financiera**

---

Número de servicios versus estado de pago del usuario (estado de la morosidad del usuario en el pago).

---

Cuantificación del impacto financiero ante el riesgo materializado.

---

Financiamiento disponible para mejoras en los sistemas.

---

Gastos de operación cubiertos por ingresos (tarifa).

---

*Nota.* Elaboración propia (2024).

#### **4.6 Oportunidades de acción para el planteamiento futuro de ejercicios de medición de la seguridad hídrica**

Mediante pregunta abierta, se consultó al panel de expertos sobre posibles oportunidades de acción por seguir (según criterios temporales, espaciales, de recursos, entre otros), para efectuar un plan piloto para la medición de la seguridad hídrica de acuerdo con un espacio territorial definido, así como para verificar recursos técnicos necesarios. Lo externado por los expertos, se detalla a continuación:

#### **Tabla 8.**

##### *Oportunidades de acción*

<b>Categoría de oportunidad</b>	<b>Propuesta</b>
	Efectuar talleres con todas las instituciones involucradas en la gestión del recurso hídrico, para consensuar el alcance de seguridad hídrica en el país.
<b>Etapas</b>	Buscar espacios para el intercambio de datos y elementos de interés común entre instituciones, en materia de gestión del recurso hídrico.
	Fortalecer las capacidades en los acueductos rurales, mediante mesas de trabajo y talleres de capacitación.

---

Generar mesas de trabajo con jefes cantonales para crear conciencia en temas de gestión, para no ser reactivos sino preventivos (trabajo CNE).

---

Diagnosticar los sistemas del AyA, municipales y de ASADAS, que permitan y puedan establecer objetivos específicos en el tema de la SH, definir la ruta crítica, un programa de acciones con cronograma de ejecución y auditoría de procedimientos, resultados y ejecución, con verificación de sostenibilidad a los 3, 5 10 y 20 años.

---

Trabajar en la identificación de cuencas, categorización de estas según la calidad del agua y sus riesgos socioambientales asociados, generando mapas de calor de riesgos (consideración de la gestión de riesgo).

---

Fomentar la alianza público-privada, para concretar proyectos de inversión de manera más ágil.

---

## Requerimientos

Socializar la preocupación del tema de seguridad hídrica con las distintas dependencias de la institución, en su rol de operador y de rectoría (el AyA debe marcar la línea en apoyo de otras instituciones como el MINAE) y generar, a partir de allí, más indicadores (talleres, entrevistas, sesiones de trabajo).

---

Innovar en software para gestionar el recurso hídrico. Esto permitirá lograr el acercamiento a esa seguridad hídrica, mediante la anticipación a situaciones adversas a ella.

---

Colocar equipos que puedan dar una mejora en la infraestructura; por ejemplo, en mediciones del caudal o calidad del agua cruda previo a la entrada a la planta, para ver si es apta para potabilizar.

---

---

Generar datos para el conocimiento de la cantidad y calidad de agua (información para toma de decisiones, proyecciones y crecimiento de la población, comportamiento de la lluvia, estado del uso del suelo, ordenamiento territorial).

---

Mejorar en toma de datos mediante monitoreos en línea, detección temprana, desarrollo satelital e instrumentación fija.

---

Buscar apoyos y convenios interinstitucionales, porque hay operadores que carecen de suficientes recursos.

---

Fomentar un programa de comunidades sensibilizadas sobre los problemas que puedan afectar el recurso hídrico y su disponibilidad para el consumo.

---

Actualizar la legislación en materia hídrica.

---

Se requiere información actualizada de todos los sistemas y mejora en la calidad de la información.

---

### **Escala territorial**

Al consultarle al panel de expertos sobre cuál sería la escala territorial más idónea para efectuar ejercicios de medición de la seguridad hídrica, como elemento en común se mencionó la cuenca como unidad hidrográfica base, donde se puedan ejecutar cálculos de balance hídrico en dicha escala. También mencionaron la posibilidad de hacer esos ejercicios a nivel de sistemas de agua potable.

---

*Nota.* Elaboración propia (2024).

Nótese cómo el panel de expertos considera significativo el establecer mesas de trabajo institucional para crear el concepto de seguridad hídrica. De relevancia será que este paradigma sea visto como un elemento estratégico en el servicio de agua potable por las autoridades superiores de la institución (Presidencia Ejecutiva, Gerencia General, Junta Directiva).

La vinculación con otros actores institucionales es clave por el carácter de bien público que tiene el recurso hídrico, sin olvidar la necesaria consideración del sector privado como motor de desarrollo y propulsor de innovación. Al respecto, Álvarez et al. (2023) apuestan a acciones públicas y privadas integradas y coordinadas, que pueden tener incidencia en la gobernanza del agua en tres ámbitos de acción, vinculados a los ejes de sostenibilidad:

- Gestión del agua como elemento de la naturaleza (preservación del ciclo del agua),
- Gestión del agua como recurso (extracción, tratamiento de potabilización, distribución, uso consuntivo y no consuntivo, tratamiento de aguas servidas y prevención de riesgos asociados al agua).
- Gestión del agua como un sistema socioecológico (actividades y procesos territoriales que influyen en la demanda y uso del agua).

Caldés (2024) discrepa de dicha visión. Su argumento se basa en que el paradigma de la seguridad hídrica aún se mueve en entornos académicos y de organismos internacionales, por lo que no es aplicable, al menos hoy día, a nivel ambiental, política y económicamente en forma sostenible, debido a la profunda escasez estructural de agua. Para el caso de Costa Rica, es importante revisar si atañe tal aseveración, dada la frecuente interrupción del servicio de agua potable en varias zonas del país.

Por otra parte, el diagnóstico de la disponibilidad y calidad de las fuentes de agua que alimentan los sistemas fue mencionado por los expertos, sumado a la evaluación de la capacidad de la infraestructura para brindar el servicio de suministro de agua potable, debe ser permanente. Todo ello es planificado bajo una visión preventiva, más que de reacción ante cualquier amenaza.

Acá es donde toma relevancia la planificación bajo el enfoque de gestión de riesgos (GdR). Al respecto, el Plan Estratégico Institucional (PEI) 2022-2026 del AyA hace un llamado a transversalizar la gestión del riesgo en toda la gestión institucional, para

generar capacidad en los procesos de prevención, mitigación y respuesta en la atención ex-ante, durante y post de una emergencia, así como contar con bases de datos históricas que documenten eventos adversos, naturales o antrópicos, para la toma de decisiones en la temática de gestión de riesgo.

La cuenca fue considerada por el panel como el mejor espacio territorial para efectuar pilotos de toma de datos, para la generación de indicadores que permitan el cálculo de la seguridad hídrica, tratando de generar un índice que la categorice. Ello va en relación con lo que señala la Agencia Nacional de Aguas de Brasil (s.f.), al manifestar que la cuenca debe ser la base hidrográfica de referencia. Esto tiene mucho sentido, al saberse que sobre la cuenca confluyen relaciones de causa y efecto, en términos de aprovechamiento de los diversos recursos y del dinamismo productivo y social.

Señalaron también los expertos que a nivel regional podría existir mucha variabilidad, y eso podría complicar un análisis de datos, aunque no se debe descartar esa posibilidad. Ante todo, la escala debe ir ligada al alcance y al nivel de inversión que se requiera en su momento.

En contraposición a la escala de cuenca, se encuentran otros autores. Para Assefa et al. (2019), el espacio territorial propuesto en su estudio es a nivel de ciudad (entorno urbano y periurbano), y propone desarrollarlo cada tres o cinco años, para medir cambios en el índice de seguridad hídrica.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

En relación con el primer objetivo específico, según los atributos de investigación definidos como conceptos, desafíos y oportunidades de innovación para la seguridad hídrica en un contexto de prestación sostenible del servicio de agua potable, se concluye lo siguiente:

- El concepto de seguridad hídrica se fundamenta de manera conjunta sobre la capacidad y disponibilidad que se posee para brindar agua a la población, y para el desarrollo de las actividades económicas. Además, la capacidad para la planificación de mediano y largo plazo, que ayude a garantizar el equilibrio entre la demanda y la oferta del recurso hídrico en la prestación del servicio de agua potable, se considera un hallazgo nuevo aportado por este estudio (surgió como parte del interés del panel de expertos).
- Los desafíos más significativos para la seguridad hídrica están vinculados a la prevención de la degradación y contaminación de las fuentes de agua, la administración, el mantenimiento y la optimización de la infraestructura y el sistema en sí de abastecimiento, así como la adecuada gestión integral de las cuencas.
- Hay que generar esfuerzos por favorecer el desarrollo de ciencia y tecnología novedosa y eficaz en los sistemas de abastecimiento, siendo prioritario el mejoramiento en la toma y almacenamiento de datos del funcionamiento de los sistemas, de manera que la información se pueda recuperar y analizar bajo un enfoque de gestión del riesgo (GdR) para la prestación del servicio de agua potable.

En lo que concierne al segundo objetivo específico (según los atributos de investigación referidos a dimensiones e indicadores que deben considerarse en un posible cálculo de

un índice de seguridad hídrica bajo un contexto de prestación del servicio de agua potable), se concluye:

- De las dimensiones propuestas al panel, la disponibilidad y calidad del agua son consideradas las de mayor importancia en la prestación del servicio de agua potable. A su vez, una dimensión que integre la eficiencia en el proceso y el manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final es indispensable, a fin de disminuir el desperdicio de recursos y las interrupciones en el servicio al consumidor.
- La gestión del riesgo es una dimensión de relevancia, por el carácter preventivo que tiene su enfoque.
- En cuanto a la dimensión de gestión social, se considera estratégica, debido al carácter de bien público y de derecho humano que tiene el agua.
- En términos de indicadores, los que pueden tratar sobre capacidad de las fuentes y el balance entre oferta y demanda, son de relevancia. De igual manera, indicadores que traten sobre el cumplimiento de parámetros de contaminación fisicoquímica y microbiológica, en términos de calidad de agua, así como aquellos que ayuden a determinar la eficiencia en el proceso y manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final.
- Indicadores referidos a la gestión del riesgo, puntualmente sobre fuentes vulnerables a amenazas naturales y antropogénicas, son importantes de considerar.
- También son de relevancia indicadores financieros que puedan ligarse a lo operativo, como los son aquellos que traten sobre el financiamiento para mejoras en los sistemas de abastecimiento, así como el estado de morosidad del usuario en el pago del servicio.

Con respecto al tercer objetivo específico, vinculado a la identificación de oportunidades de acción para futuros ejercicios pilotos de medición de la seguridad hídrica, se concluye lo siguiente:

- El enfoque preventivo y adaptativo que brinda la gestión de riesgos (GdR), es un elemento por considerar para ejercicios de medición de la seguridad hídrica. Dentro de ese enfoque, la cuenca se considera el mejor espacio territorial para posibles ejercicios de medición de la seguridad hídrica. Esto se suma a la búsqueda de la optimización en la dotación del servicio de agua potable, la protección de áreas de recarga hídrica y otros asuntos complementarios.
- Se considera de importancia el establecer mesas de trabajo institucionales, para definir el alcance de la seguridad hídrica como un elemento estratégico en el servicio de agua potable, partiendo del involucramiento de la alta gerencia para que fomente dichos espacios. Idealmente, ese trabajo conjunto podría ser liderado desde la Dirección de Investigación.
- Fomentar la generación e intercambio de datos entre instituciones en materia de gestión del recurso hídrico, sobre todo aquellos que brinden un mejor conocimiento de la cantidad y calidad del agua, y que pueden ser utilizados en posibles ejercicios del cálculo de la seguridad hídrica, también resulta relevante. Crear una campaña de diagnóstico de los sistemas de abastecimiento del AyA, que permita obtener información actualizada de línea base de su estado, y que sirva de insumo para futuros ejercicios del cálculo de seguridad hídrica, resulta de interés.

Como conclusión general, y respondiendo a la pregunta de investigación, se señala que, según lo indagado en la literatura y lo consultado al panel de expertos, es presumible que, para la evaluación de la seguridad hídrica en el contexto de la prestación sostenible del servicio de abastecimiento de agua potable, las dimensiones y los indicadores no deben enfocarse exclusivamente en consideraciones operativas para la prestación del servicio. Es decir, se puede señalar que, al abordar el tema, se deben integrar lo social, lo económico y lo natural; o sea, los tres ejes fundamentales de la sostenibilidad, puesto

que el marco conceptual de la seguridad hídrica, alrededor del orbe, no excluye dichos elementos.

Ante lo dicho, se está en acuerdo con el panel de expertos. No obstante, a manera de una valoración adicional, se señala que un elemento que se debe indagar con mayor profundidad y que no fue resaltado por el panel, es la pertinencia de ampliar la consulta a expertos propiamente en la dimensión administrativa-financiera, quienes podrían ampliar, con un criterio técnico más puntual, sobre posibles indicadores que respalden dicha dimensión.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda generar otras consultas con la misma técnica, para adquirir más información que con este estudio no fue posible recabar, sobre todo por razones de tiempo y disponibilidad de expertos. Ampliar a actores dentro y fuera de la institución, que generan datos de interés y que pudieran ser transformados en indicadores para potenciales ejercicios de medición de la seguridad hídrica, en el marco de prestación del servicio de agua potable.
- Se debe ampliar la investigación sobre la concepción y posibles experiencias de cálculos de seguridad hídrica, exclusivamente en contextos de servicios de abastecimiento de agua potable en el extranjero. La consulta directa a otras instituciones a nivel internacional con roles similares al AyA, puede ser una opción para ello. De la consulta será interesante indagar cómo se generan reportes del cálculo de esa seguridad, y cuáles datos relevantes dan soporte a un plan de seguridad hídrica en su aplicación.
- Los indicadores propuestos en este trabajo son una aproximación a posibles variables para el cálculo de índices de seguridad hídrica. Sin embargo, deben ser objeto de un análisis más profundo, para determinar cómo se obtendrán los datos asociados, en qué unidades o representación estarán disponibles o deberían ser generados y cuál sería la fuente de estos, y cómo se manipularían los mismos en

términos de software. Parte del trabajo pendiente es lograr darle un criterios, estándar y escalas de valor al indicador.

## BIBLIOGRAFÍA

Agência Nacional de Águas de Brasil. (2019). Plano nacional de segurança hídrica. <https://pnsh.ana.gov.br/pdf/espanhol.pdf>

Agência Nacional de Águas de Brasil. (s.f.). Manual metodológico índice de segurança hídrica. [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66/attachments/Metodologia\\_ISH.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66/attachments/Metodologia_ISH.pdf)

Álvarez-Garreton, C., Boisier, J. P., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, C., Maillet, A., Aldunce, P., Urrutia-Jalabert, R., Zambrano-Bigiarini, M., Guevara, G., Galleguillos, M., Muñoz, A., Christie, D., Marinao, R., y Garreaud, R. (2023). Seguridad hídrica en Chile: caracterización y perspectivas de futuro. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2, (ANID/FONDAP/1522A0001). [https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2023/12/Informe\\_Seguridad\\_HidricaCR2.pdf](https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2023/12/Informe_Seguridad_HidricaCR2.pdf)

Assefa, Y., Babel, M., Sušnik, J., y Shinde, V. (2019). Development of a generic domestic water security index, and its application in Addis Ababa, Ethiopia. *Water*, 11(1), 37. <https://doi.org/10.3390/w11010037>

ATUK Consultoría Estratégica. (2022). Seguridad hídrica en el Ecuador: línea base de la seguridad hídrica multidimensional a escala nacional. <https://storymaps.arcgis.com/stories/59bedf997aa24746a2164bf4cdbe9643>

Bretas, F., Casanova, G., Crisman, T., Embid, A., Martin, L., Miralles, F., y Muñoz, R. (2020). Agua para el futuro: estrategia de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Agua-para-el-futuro-Estrategia-de-seguridad-hidrica-para-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Caldés, G. (2024). A la seguridad hídrica le falta calle. <https://www.iagua.es/blogs/gabriel-caldes/region-coquimbo-peligro>

- Cubillo, F. (2020). Análisis focalizado: gestión de pérdidas de agua en empresas prestadoras de servicios de agua y saneamiento. <https://aquarating.org/knowledge/gestion-de-perdidas-de-agua-en-empresas-de-servicios-en-agua-y-saneamiento/>
- De la Rosa, A., Valdés-Rodríguez, O. A., Villada-Canela, M., Manson, R., y Murrieta-Galindo, R. (2021). Caracterizando la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrológica: caso de estudio Veracruz, México. *Ingeniería del agua*, 25(3), 187-203. <https://doi.org/10.4995/la.2021.15221>
- De la Rosa, A., Ruelas-Monjardín, L. C., Villada-Canela, M., Valdés-Rodríguez, O. A., Manson, R., y Murrieta-Galindo, R. (2022). Análisis de la seguridad hídrica y su contexto en el mundo, 2000-2019. *Tecnología y ciencias del agua*, 13(5), 200-250. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-05-06>
- Fuster, R., Escobar, C., Astorga, K., Silva, K., y Aldunce, P. (2017). Estudio de seguridad hídrica en Chile en un contexto de cambio climático para elaboración del Plan de adaptación de los recursos hídricos al cambio climático. Laboratorio de Análisis Territorial de la Universidad de Chile. [https://dgop.mop.gob.cl/centro\\_documental/Documents/Areas\\_DGOP/SEMAT/Informe\\_Final\\_Estudio\\_Seguridad\\_Hidrica\\_en\\_Chile.pdf](https://dgop.mop.gob.cl/centro_documental/Documents/Areas_DGOP/SEMAT/Informe_Final_Estudio_Seguridad_Hidrica_en_Chile.pdf)
- Gain, A. Giupponi, C., y Wada, T. (2016). Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environmental Research Letters*, 11(12). <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124015>
- Global Water Partnership. (2015). Seguridad hídrica ¿qué significa y cómo podemos mejorarla? <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/EN-ACCION/GWP-en-las-noticias/2015/2015-06-01/>
- Hernández, P. (2019). *Índice de seguridad hídrica en México* (Tesis de doctorado, Universidad de las Américas, Puebla).

<https://www.researchgate.net/publication/355381546> Indice de Seguridad Hidrica en Mexico

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). México, D.F.: McGraw-Hill.

Hoekstra, A., Buurman, J., y van Ginkel, K. (2018). Urban water security: a review. *Environmental Research Letters*, 13(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2022). Plan Estratégico Institucional 2022-2026. [https://www.aya.go.cr/transparencialnst/rendicion\\_cuentas/PlanesInstitucionales/Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Institucional/Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Institucional%202022-2026.pdf](https://www.aya.go.cr/transparencialnst/rendicion_cuentas/PlanesInstitucionales/Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Institucional/Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Institucional%202022-2026.pdf)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2017). Índices de seguridad hídrica. <https://dokumen.tips/download/link/ndices-de-seguridad-hdrica-ish-clave-hc1711.html>

López, E. (2018). El método Delphi en la investigación actual en educación: una revisión teórica y metodológica. *Educación XX1*, 21(1), 17-40. <https://doi.org/10.5944/educXX1.15536>

Mason, N., y Calow, R. (2012). Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An initial overview of options. <https://cdn.odi.org/media/documents/7865.pdf>

MINAET, SENARA, y AyA. (s.f.). Agenda del agua Costa Rica 2013–2030. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam\\_files/documento\\_de\\_posicionamiento\\_agenda\\_del\\_agua\\_nov\\_20121.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/documento_de_posicionamiento_agenda_del_agua_nov_20121.pdf)

- Mora, S. (2019). Los desastres no son naturales. *Decisiones*, 3(7), 15-21. <https://radiosantamaria.net/wp-content/uploads/2020/02/2020-Los-desastres-no-son-naturales-Mora-Sergio.pdf>
- Nkiaka, E. (2022). Exploring the socioeconomic determinants of water security in developing regions. *Water Policy*, 24(4), 608-625. <https://doi.org/10.2166/wp.2022.149>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Paniagua, J. (2023). *Agua: historia, tecnología y futuro*. Guadalmazán.
- Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. CEPAL. *Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, 178. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/c3770463-e99e-4cbe-83c4-8d9909eec5a1/content>
- Perochena, G. (2021). Aproximación a un Índice para medir la seguridad hídrica de Lima metropolitana al 2020. LinkedIn <https://es.linkedin.com/pulse/aproximaci%C3%B3n-un-%C3%ADndice-para-medir-la-seguridad-de-lima-perochena>
- Pozzebon, G.R., Belladonna, R., Bortoli, T.A., y de Vargas, T. (2022). Proposta de um novo método para a definição de indicadores de segurança hídrica no abastecimento público. *Eng Sanit Ambient*, 27(5), 947-956. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210325>
- Reguant, M., y Torrado, M. (2016). El método Delphi. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 9(1), 87-102. <https://doi.org/10.1344/reire2016.9.1916>

- Reyes, V. (2016). Situación de los recursos hídricos en Centroamérica/Costa Rica. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam\\_files/srh\\_costarica\\_2016.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_costarica_2016.pdf)
- Rojas, A., y Tzatchkov, V. (2022). *Introducción a la seguridad hídrica*. [https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2022/introduccion\\_seguridad\\_hidrica.pdf](https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/libros/2022/introduccion_seguridad_hidrica.pdf)
- Soliño, M. (2003). Nuevas políticas silvo-ambientales en especies rurales de la Red Natura 2000: una aplicación a la región atlántica de la Península Ibérica. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 12(3), 57-72. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=765516#:~:text=Se%20realiza%20un%20an%C3%A1lisis%20de%20las%20medidas%20agroambientales,para%20formar%20parte%20de%20la%20Natura%202000%20Europea.>
- Simonin, V., Vaghefi, S.A., Abdelgadir, Z.M., Eltayeb, D., Sidahmed, M.A.M., Monet, J.P., y Ray, N. (2023). Present and future drinking water security and its impacts on maternities: a multi-scale assessment of Sudan. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 20(3), 2204. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032204>
- Valverde, A., Vargas, T., y Fernández, O. (2015). Validación de un instrumento para conocer el nivel de satisfacción de pacientes rehabilitados con prótesis removible. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 17(3), 87-94. <https://www.redalyc.org/pdf/4995/499550303008.pdf>
- Van Beek, E., y Lincklaen, W. (2014). Water security: putting the concept into practice. [https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/gwp\\_tec20\\_web.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/gwp_tec20_web.pdf)

## ANEXOS

## Anexo 1. Guía de instrumento de entrevista a experto\_ronda 1

Fecha:  
Nombre:  
Lugar de trabajo:

Nota importante: todos los enunciados propuestos a continuación, son producto de una lectura, resumen y reflexión de aspectos relacionados con la temática de gestión del recurso hídrico, seguridad hídrica y funcionamiento de sistemas de agua potable. Como fuentes consultadas, entre otras, se pueden mencionar: Aqurating, documentos institucionales (Política Nacional del Agua del AyA, Plan Estratégico Institucional del AyA), WATSAT framework, literatura especializada (investigaciones, tesis, estudios de organismos internacionales).

Questionario para ronda #1 de consulta a expertos

**Parte I. Concepto, desafíos y oportunidades de innovación en seguridad hídrica.**

Por favor, responda con una X según considere como *indispensable, deseable o no necesario* el ítem propuesto en cada línea que se le consulta (no deje enunciados sin marcar).

1. Según la literatura, pareciera que existe un consenso en definir a la seguridad hídrica como la capacidad y disponibilidad que se tiene de brindar agua para el consumo humano, para el desarrollo de las actividades económicas, garantizando las condiciones para que el aprovechamiento humano no entre en conflicto con el equilibrio del entorno natural (ecosistemas), e involucrando el tema de la resiliencia ante posibles efectos adversos de amenazas naturales y antropogénicas. Para lograr una definición de seguridad hídrica en el contexto de prestación del servicio de agua potable, ¿cuáles de los siguientes elementos son indispensables, deseables o no necesarios de considerar?

Elementos para una definición de seguridad hídrica	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
Disponibilidad de agua en cantidad y calidad para el consumo humano y demás actividades socioeconómicas.	80		10	x	10	
Capacidad a nivel técnico, financiero y administrativo para brindar el servicio.						
Acciones de manejo y protección del recurso agua para la conservación de ecosistemas.						
Resiliencia (adaptación) ante posibles efectos adversos por amenazas naturales.						
Prevención de efectos adversos por amenazas antrópicas. <sup>1</sup>						

<sup>1</sup> Por ejemplo: contaminación, vandalismo.

1

Elementos para una definición de seguridad hídrica	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
Otro <sup>3</sup> :						

2. Como factores condicionantes para que exista seguridad hídrica, la literatura señala algunos desafíos importantes de atender, que pueden incidir en la prestación del servicio de agua potable. Seleccione si la atención de los desafíos que se señalan a continuación es indispensable, deseable o no necesario.

Desafíos	Indispensable	Deseable	No necesario
Evitar la degradación y contaminación de las fuentes de agua.			
Adaptarse a eventos hidrometeorológicos intensos.			
Manejar integralmente las cuencas.			
Brindar mantenimiento preventivo a la infraestructura de abastecimiento.			
Procurar la optimización de los sistemas.			
Búsqueda de financiamiento para proyectar la habilitación de nuevos sistemas de abastecimiento.			
Prospección para localizar nuevas fuentes de agua de calidad para generar nuevos proyectos.			
Evitar conflictos sociales por el acceso al recurso hídrico.			
Aumentar la cobertura territorial del servicio.			
Inversión en capital humano.			
Considerar los instrumentos de ordenamiento territorial en el ámbito cantonal para proyectar nuevos servicios.			
Prospección para localizar nuevas fuentes de agua de calidad para generar redundancia.			

<sup>3</sup> Opcional si desea hacer mención de algún elemento que desee agregar.

Desafíos	Indispensable	Deseable	No necesario
Otro <sup>3</sup> :			

3. La literatura propone a su vez algunas oportunidades de innovación en la gestión del recurso hídrico, que pueden tener incidencia en materia de seguridad hídrica. Según su criterio, ¿las siguientes oportunidades son indispensables, deseables o no necesarias?

Oportunidad de innovación	Indispensable	Deseable	No necesario
Desarrollo de ciencia y tecnología (inversión en investigación y conocimiento) para una gestión más eficiente y eficaz del recurso hídrico.			
Actualización del marco legal en materia del recurso hídrico que incorpore un enfoque de seguridad hídrica.			
Planificación multisectorial para coordinar acciones en adaptación y mitigación ante la variabilidad y el cambio climático.			
Trabajar bajo un enfoque de gestión del ciclo del agua que combine la infraestructura hídrica tradicional con el capital natural <sup>4</sup> .			
Crear programas de reservas de agua y de gestión de cuencas.			
Otro (opcional):			

<sup>3</sup> Opcional si desea hacer mención de algún desafío que desee agregar.

<sup>4</sup> Búsqueda de maneras novedosas menos invasivas de construcción de la infraestructura del agua.

**Parte II: Posibles dimensiones e indicadores para un índice de seguridad hídrica.**

Por favor, responda con una X según considere como *indispensable*, *deseable* o *no necesario* el ítem propuesto en cada línea que se le consulta (no deje enunciados sin marcar).

4. Las fuentes consultadas señalan que es importante contar con una métrica que permita cuantificar qué grado de seguridad hídrica se posee, y es así como surge lo que se conoce como el *índice de seguridad hídrica*. Este se compone de dimensiones, entendidas como las categorías que busca analizar el índice, mientras que los indicadores son las variables cuantitativas y cualitativas que se evalúan en cada dimensión. Para el caso de la prestación de servicios de abastecimiento de agua potable, con miras a la generación de un potencial índice de seguridad hídrica, ¿cada posible dimensión que se indica a continuación la catalogaría como indispensable, deseable o no necesaria?

Dimensiones	Indispensable	Deseable	No necesario
Disponibilidad de agua dulce.			
Calidad de agua			
Eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final.			
Gestión del Riesgo (amenazas naturales y antropogénicas; vulnerabilidad)			
Gestión social			
Administrativa-financiera			
Otro <sup>5</sup> :			

5. En la dimensión de disponibilidad de agua dulce, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

<sup>5</sup> Opcional.

Dimensión: Disponibilidad de agua dulce	Indispensable	Deseable	No necesario
i1: Capacidad máxima cuantificada de la fuente o reservorio <sup>6</sup> .			
i2: Balance entre oferta y demanda <sup>7</sup> .			
i3: Agua disponible per cápita <sup>8</sup> .			
i4: Monitoreo hidrometeorológico <sup>9</sup> en el territorio.			
¿Considera usted que hay algún indicador que no se mencionó para esta dimensión?			
	Indispensable	Deseable	No necesario

6. En la dimensión de calidad de agua, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: Calidad de agua	Indispensable	Deseable	No necesario
i1: Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura que incumplen parámetros de contaminación fisicoquímica.			
i2: Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura que incumplen parámetros de contaminación por microorganismos.			
¿Considera usted que hay algún indicador que no se mencionó para esta dimensión?			
	Indispensable	Deseable	No necesario

7. En la dimensión de eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: eficiencia	Indispensable	Deseable	No necesario
i1: Volumen de pérdidas reales <sup>10</sup>			

<sup>6</sup> Por ejemplo, el volumen máximo de capacidad de un acuífero.

<sup>7</sup> Es decir, lo que el sistema puede brindar y lo que demanda la población.

<sup>8</sup> Promedio anual del agua renovable disponible por persona

<sup>9</sup> Según variables hidrológicas y meteorológicas.

<sup>10</sup> Evalúa las pérdidas reales por su estimación de volúmenes anuales deducidos de los balances hídricos junto con el número de roturas y fugas detectadas y los gastos de mantenimiento preventivo y correctivo en la distribución (según Aquarebting).

i2: Volumen de pérdidas aparentes <sup>11</sup>			
i3: Volumen de pérdidas operacionales <sup>12</sup>			
¿Considera usted que hay algún indicador que no se mencionó para esta dimensión?			
	<b>Indispensable</b>	<b>Deseable</b>	<b>No necesario</b>

8. En la dimensión de gestión del riesgo, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

<b>Dimensión: gestión del riesgo</b>	<b>Indispensable</b>	<b>Deseable</b>	<b>No necesario</b>
i1: Proyecciones de escenarios climáticos <sup>13</sup>			
i2: Grado de exposición del sistema a las amenazas naturales.			
i3: Cantidad de fuentes vulnerables ante las amenazas antrópicas sin medidas de gestión (contaminación, vandalismo)			
i4: Plan de seguridad del agua implantado y con revisión periódica <sup>14</sup> .			
¿Considera usted que hay algún indicador que no se mencionó para esta dimensión?			
	<b>Indispensable</b>	<b>Deseable</b>	<b>No necesario</b>

9. En la dimensión de gestión social, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

<b>Dimensión: gestión social</b>	<b>Indispensable</b>	<b>Deseable</b>	<b>No necesario</b>
i1: Cantidad de usuarios sensibilizados en la protección, uso y buen manejo del recurso hídrico (cultura del agua).			

<sup>11</sup> Evalúa el control de los usos y consumos en usuarios finales junto con las prácticas de facturación y cobro y la eficacia de dichas prácticas (según Aquareating).

<sup>12</sup> Evalúa tanto las pérdidas de volúmenes de agua ocasionados en las diversas actividades de operación del sistema de abastecimiento y distribución, así como las discontinuidades de suministro generadas como consecuencia de las labores de reparación de roturas y fugas (según Aquareating).

<sup>13</sup> Para tener datos de déficit de lluvias.

<sup>14</sup> Según la Organización Mundial de la Salud.

i2: Cantidad de la población desabastecida de agua.			
i3: Cantidad de la población con enfermedades reportadas por falta o deficiencia de agua de buena calidad.			
i4: Comunicación efectiva de la información a la población <sup>15</sup> acerca del quehacer institucional.			
¿Considera usted que hay algún indicador que no se mencionó para esta dimensión?			
	Indispensable	Deseable	No necesario

10. En la dimensión administrativa-financiera, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: administrativa-financiera	Indispensable	Deseable	No necesario
i1: Número de servicios versus estado de pago del usuario <sup>16</sup> (estado de la morosidad del usuario en el pago).			
i2: Cuantificación del impacto financiero ante el riesgo materializado <sup>17</sup> .			
i3: Financiamiento disponible para mejoras en los sistemas.			
i4: Gastos de operación cubiertos por ingresos (tarifa) <sup>18</sup>			
¿Considera usted que hay algún indicador que no se mencionó para esta dimensión?			
	Indispensable	Deseable	No necesario

11. ¿Considera usted que falte la mención de alguna dimensión con sus respectivos indicadores?

Dimensión:	Indispensable	Deseable	No necesario
i:			

<sup>15</sup> Comunidad, tomadores de decisiones políticas, gerenciales y del sector privado.

<sup>16</sup> Es decir, para conocer los ingresos dejados de percibir por falta de pago del usuario.

<sup>17</sup> Es decir, infraestructura afectada/dañada por inundación, deslizamiento, vandalismo.

<sup>18</sup> Según Aqurating: estándar internacional para evaluar los servicios de agua y saneamiento, 2018.

Dimensión:	Indispensable	Deseable	No necesario
i:			
Dimensión:	Indispensable	Deseable	No necesario
i:			

**Parte III. Líneas de trabajo para generar, oportunidades de acción para medición de la seguridad hídrica.**

Según su criterio, ¿podría por favor plantear algunas líneas de trabajo, en el orden de etapas, requerimientos y escala territorial, que permita generar oportunidades de acción para el planteamiento futuro de ejercicios de medición de la seguridad hídrica, en el contexto de prestación del servicio de agua potable?

**Etapas:** (refiérase, por ejemplo, elaboración de diagnósticos y talleres, mesas de trabajo, consulta a otros actores vinculados al tema hídrico, al establecimiento de objetivos estratégicos, etc)

**Requerimientos en el orden:**

- técnico (por ejemplo, investigación sobre datos disponibles para proponer y/o generar indicadores para métricas de seguridad hídrica).
- financiero (por ejemplo, para financiar la creación de bases de datos, estudios y análisis<sup>39</sup>).
- recurso humano (por ejemplo, capacitar profesionales y técnicos en temas de seguridad hídrica).
- logística y servicios de apoyo (por ejemplo, crear o utilizar software existente para generar, almacenar, recuperar y cuantificar datos para ejercicios de medición de la seguridad hídrica).

<sup>39</sup> Financiamiento para la SH, 2022. ONU, Global Water Partnership.

Escala territorial: ¿a qué escala deberían hacerse ejercicios de medición de la seguridad hídrica (nacional, regional, cantonal, cuenca)

## Anexo 2. Guía de instrumento de entrevista a experto\_ronda 2

Fecha:

Nombre:

Lugar de trabajo:

En esta segunda ronda, se le solicita que por favor vuelva a responder con una "X" (en la columna "r") según considere como *indispensable*, *deseable* o *no necesario* a las mismas consultas de la primera ronda. Nótese que en esta ocasión se le muestra el porcentaje de respuestas del panel de expertos para cada ítem consultado en dicha ronda de aplicación del cuestionario. Recuerde no dejar enunciados sin marcar.

### Cuestionario para ronda #2 de consulta a expertos

#### Parte I. Concepto, desafíos y oportunidades de innovación en seguridad hídrica.

Por favor, responda con una X según considere como *indispensable*, *deseable* o *no necesario* el ítem propuesto en cada línea que se le consulta (no deje enunciados sin marcar).

- Según la literatura, pareciera que existe un consenso en definir a la seguridad hídrica como la capacidad y disponibilidad que se tiene de brindar agua para el consumo humano, para el desarrollo de las actividades económicas, garantizando las condiciones para que el aprovechamiento humano no entre en conflicto con el equilibrio del entorno natural (ecosistemas), e involucrando el tema de la resiliencia ante posibles efectos adversos de amenazas naturales y antropogénicas. Para lograr una definición de seguridad hídrica en el contexto de prestación del servicio de agua potable, ¿cuáles de los siguientes elementos son indispensables, deseables o no necesarios de considerar?

Elementos para una definición de seguridad hídrica	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
Disponibilidad de agua en cantidad y calidad para el consumo humano y demás actividades socioeconómicas.	100		0		0	
Capacidad a nivel técnico, financiero y administrativo para brindar el servicio.	75		25		0	
Acciones de manejo y protección del recurso agua para la conservación de ecosistemas.	83		17		0	
Resiliencia (adaptación) ante posibles efectos adversos por amenazas naturales.	67		33		0	
Prevención de efectos adversos por amenazas antropicas. <sup>1</sup>	67		33		0	
Gobernanza: altas gerencias involucradas e interesadas (AyA, ASADAS, gobierno local, otros operadores).	17		0		0	

<sup>1</sup> Por ejemplo: contaminación, vandalismo.

Elementos para una definición de seguridad hídrica	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
Capacidad para la planificación de mediano y largo plazo, que ayude a garantizar el equilibrio entre la demanda y la oferta del recurso hídrico.	8		0		0	

2. Como factores condicionantes para que exista seguridad hídrica, la literatura señala algunos desafíos importantes de atender, que pueden incidir en la prestación del servicio de agua potable. Seleccione si la atención de los desafíos que se señalan a continuación es indispensable, deseable o no necesario.

Desafíos	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
Evitar la degradación y contaminación de las fuentes de agua.	100		0		0	
Adaptarse a eventos hidrometeorológicos intensos.	42		50		8	
Manejar integralmente las cuencas.	58		42		0	
Brindar mantenimiento preventivo a la infraestructura de abastecimiento.	75		25		0	
Procurar la optimización de los sistemas.	67		33		0	
Búsqueda de financiamiento para proyectar la habilitación de nuevos sistemas de abastecimiento.	50		50		0	
Prospección para localizar nuevas fuentes de agua de calidad para generar nuevos proyectos.	50		50		0	
Evitar conflictos sociales por el acceso al recurso hídrico.	42		50		8	
Aumentar la cobertura territorial del servicio.	25		58		17	
Inversión en capital humano.	67		33		0	
Considerar los instrumentos de ordenamiento territorial en el ámbito cantonal para proyectar nuevos servicios.	67		33		0	
Prospección para localizar nuevas fuentes de agua de calidad para generar redundancia.	58		42		0	

Desafíos	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
Visión del agua como seguridad de Estado.	8		0		0	

3. La literatura propone a su vez algunas oportunidades de innovación en la gestión del recurso hídrico, que pueden tener incidencia en materia de seguridad hídrica. Según su criterio, ¿las siguientes oportunidades son indispensables, deseables o no necesarias?

Oportunidad de innovación	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
Desarrollo de ciencia y tecnología (inversión en investigación y conocimiento) para una gestión más eficiente y eficaz del recurso hídrico.	67		33		0	
Actualización del marco legal en materia del recurso hídrico que incorpore un enfoque de seguridad hídrica.	100		0		0	
Planificación multisectorial para coordinar acciones en adaptación y mitigación ante la variabilidad y el cambio climático.	50		50		0	
Trabajar bajo un enfoque de gestión del ciclo del agua que combine la infraestructura hídrica tradicional con el capital natural <sup>3</sup> .	17		83		0	
Crear programas de reservas de agua y de gestión de cuencas.	67		33		0	

<sup>3</sup> Búsqueda de maneras novedosas menos invasivas de construcción de la infraestructura del agua.

**Parte II: Posibles dimensiones e indicadores para un índice de seguridad hídrica.**

Por favor, responda con una X según considere como *indispensable*, *deseable* o *no necesario* el ítem propuesto en cada línea que se le consulta (no deje enunciados sin marcar).

4. Las fuentes consultadas señalan que es importante contar con una métrica que permita cuantificar qué grado de seguridad hídrica se posee, y es así como surge lo que se conoce como el *índice de seguridad hídrica*. Este se compone de dimensiones, entendidas como las categorías que busca analizar el índice, mientras que los indicadores son las variables cuantitativas y cualitativas que se evalúan en cada dimensión. Para el caso de la prestación de servicios de abastecimiento de agua potable, con miras a la generación de un potencial índice de seguridad hídrica, ¿cada posible dimensión que se indica a continuación la catalogaría como indispensable, deseable o no necesaria?

Dimensiones	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
Disponibilidad de agua dulce.	75		25		0	
Calidad de agua	75		25		0	
Eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final.	83		17		0	
Gestión del Riesgo (amenazas naturales y antropogénicas; vulnerabilidad)	75		25		0	
Gestión social	58		42		0	
Administrativa-financiera	58		42		0	

5. En la dimensión de disponibilidad de agua dulce, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: Disponibilidad de agua dulce	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
i1: Capacidad máxima cuantificada de la fuente o reservorio <sup>3</sup> .	83		17		0	
i2: Balance entre oferta y demanda <sup>4</sup> .	92		8		0	
i3: Agua disponible per cápita <sup>5</sup> .	42		33		25	
i4: Monitoreo hidrometeorológico <sup>6</sup> en el territorio.	67		33		0	
i5: Cantidad de reservorios de respaldo con caudales importantes.	0		8		0	

6. En la dimensión de calidad de agua, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: Calidad de agua	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
i1: Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura que incumplen parámetros de contaminación fisicoquímica.	83		17		0	
i2: Cantidad de sistemas cuyas redes, tanques y demás infraestructura que incumplen parámetros de contaminación por microorganismos.	75		25		0	

<sup>3</sup> Por ejemplo, el volumen máximo de capacidad de un acuífero.

<sup>4</sup> Es decir, lo que el sistema puede brindar y lo que demanda la población.

<sup>5</sup> Promedio anual del agua renovable disponible por persona

<sup>6</sup> Según variables hidrológicas y meteorológicas.

7. En la dimensión de eficiencia en el proceso/manejo del sistema de abastecimiento hacia el usuario final, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: eficiencia	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
i1: Volumen de pérdidas reales <sup>7</sup>	92		8		0	
i2: Volumen de pérdidas aparentes <sup>8</sup>	67		33		0	
i3: Volumen de pérdidas operacionales <sup>9</sup>	67		33		0	
i4: Eficiencia en los sistemas electromecánicos.	0		8		0	

8. En la dimensión de gestión del riesgo, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: gestión del riesgo	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
i1: Proyecciones de escenarios climáticos <sup>10</sup>	58		42		0	
i2: Grado de exposición del sistema a las amenazas naturales.	75		25		0	
i3: Cantidad de fuentes vulnerables ante las amenazas antrópicas sin medidas de gestión (contaminación, vandalismo)	92		8		0	
i4: Plan de seguridad del agua implantado y con revisión periódica <sup>11</sup> .	50		50		0	
i5: Instrumentos para la reducción estructural y no-estructural del riesgo.	8		0		0	
i6: Instrumentos para la protección financiera y financiamiento del riesgo.	8		0		0	

<sup>7</sup> Evalúa las pérdidas reales por su estimación de volúmenes anuales deducidos de los balances hídricos junto con el número de roturas y fugas detectadas y los gastos de mantenimiento preventivo y correctivo en la distribución (según Aquerating).

<sup>8</sup> Evalúa el control de los usos y consumos en usuarios finales junto con las prácticas de facturación y cobro y la eficacia de dichas prácticas (según Aquerating).

<sup>9</sup> Evalúa tanto las pérdidas de volúmenes de agua ocasionados en las diversas actividades de operación del sistema de abastecimiento y distribución, así como las discontinuidades de suministro generadas como consecuencia de las labores de reparación de roturas y fugas (según Aquerating).

<sup>10</sup> Para tener datos de déficit de lluvias.

<sup>11</sup> Según la Organización Mundial de la Salud.

Dimensión: gestión del riesgo	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
i7: Procedimientos y protocolos para la observación, vigilancia, alerta, alarma, respuesta y continuidad operativa ante las amenazas naturales y antropogénicas.	8		0		0	

9. En la dimensión de gestión social, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: gestión social	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
i1: Cantidad de usuarios sensibilizados en la protección, uso y buen manejo del recurso hídrico (cultura del agua).	58		42		0	
i2: Cantidad de la población desabastecida de agua.	67		33		0	
i3: Cantidad de la población con enfermedades reportadas por falta o deficiencia de agua de buena calidad.	42		33		25	
i4: Comunicación efectiva de la información a la población <sup>13</sup> acerca del quehacer institucional.	58		42		0	
i5: Cantidad real de usuarios que reciben el servicio.	8		0		0	

<sup>13</sup> Comunidad, tomadores de decisiones políticas, gerenciales y del sector privado.

10. En la dimensión administrativa-financiera, ¿considera usted que los siguientes indicadores propuestos son indispensables, deseables o no necesarios?:

Dimensión: administrativa-financiera	Indispensable		Deseable		No necesario	
	%	r	%	r	%	r
i1: Número de servicios versus estado de pago del usuario <sup>13</sup> (estado de la morosidad del usuario en el pago).	67		25		8	
i2: Cuantificación del impacto financiero ante el riesgo materializado <sup>14</sup> .	75		25		0	
i3: Financiamiento disponible para mejoras en los sistemas.	83		17		0	
i4: Gastos de operación cubiertos por ingresos (tarifa) <sup>15</sup>	83		17		0	
i5: Financiamiento disponible para compra de tierras destinadas para protección de fuentes o áreas de recarga.	0		8		0	
i6: Cantidad de acueductos implementando tarifa de protección hídrica.	0		8		0	

<sup>13</sup> Es decir, para conocer los ingresos dejados de percibir por falta de pago del usuario.

<sup>14</sup> Es decir, infraestructura afectada/dañada por inundación, deslizamiento, vandalismo.

<sup>15</sup> Según Aqurating: estándar internacional para evaluar los servicios de agua y saneamiento, 2018.