

UNIVERSIDAD NACIONAL, COSTA RICA

SEDE REGIONAL CHOROTEGA

CAMPUS LIBERIA

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA HIDROLÓGICA

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA Y RIESGO PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO  
HÍDRICO EN ASOCIACIONES DE ACUEDUCTOS RURALES DE NICOYA, SANTA CRUZ Y  
CAÑAS, PROVINCIA DE GUANACASTE, COSTA RICA.**

SUSTENTANTES:

ING. MARIANNA DE LA CRUZ MORALES LEÓN

1-1775-0413

ING. LIESSEL MARÍA MEDINA CISNERO

5-0432-0766

LIBERIA, GUANACASTE

21 de febrero, 2024

## ACTA DE APROBACIÓN

El tribunal evaluador aprobó el trabajo final de graduación titulado: “**Evaluación de Calidad de Agua y Riesgo para la Gestión del Recurso Hídrico en Asociaciones de Acueductos Rurales de Nicoya, Santa Cruz y Cañas, Provincia de Guanacaste, Costa Rica**”, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica.

### Miembros del Tribunal:

---

**Tutora:** *MSc. Johanna Rojas Conejo*

---

**Lectora 1:** *PhD. Andrea Suárez Serrano*

---

**Lectora 2:** *MSc. Anny Guillén Watson*

---

**Representante Decanatura:** *PhD. Ronald Sánchez Brenes*

---

**Representante Dirección Académica:** *Dr. Rolando Madríz Vargas*

## AGRADECIMIENTOS

- *Marianna Morales*

Agradecer primeramente a Dios por la oportunidad que me da al permitirme estar hoy acá presente, defendiendo mi Proyecto Final de Graduación, para permitirme cumplir este gran sueño de ser Licenciada.

A mi familia, en especial mi padre José Morales Solano y mi madre Kirsten León Moya, que han sido mi motor de vida durante toda esta etapa y por quienes he llegado hasta este punto de mi desarrollo profesional. También a mis mascotas, quienes son mi motivo de sonrisa día tras día.

Al Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe [HIDROCEC], especialmente a las Profesoras Msc. Johanna Rojas Conejo, Msc. Anny Guillén Watson y Dra. Andrea Suárez Serrano, por abrirme las puertas de este lugar tan lleno de enseñanza y darme todo ese apoyo necesario para llevar a cabo este proyecto.

Finalmente, a todos aquellos profesores y colegas con los que viví esta gran etapa de vida... Gracias por todos los conocimientos adquiridos y la gran amistad que cultivamos en estos años.

- *Liessel Medina*

Agradezco, primeramente, a Dios que ha sido guía principal en cada uno de los procesos de mi vida y base fundamental como fortaleza de seguir adelante.

Además, a mi familia, amigos y mascotas por ser apoyo incondicional e indispensable en el desarrollo de mi formación, por ser estímulo constante de motivación a lo largo de mi vida y proceso académico.

Personas que, en estos cinco años de estudio universitario han sido de gran aporte y fueron compañía en el proceso, al personal académico y profesionales externos que han enriquecido mi crecimiento personal y formación profesional con apoyo y compañía, que de una u otra forma fueron importantes en la realización del presente proyecto.

## DEDICATORIA

- *Marianna Morales*

A mi amada familia, en especial a mi padre José Morales Solano, mi madre Kirsten León Moya, mis abuelitas Emilia Moya Arguedas y Cecilia Solano Arce, mi tía Katherine León Moya y mi primo Sebastián Ariñez León, por ser la luz que guía mi camino hacia mis mayores sueños, por darme la oportunidad de vivir y celebrar este logro vuestro.

Al Ing. Anthony Marín Bolívar, por su incondicional apoyo y sus palabras de aliento en todo momento.

- *Liessel Medina*

A mis padres, Antonio Medina y Elsie Cisnero que me han formado con buenos valores, sentimientos y metas claras, son la base fundamental de mi desarrollo académico y personal en momentos difíciles desde el amor, comprensión y dedicación en su labor.

## RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto se realizó un estudio de la calidad y el riesgo de contaminación del agua en 10 ASADAS de los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Cañas, Guanacaste, de las cuales, se seleccionaron 3 ASADAS que presentaban condiciones particulares asociadas a factores que afectaban su calidad, esto con el fin de realizar un estudio a mayor profundidad y ofrecer alternativas que pudieran mejorar su condición. para ser analizadas a mayor profundidad. Enmarcado en estos esfuerzos, el objetivo general del proyecto fue Evaluar el estado de la calidad y el riesgo de contaminación del agua, como estrategia para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico en tres Asociaciones de Acueductos Rurales (ASADAS) de Nicoya, Santa Cruz y Cañas, Guanacaste, Costa Rica; estos dedujeron objetivos específicos en donde se determinó la calidad del agua para consumo humano en diez ASADAS, se estimó el riesgo de contaminación en los componentes del sistema de distribución de los acueductos utilizando la metodología de SERSA y se propusieron estrategias de mejora y recomendaciones generales para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico. En las ASADAS de las comunidades de San Juan de Cañas, El Millal y Cañal Pozo de Agua, Nicoya, se llevaron a cabo talleres de capacitación y fortalecimiento de capacidades donde también fue posible recabar información sobre la calidad del agua y su disponibilidad, se realizaron visitas de campo para la toma de muestras que después fueron llevadas a los laboratorios del HIDROCEC para el correspondiente análisis. También, se realizaron inspecciones sobre los sistemas utilizados por las asociaciones; reflejando entre los resultados, la presencia de aluminio en el agua para consumo en la comunidad de San Juan de Cañas, la falta de un sistema de cloración en la comunidad de El Millal, Nicoya y las necesidades de medición de cloro en la red, evidenciando un sistema obsoleto de desinfección en la red de la ASADA de Cañal de Pozo de Agua. Los resultados que se obtuvieron a partir de este estudio son utilizados para elaborar estrategias y recomendaciones que puedan mejorar las condiciones expuestas. Finalmente, el estudio reveló que, a pesar de problemas comunes en la mayoría de las ASADAS, incluyendo alteraciones en la conductividad, se identificaron riesgos significativos en algunas, particularmente en Cañas y Nicoya, debido a niveles elevados de coliformes fecales y Escherichia Coli. Esto resalta la necesidad crítica de monitorear y mejorar la calidad del agua continuamente. La adopción del instrumento SERSA fue clave para una evaluación precisa de los riesgos sanitarios, mejorando la salud pública y la gestión del agua. El proyecto enfatizó la importancia de la inversión en la mejora de la infraestructura y la educación en las ASADAS, esenciales para la gestión eficaz del agua y el desarrollo sostenible de las comunidades.

## EJECUIVE SUMMARY

In this project, a study was conducted on the quality and risk of water contamination in 10 ASADAS (Rural Aqueduct Associations) in the cantons of Nicoya, Santa Cruz, and Cañas, Guanacaste. Out of these, 3 ASADAS were selected that exhibited conditions associated with factors affecting their water quality. This was done to conduct a more in-depth study and offer alternatives for improving their condition. Within the scope of these efforts, the general objective of the project was to evaluate the state of water quality and contamination risk as a strategy for strengthening the management of water resources in three ASADAS of Nicoya, Santa Cruz, and Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Specific objectives were deduced, including determining the water quality for human consumption in ten ASADAS, estimating the risk of contamination in the components of the distribution system using the SERSA methodology, and proposing improvement strategies and general recommendations for the management of water resources. In the ASADAS of the communities of San Juan de Cañas, El Millal, and Cañal Pozo de Agua in Nicoya, training workshops and capacity building were conducted, where information on water quality and availability was also gathered. Field visits were made for sampling, which were later taken to the HIDROCEC laboratories for analysis. Inspections were also carried out on the systems used by the associations; among the findings were the presence of aluminum in the drinking water in the community of San Juan de Cañas, the lack of a chlorination system in El Millal, Nicoya, and the need for chlorine measurement in the network, indicating an obsolete disinfection system in the ASADA of Cañal de Pozo de Agua. The results obtained from this study are used to develop strategies and recommendations to improve the exposed conditions. Finally, the study revealed that, despite common problems in most of the ASADAS, including alterations in conductivity, significant risks were identified in some, particularly in Cañas and Nicoya, due to elevated levels of fecal coliforms and Escherichia Coli. This highlights the critical need to continuously monitor and improve water quality. The adoption of the SERSA instrument was key for a precise evaluation of health risks, improving public health and water management. The project emphasized the importance of investing in infrastructure improvement and education in the ASADAS, essential for effective water management and the sustainable development of the communities.

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>EJECUIVE SUMMARY .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>XVI</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Declaración del problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Justificación del proyecto.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>6</b>
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
<b>1.5 Alcances y Limitaciones .....</b>	<b>7</b>
1.5.1 Alcances .....	7
1.5.2 Limitaciones .....	7
<b>1.6 Resumen del Reporte.....</b>	<b>8</b>
<b>1. CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Caracterización de las cuencas hidrográficas involucradas .....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Características biofísicas similares entre sí.....	9
2.1.2 Características de la cuenca del río Tempisque.....	10
2.1.3 Características de la cuenca del río Bebedero .....	10
2.1.4 Características de la cuenca Península de Nicoya .....	11
<b>2.2 Antecedentes de ASADAS en la zona de estudio .....</b>	<b>13</b>
2.2.1 Federaciones Ligas Unidas (FLUS).....	13
2.2.2 Antecedentes de las ASADAS sujetas a estudio .....	15

➤ ASADA San Juan de Cañas .....	15
➤ ASADAS de Nicoya: Cañal Pozo de Agua, Nicoya y El Millal .....	17
➤ ASADA Cañal Pozo de Agua .....	17
• ASADA El Millal .....	21
<b>2.3 Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC) .....</b>	<b>24</b>
<b>2. CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Potabilización de agua en un acueducto .....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Definición y tipos de acueducto .....	26
➤ Tipos de acueductos.....	26
3.1.2 Fuentes de abastecimiento de agua potable.....	27
3.1.3 Obras hidráulicas de captación/conducción .....	27
➤ Almacenamiento de agua potable.....	27
➤ Red de distribución para agua potable.....	28
<b>3.2 Calidad del agua en Costa Rica .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 Normativas .....	30
➤ Reglamento para la Calidad del Agua Potable:.....	30
➤ Ley General de Agua Potable:.....	31
➤ Ley de Aguas.....	32
3.2.2 Análisis de medición.....	33
3.2.3 Metodología del IRCACH .....	34
<b>3.3 Caso de las ASADAS en Costa Rica .....</b>	<b>34</b>
3.3.1 Gestión de Riesgo en ASADAS .....	35
3.3.2 Gestión Comunitaria para el fortalecimiento de la Gobernanza .....	36
3.3.3 Desarrollo de capacidades en las ASADAS.....	37
3.3.4 Propuestas de mejora .....	38
<b>4. CAPÍTULO IV. ESTUDIO PREFACTIBILIDAD .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Introducción.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Estudio Técnico .....</b>	<b>39</b>
4.2.1 Proceso de Producción.....	39
4.2.3 Localización .....	40
<b>4.3 Estudio Legal .....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Estudio Ambiental.....</b>	<b>42</b>

<b>4.5 Estudio Social.....</b>	<b>43</b>
<b>4.6 Estudio financiero.....</b>	<b>43</b>
<b>4.7 Conclusión.....</b>	<b>47</b>
<b>5. CAPÍTULO V. METODOLOGÍA.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1 Descripción general de la metodología.....</b>	<b>48</b>
5.1.1 Tipo de Investigación.....	48
5.1.2 Población y muestra de estudio .....	49
5.1.3 Proceso investigativo .....	50
<b>5.2 Métodos y herramientas seleccionadas .....</b>	<b>51</b>
5.2.1 Para obtención de datos.....	51
5.2.2 Para el procesamiento e interpretación de datos.....	53
5.2.3 Para la validación de datos .....	55
<b>5.3 Otros Aspectos a considerar .....</b>	<b>56</b>
5.3.1 Presupuesto.....	57
5.3.2 Cronograma de actividades y Ruta Crítica.....	58
5.3.3 Ética en la Investigación .....	60
<b>5.4 Conclusión.....</b>	<b>60</b>
<b>6. CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>61</b>
<b>6.1. Introducción.....</b>	<b>61</b>
<b>6.2 Análisis de Resultados .....</b>	<b>61</b>
6.2.1 <i>Objetivo 1: Calidad del agua para consumo humano.</i> .....	61
6.2.2 <i>Aplicación de la herramienta SERSA en las 3 ASADAS seleccionadas.</i> .....	71
6.2.3 <i>Estrategias de mejora para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico.</i> .....	78
<b>6.3 Discusión .....</b>	<b>86</b>
6.3.1 <i>Principales Hallazgos</i> .....	86
➤ <i>Calidad del agua para consumo humano.</i> .....	86
➤ <i>Aplicación de la herramienta SERSA en las 3 ASADAS seleccionadas.</i> .....	87
➤ <i>Estrategias de mejora para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico.</i> .....	87
6.3.2 <i>De acuerdo con los objetivos de estudio</i> .....	88
➤ <i>Objetivo 1: Calidad del agua para consumo humano.</i> .....	88
➤ <i>Objetivo 2: Aplicación de la herramienta SERSA en las 3 ASADAS seleccionadas.</i> .....	89
➤ <i>Objetivo 3: Estrategias de mejora para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico.</i> .....	89

6.3.3	<i>Conforme a la metodología planteada</i> .....	90
<b>6.4</b>	<b>Conclusión</b> .....	<b>90</b>
<b>7.</b>	<b>CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>92</b>
<b>7.1.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>92</b>
7.1.1.	Generalidades: .....	92
7.1.2.	Basadas en hallazgos: .....	93
7.1.3.	Para las ASADAS:.....	94
<b>7.2.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>96</b>
7.2.1	Generalidades: .....	96
7.2.2	Basadas en los hallazgos: .....	97
7.2.3	Para las ASADAS:.....	97
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>100</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>108</b>

## ÍNICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....</b>	<b>1</b>
<b>Figura 2.1. Ubicación geográfica de las Cuencas Hidrográficas y las ASADAS involucradas en el Proyecto.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 2.2. Mapa de ubicación de los 3 cantones a trabajar con sus respectivas ASADAS FLUS seleccionadas.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2.3. Tanque de almacenamiento de la ASADA San Juan, Cañas, Guanacaste.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2.4. Personas miembros de la ASADA de Cañal Pozo de Agua, Nicoya, Costa Rica. ....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2.5. Sistema de programación de los tanques.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2.6. Sistema de cloración en tanques.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2.7. Sistema donde se da la cloración .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2.8. Tanque de almacenamiento, ASADA Cañal Pozo de Agua en Nicoya. ....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 2.9. Pozo de la ASADA El Millal. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2.10. Tanque de almacenamiento de la ASADA El Millal. ....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2.11. Naciente en tierra de la ASADA El Millal.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3.1. Red de distribución ramificada .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 3.2. Red de distribución reticulada.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 4.1 Distribución de financiamiento de las partes involucradas. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 5.1. Flujograma de metodología para la ejecución del estudio de la calidad y riesgo del recurso hídrico.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 5.2. Representantes de algunas ASADAS FLUS, en taller “Conociendo la calidad de nuestra agua”, llevado a cabo en febrero, 2023.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 5.3. Cronograma de actividades del proyecto y Ruta Crítica.....</b>	<b>59</b>

**Figura 6.1. Toma de muestras en el tanque de la ASADA de Cañal Pozo de Agua (24 de mayo, 2023).....63**

**Figura 6.2. Toma de muestras en la red de la ASADA Cañal Pozo de Agua (24 de mayo, 2023). .....64**

**Figura 6.3. Muestreo realizado en la ASADA El Millal (27 de junio, 2023). .....66**

**Figura 6.4. Toma de muestra en la naciente de la ASADA San Juan de Cañas (25 de octubre, 2023).....68**

**Figura 6.5. Problema de rebalse del tanque de la ASADA San Juan de Cañas (25 de octubre, 2023).....68**

**Figura 6.6. Recolecta de muestras del tanque de la ASADA de San Juan, Cañas (25 de octubre 2023).....69**

**Figura 6.7. Interacción con el Msc. Ing. Maynor Ruiz (a la derecha) en la ASADA de San Juan, Cañas (25 de octubre 2023). .....70**

**Figura 6.7. Pozo de la ASADA El Millal, lugar donde se realizó la instalación del sistema de cloración dentro del acueducto (23 de agosto, 2023). .....79**

**Figura 6.8. Prima parte de los componentes del sistema de dosificación de cloro instalado en la ASADA El Millal (23 de agosto, 2023). .....79**

**Figura 6.9. Segunda parte de los componentes del sistema de dosificación de cloro instalado en la ASADA El Millal (23 de agosto, 2023). .....80**

**Figura 6.10. Donación de equipo para medición del cloro en la ASADA de El Millal (25 de septiembre, 2023).....81**

**Figura 6.11. Curva de cloro de la ASADA San Juan de Cañas para la determinación del comportamiento de la pastilla de cloro con el agua de la naciente (10 de noviembre, 2023). .....83**

**Figura 6.12. Ajuste sugerido en el diseño del sistema de cloración actual de la ASADA San Juan de Cañas.....85**

<b>Figura 6.13. Balance Hídrico de la zona donde se ubica la ASADA de San Juan en Cañas, Guanacaste.....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 5.1. IRCACH en ASADAS de Liga Comunal del Agua y ACBT.....</b>	<b>108</b>
<b>Anexo 6.8. Evidencia de aplicación de SERSA para la evaluación de riesgo en la ASADA Cañal Pozo de Agua, parte 1. ....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo 6.9. Evidencia de aplicación de SERSA para la evaluación de riesgo en la ASADA Cañal Pozo de Agua, parte 2. ....</b>	<b>123</b>
<b>Anexo 6.10. Infografía sobre la importancia del monitoreo de la calidad del agua en Costa Rica. ....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4.1 Marco legal del proyecto.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 4.2 Presupuesto general para PFG en asociaciones de acueductos rurales ubicados en Nicoya, Santa Cruz y Cañas. ....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 5.1. Cronograma de visitas a las ASADAS.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 5.2. Niveles de riesgo en la calidad del agua para consumo humano, utilizado por el AyA para las ASADAS. ....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 5.3 Clasificación de riesgos según la cantidad de deficiencias observadas en las estructuras.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 5.4. Distribución del presupuesto por etapas del proyecto. ....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 6.1. Resultados de la calidad del agua de las 10 ASADAS seleccionadas según resultados del AyA y la UNA (noviembre, 2023).....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 6.2 Resultados de la calidad del agua de la ASADA Cañal Pozo de Agua. ....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 6.3 Resultados de la calidad del agua de la ASADA El Millal. ....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 6.4 Resultados de la calidad del agua de la ASADA San Juan de Cañas ....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 6.5. Identificación de factores de riesgo de la naciente o manantial en las ASADA El Millal y San Juan.....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 6.6. Identificación de factores de riesgo del pozo aprovechado en las ASADAS El Millal y Cañal de Pozo de Agua. ....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 6.7. Identificación de factores de riesgo del tanque de almacenamiento de la A SADAS seleccionadas. ....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 6.8. Identificación de factores de riesgo del sistema de distribución de la ASADAS seleccionadas. ....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 6.9. Resumen de la clasificación del riesgo según la deficiencia en las ASADAS seleccionadas. ....</b>	<b>77</b>

<b>Tabla 6.10. Resumen de las problemáticas detectadas en cada una de las 3 ASADAS seleccionadas.....</b>	<b>77</b>
<b>Anexos 6.1. Resultados de la calidad del agua de la ASADA San Pedro. ....</b>	<b>109</b>
<b>Anexos 6.2. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Iguanita De Mansión. ....</b>	<b>111</b>
<b>Anexos 6.3. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Matambuguito. ....</b>	<b>113</b>
<b>Anexos 6.4. Resultados de la calidad del agua de la ASADA San Fernando De Sámara. ...</b>	<b>115</b>
<b>Anexos 6.5. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Pita Rayada. ....</b>	<b>117</b>
<b>Anexos 6.6. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Barrio Guanacaste.....</b>	<b>119</b>
<b>Anexo 6.7. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Esperanza Sur de Nosara. ....</b>	<b>121</b>

## ABREVIATURAS

- **AGUASANA:** Asociación Específica para el Saneamiento y Protección de los Mantos Acuíferos de Guanacaste
- **ASADAS:** Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales
- **ARESEP:** Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
- **CaCO<sub>3</sub>:** Carbonato de Calcio
- **HIDROCEC:** Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe
- **FLUS Chorotega:** Federaciones, Ligas y Uniones de la Región Chorotega
- **IRCACH:** Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano
- **AyA:** Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- **OMS:** Organización Mundial de la Salud
- **SCIJ:** Sistema Costarricense de Información Jurídica
- **SENARA:** Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
- **SERSA:** Sistema de Evaluación de Riesgos Sanitarios en el Agua
- **UNA:** Universidad Nacional de Costa Rica.

## GLOSARIO

- ***Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales [ASADAS]:*** Son aquellas Asociaciones que surgen entre personas, que ponen en común sus conocimientos para cooperar en la administración, mantenimiento y desarrollo de un acueducto comunal, convirtiéndose en una organización privada prestataria del servicio público.
- ***Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe [HIDROCEC]:*** Es un centro que busca contribuir a la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) en Centroamérica y el Caribe, mediante la excelencia en la investigación, la extensión, la docencia y la vinculación con todas y todos los actores involucrados.
- ***Federaciones, Ligas y Uniones de la Región Chorotega [FLUS Chorotega]:*** Son aquellas que surgen como escenario de trabajo articulado con grupos organizados de las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales en Costa Rica. Pueden ser, además, plataformas para abordar la adaptación al cambio climático y monitorear las fuentes de agua.
- ***Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano [IRCACH]:*** Surge a raíz de crear un instrumento que permita relacionar el grado de riesgo para la salud por el consumo de agua y la posibilidad de rechazo de ésta por el consumidor.

# 1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción

El agua es fundamental para todos los sectores sociales, económicos, de igual manera como base de aquellos recursos naturales de la cual es dependiente el mundo en general. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el 2015, aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad que ha ayudado a que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el fin de mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás (Suárez *et al.*, 2019). Esta Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta combate con el cambio climático, entre otros. En el caso del presente proyecto, se hará mayor énfasis al objetivo 6, el cual lleva como título “Agua limpia y saneamiento”, el cual busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (ONU, 2023).

*Figura 1.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible.*



Fuente: Pérez, 2018.

En Costa Rica, el manejo del agua es un tema importante debido a su biodiversidad y al hecho de que el país depende en gran medida de sus recursos hídricos. El principal ente rector del agua en este país es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), que es responsable de garantizar el

suministro de agua potable en las zonas urbanas del país. Además, la Dirección de Agua del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), también juega un papel importante en la gestión de los recursos hídricos, especialmente en lo que respecta a la conservación del agua y la prevención de la contaminación.

Por otro lado, en áreas rurales, la administración del agua a menudo es responsabilidad de las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS). El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (AyA) (2023), las define como aquellas que surgen entre personas, que ponen en común sus conocimientos para cooperar en la administración, mantenimiento y desarrollo de un acueducto comunal, convirtiéndose en una organización privada prestataria del servicio público.

Las Federaciones, Ligas y Uniones de la Región Chorotega (FLUS Chorotega) surgen como escenario de trabajo articulado con grupos organizados de las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales en Costa Rica. Pueden ser, además, plataformas para abordar la adaptación al cambio climático y monitorear las fuentes de agua, con el fin de generar información y una mejor comprensión tanto de las amenazas como de los riesgos a los cuales están expuestas (Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe, 2023).

Entre el 10% y 15% de los acueductos rurales presentan vulnerabilidades altas o muy altas por la poca capacidad operativa que poseen para brindar un correcto mantenimiento, disminuyendo la seguridad hídrica para las poblaciones (ARESEP, 2023). La Gestión Integral del Recurso Hídrico es aquel enfoque que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el objetivo de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Por ello, cabe resaltar que la participación ciudadana en la gestión del recurso hídrico, es de gran importancia en la importancia de los recursos y marcos socioculturales que les permiten comprender su entorno e interactuar con el mismo (Casas, 2015).

El Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HICROCEC-UNA), participa activamente en el mecanismo y proceso de actualización de la Política Hídrica Nacional y el Plan Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos. Desde el 2015-2021 HIDROCEC mediante los fondos de Regionalización, ha desarrollado en diferentes fases proyectos denominados: Fortalecimiento de las capacidades de ASADAS mediante la capacitación e implementación de mejores prácticas en la gestión comunitaria del agua y, el proyecto titulado Tratamiento, Gestión y Reúso de los Lodos Sépticos para el

Fortalecimiento de las ASADAS y las Comunidades de la Región Chorotega. Además, es miembro fundador de la Asociación Específica para el Saneamiento y Protección de los Mantos Acuíferos de Guanacaste (AGUASANA), donde también gestiona proyectos para el saneamiento de ASADAS guanacastecas (Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe, 2023).

El Decreto Ejecutivo No 38924-S de Costa Rica introduce un nuevo “Reglamento para la Calidad del Agua Potable”, que se centra en mejorar la salud pública y el bienestar ciudadano. Este decreto busca establecer límites máximos permitidos para parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua potable para garantizar su seguridad. Esto aplica a todos los operadores de agua potable, tanto públicos como privados, en todo el país. Además, se requiere un Permiso Sanitario de Funcionamiento y se establecen cuatro niveles de control de calidad. El Nivel 1 implica una inspección sanitaria y el análisis de varios parámetros básicos. El Nivel 2 y 3 expanden el análisis a varios elementos y compuestos químicos específicos (SCIJ, 2023).

A raíz de lo anterior, nace el Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano, el cual consiste en un sistema de medición o evaluación desarrollado para evaluar el riesgo potencial asociado con la calidad del agua potable. Dicho Índice suele utilizar una serie de parámetros para determinar la calidad del agua, incluyendo la presencia de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos, la turbidez del agua, el pH y otros factores que pueden influir en la seguridad del agua para consumo humano, de manera que al momento de establecer el denominado IRCACH, se crea una relación entre el grado de riesgo que se tiene al consumir el agua y el rechazo que se manifiesta por parte del consumidor, a partir del cumplimiento de los parámetros (AyA, 2023).

## **1.2 Declaración del problema**

A pesar de que Costa Rica tiene uno de los índices de cobertura del servicio de agua potable más altos (casas con acceso al agua por tuberías) en las zonas rurales de América Latina, el acceso a agua segura y a servicios de saneamiento continúa siendo excesivamente bajo en la mayoría de las áreas rurales (Suárez *et al.*, 2019). La cobertura promedio del servicio de agua potable intradomiciliaria es de un 88.7% en Guanacaste. Esta alta cobertura se debe a un 98.2%, a nivel nacional, a la labor del ente gubernamental, el AyA; en un 25.5% en el ámbito nacional, al trabajo de las ASADAS y, en un 25% a acueductos municipales (AyA, 2016).

En el 2010, un estudio realizado en 1067 ASADAS por el Laboratorio Nacional de Aguas determinó que, solamente 602 ofrecen agua potable (56.4%) y 465 no potable (43.6%). Lo anterior refleja que la calidad del agua se distribuye de manera desigual en el país; ejemplo, en San José, el 93.2% de las personas cuentan con agua potable; en cambio, Guanacaste únicamente cuenta con un 74.8% de la comunidad con este recurso de manera potable (Suárez *et al.*, 2019).

En la región Chorotega, un problema característico es la dureza en el agua, la cual está relacionada principalmente con el calcio y, en un menor grado, el magnesio disuelto en ella. Generalmente, se muestra por la cantidad equivalente de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se conceptualiza el agua blanda aquella que presenta concentraciones inferiores a 60 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , medianamente dura entre los 61 y 120 mg/L, dura entre 121 y 180 mg/L y muy dura aquella con valores que superen los 180 mg/L. El calcio se desprende de las rocas y es por lo que se detecta prácticamente en todas las aguas (Mora y Alfaro, 1999).

Según los parámetros que se logren analizar una vez sean recolectadas las respectivas muestras en cada uno de los puntos a estudiar, se podrán encontrar en ellas diversos paradigmas que podrán ser tomados como señales de alerta en cada una de las comunidades en estudio. Por ejemplo, en una de estas muestras puede estar presente una alta concentración de metales pesados, lo cual puede generar no solo la corrosión o incrustación en las tuberías del acueducto, sino también esta problemática también conocida como “aguas duras”, puede generar problemas en la salud de sus consumidores, tales como la presencia de problemas cardiacos o cálculos renales. De esta visión es que nace la importancia del adecuado análisis de calidad de las aguas y la acción temprana por parte de las comunidades que se han visto afectadas con alguna problemática actual.

En este proyecto se eligieron tres casos de estudio ubicados en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Cañas, ubicados en la Provincia de Guanacaste, debido a que en estos se han registrado datos de calidad de agua que presentan mayores índices de riesgo de consumo (IRCACH), principalmente asociados con dureza del agua, altas conductividades eléctricas, pH ácido y altos contenidos de bacterias por falta de un sistema de desinfección adecuado.

### **1.3 Justificación del proyecto**

La problemática que se busca solventar en el presente proyecto, la cual hace referencia al fortalecimiento de la gestión participativa del recurso hídrico. Esto último es un enfoque que involucra a

múltiples actores, incluidos gobiernos y comunidades locales, organizaciones no gubernamentales y otros interesados, en la toma de decisiones y la implementación de estrategias para el uso sostenible y la conservación de los recursos hídricos. Este enfoque reconoce que la gestión efectiva y equitativa del agua requiere la inclusión de diversas perspectivas y la consideración de las necesidades y prioridades de todos los usuarios del agua (Global Water Partnership, 2000)

Por lo que, se considerarán las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) de los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Cañas, Guanacaste, del proyecto “Fortalecimiento de la gestión del agua de las Federaciones, Liga y Uniones de la Región Chorotega (FLUS Chorotega) para el mejoramiento de la gobernanza del agua en la región” desarrollado por el HIDROCEC, que, dado al estudio realizado, bajo la metodología del IRCACH del Laboratorio Nacional de Aguas (ARESEP, 2023), donde se analizan los resultados de los análisis N1, N2 y N3 registrados en informes suministrados por la ORAC Chorotega y realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas del AYA, presentaron indicadores importantes de contaminación, clasificando a algunas ASADAS con base en su calidad del agua (valores máximos admisibles el reglamento para la calidad del agua potable N° 38924-S) en: “Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad; no apta para ingesta; rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas; y No apta para ingesta”.

Las ASADAS, por su parte, son aquellas que surgen entre personas que ponen en común sus conocimientos para cooperar en la administración, mantenimiento y desarrollo de un acueducto comunal, convirtiéndose en una organización privada prestataria del servicio público. Existen datos que indican que, entre el 10% y 15% de los acueductos rurales, presentan vulnerabilidades altas o muy altas, asociadas a la poca capacidad operativa para brindar un mantenimiento (Casas, 2015).

Dado a lo anterior, se considera los presentes sectores como zona de estudio, ya que en estas asociaciones presentan debilidades en la adecuada y completa gestión participativa del recurso hídrico. Esto se logra visualizar por medio del resultado de diversos factores, como la falta de comunicación entre los actores, la ausencia de mecanismos adecuados para la toma de decisiones, la desigualdad en la distribución del poder y la falta de capacidad técnica y financiera (Biswas, 2004).

La falta de una visión compartida y la colaboración entre los diferentes actores puede dificultar la implementación de políticas y estrategias efectivas para la gestión del agua. Además, la falta de acceso a información confiable y oportuna sobre los recursos hídricos o su inadecuada interpretación de los ensayos

de calidad que se realizan, de manera que pueda limitar la capacidad de los actores para tomar decisiones informadas y equitativas (Biswas, 2004).

Al desarrollar los tres objetivos específicos, se busca analizar la calidad del agua para consumo humano en ASADAS miembros de las FLUS Chorotega que hayan registrado mayor Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH), a través de muestreos y análisis fisicoquímicos y microbiológicos en las fuentes de agua, seguido de la elaboración de un análisis de riesgos mediante mapas donde se visualicen los mismos a través de la metodología del SERSA del Ministerio de Salud y, finalmente, la propuesta de recomendaciones para el mejoramiento de la gestión participativa del recurso hídrico a través de la generación de un informe de recomendaciones para las ASADAS miembros de las FLUS Chorotega.

Para todo ello se realizaron diversas visitas a las ASADAS seleccionadas, para el monitoreo de sus aguas y su gestionamiento, en búsqueda de una buena propuesta que logre solventar la falta de una buena gestión comunitaria, requerida para velar por el adecuado funcionamiento de cada asociación.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

- Evaluar el estado de la calidad y el riesgo de contaminación del agua, como estrategia para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico en tres Asociaciones de Acueductos Rurales de Nicoya, Santa Cruz y Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Determinar la calidad del agua para consumo humano en diez ASADAS miembros de las FLUS Chorotega según el índice de IRCACH, a través de muestreos y análisis fisicoquímicos y microbiológicos en las fuentes de agua.
- Estimar el riesgo de contaminación en los componentes del sistema de distribución de los acueductos de las ASADAS miembros de las FLUS Chorotega que reporten una calidad de agua más crítica con respecto a los límites establecidos por el Reglamento para la Calidad de agua potable (No 38924-S), a través de la metodología de SERSA.
- Proponer estrategias de mejora para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico en las ASADAS miembros de las FLUS Chorotega con mayor índice de riesgo de contaminación, y recomendaciones generales para el resto de las ASADAS participantes.

## **1.5 Alcances y Limitaciones**

### ***1.5.1 Alcances***

1. Identificar la calidad del agua en cada uno de los componentes del sistema del acueducto de las ASADAS seleccionadas, para identificar de dónde se presenta la problemática a resolver.
2. Mediante los análisis de riesgo, se pretende determinar dónde está el origen del deterioro de la calidad, en los diferentes componentes del acueducto.
3. Lograr el fortalecimiento de la gestión dentro de las ASADAS, mediante diversas recomendaciones que contribuyan en la mejora de la calidad del agua para el consumo humano.  
Desarrollar estrategias de mejora adaptadas a las necesidades específicas de las ASADAS con el mayor índice de riesgo de contaminación.

### ***1.5.2 Limitaciones***

1. Dificultad de las personas miembros de las ASADAS FLUS Chorotega seleccionadas para participar en las visitas realizadas, dado a sus actividades personales, sociales y laborales.
2. Poca Información técnica disponible para la toma de decisiones.
3. Falta de protocolos operativos, como por ejemplo el caso de la cloración de las ASADAS, lo cual puede ser un reflejo de la falta de manuales operativos claramente documentados y conocidos dentro de los encargados de la operación y mantenimiento de las ASADAS.
4. Reprogramación de giras de colecta de información, así como muestras de agua, dado a la dependencia de la disponibilidad de transporte y personal autorizado.

## **1.6 Resumen del Reporte**

En el presente documento de Proyecto Final de Graduación se presentan 7 capítulos, según lo establecido por Evans et al. (2014): Capítulo I. Introducción, donde se presenta una breve descripción de la temática que será abarcada a lo largo del presente escrito; así como también, se presenta el apartado de delimitación del problema, la justificación del por qué se pretende realizar este proyecto, un objetivo general y 3 objetivos específicos. Capítulo II. Antecedentes, donde se procura detallar el área de estudio contemplada para este estudio realizado, la cual incluye una muestra de ASADAS miembros de la FLUS Chorotega, en Guanacaste, seleccionadas según los resultados de la metodología del índice de riesgo IRCACH y su correspondiente descripción. Capítulo III. Marco Teórico, se incluyen conceptos teóricos relevantes que serán la base para la interpretación de resultados que se obtengan en este estudio. Capítulo IV. Prefactibilidad, los cuales evidenciarán la viabilidad o no del proyecto. Capítulo V. Metodología, donde se describen los procedimientos para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos propuestos para el desarrollo del proyecto. Capítulos VI y VII. Resultados, con su respectivo análisis y discusión, para lograr finalmente exponer las conclusiones alcanzadas y recomendaciones para cada caso. Al final del documento se encontrarán las referencias bibliográficas y anexos necesarios en la elaboración de este proyecto.

## **1. CAPÍTULO II. ANTECEDENTES**

En el presente capítulo se desarrollan aspectos relacionados con el área de estudio, abordando características biofísicas de las cuencas hidrográficas tales como aspectos hidrológicos, morfométricos, climáticos, entre otras; con el fin de contextualizar dónde se desarrolla el proyecto, es decir, se consideran antecedentes de la zona de estudio, de modo que se genere mayor comprensión sobre el tema a tratar, además de contemplar la explicación de las Federaciones, Ligas Unión de la Región Chorotega como asociación que las integra.

En el estudio se tomaron en consideración las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) de los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Cañas, Guanacaste, del proyecto (FLUS) que, dado al estudio realizado por el HIDROCEC, bajo la metodología del IRCACH del Laboratorio Nacional de Aguas (ARESEP, 2023), en resultados de análisis N1, N2 y N3 registrados en informes suministrados por la ORAC Chorotega y realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas del AYA, presentaron indicadores importantes de contaminación, resultado en calidad de agua “Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad; no apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas y no apta para ingesta”, según lo que indica como valores máximos admisibles el reglamento para la calidad del agua potable (N° 38924-S).

### **2.1 Caracterización de las cuencas hidrográficas involucradas**

A continuación, se realizará una breve mención de los antecedentes más relevantes que poseen las cuencas hidrográficas que se han visto involucradas dentro del área de estudio seleccionada para el presente Proyecto Final de Graduación. Finalmente se expondrán diversas características que poseen en común, así como también, aquellas que las hace diferentes una de otras. Cabe recalcar que se habla dentro de la región Chorotega, ubicada al norte del país centroamericano, Costa Rica.

#### ***2.1.1 Características biofísicas similares entre sí***

El desarrollo del proyecto se sitúa dentro de la cuenca del río Tempisque, la cual comprende la subcuenca del río Bebedero, y la cuenca de los ríos de la Península de Nicoya. Estas cuencas son de gran relevancia para el país con el aporte de los recursos naturales que contienen y son aprovechados para el desarrollo de la región, de manera que se dinamiza la economía a partir de actividades empleadas de las cuales son directamente indispensables de disponibilidad y distribución del recurso hídrico en la zona. Las

cuenca del río Tempisque, río Bebedero y ríos de la Península de Nicoya, se encuentran ubicadas en la Región del Pacífico Norte que presenta según su clima dos épocas definidas, una época seca que tiene estancia en los meses de diciembre hasta marzo, donde el mes de abril funciona como periodo de transición de una época a otra, por lo que desde el mes de mayo hasta noviembre se tiene el periodo de precipitación (Instituto Meteorológico Nacional, 2021). Por consiguiente, se tiene que las precipitaciones en la parte media y baja de la cuenca donde se selecciona el estudio ronda en promedio anual 1500mm hasta 2000mm que pueden ser variados por la presencia de fenómenos que alteran su valor, ya sea con disminución o aumento dependiendo específicamente de la influencia determinada que también tiene relación con la temperatura media anual que presenta en la región con valores de 26°C a 28°C.

### ***2.1.2 Características de la cuenca del río Tempisque***

Se identifican tres poblados diferentes donde se emplea el estudio en ASADAS., Uno de ellos en el cantón de Santa Cruz y otro se encuentra en el cantón de Nicoya, ambos pertenecen a la cuenca del río Tempisque, la cual cuenta con un área aproximada de 3.382 km<sup>2</sup> que corresponde a más del 50% de la provincia de Guanacaste, con perímetro correspondiente a 365,41km integrando cantones como La Cruz, Upala, Liberia, Cañas, Carrillo, Santa Cruz, Nicoya y Bagaces por los cuales atraviesa 142 km de longitud de cauce el río Tempisque, recoge las aguas que provienen de la vertiente del Golfo de Nicoya. Además, dentro de la cuenca se presentan acuíferos con caudales promedios de 20 l/s-100 l/s el más destacado, y que son aprovechados para diversas actividades socio productivas como la producción de arroz, caña de azúcar, pasto, melón y sandía, además para el turismo en las zonas costeras y la ganadería extensiva por sus amplias llanuras, así como al tipo de suelo. Donde se destacan los vertisoles, entisoles, alfisoles, incepsisoles y molisoles, característicos de ser ricos en minerales y muy fértiles para las actividades desarrolladas (IMN, 2011).

### ***2.1.3 Características de la cuenca del río Bebedero***

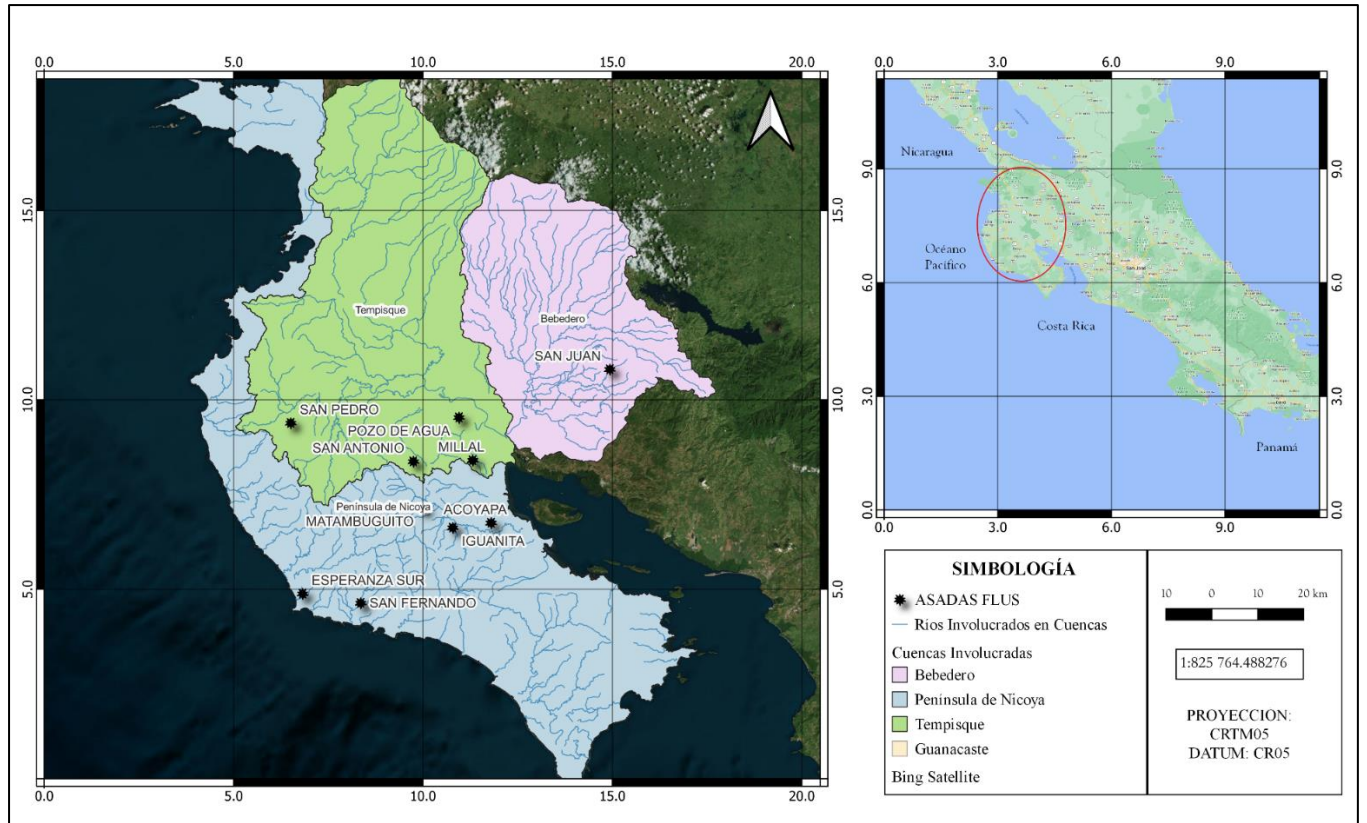
Por otro lado, el tercer punto de estudio está ubicado en el cantón de Cañas que se encuentra íntegro en la cuenca del río Bebedero, la cual cuenta con una extensión aproximada de 2068 km<sup>2</sup> y un perímetro de 652 km que son conformados por cantones como Cañas, Abangares, Puntarenas, Upala, Guatuso, Bagaces y Tilarán; por dicha cuenca recorre el río principal con una longitud de cauce de 72 km que a lo largo toma diferentes afluentes que posteriormente es efluente del río Tempisque para ser desembocado en el Golfo de Nicoya. La cuenca además, cuenta con la presencia de diversos tipos de suelo destacables que son favorables para que el desarrollo de actividades sea idónea, suelos como alfisol, entisoles, molisoles, inceptisoles y

vertisoles, que son algunos similares a la cuenca del río Tempisque, por lo que, en la zona se desarrollan actividades económicas con el uso del recurso hídrico a fines como el riego de cultivos siendo el principal, agropecuario y generación de electricidad, además del consumo humano y turismo en las partes altas y montañosas de la cuenca (IMN, 2011).

#### ***2.1.4 Características de la cuenca Península de Nicoya***

Por último, se estudian para el desarrollo del presente proyecto ASADAS que se ubican dentro de la cuenca Península de Nicoya, cuenca que se caracteriza por tener un área de aproximadamente 4.160 km<sup>2</sup> el cual se dividen en 8 cantones, siendo estos Nicoya, Liberia, La Cruz, Carrillo, Santa Cruz, Hojancha, Puntarenas y Nandayure, como se muestra en la Figura 1. En esta cuenca se encuentran una serie de ríos de los cuales destaca el río Morote y San Pedro, que desembocan en el Golfo de Nicoya. Asimismo, dentro de las características se tiene una gran variedad de suelos que en su mayoría se encuentra cubierto por suelo de tipo Anfisol y otros como Inceptisol y Entisol con similitud a sus cuencas vecinas, por lo que a partir de esto se desarrollan actividades económicas como agroindustriales, agropecuario, turismo, riego, entre otras (IMN, 2011).

**Figura 2.1. Ubicación geográfica de las Cuencas Hidrográficas y las ASADAS involucradas en el Proyecto.**



Fuente: Morales y Medina, 2023; modificado a partir del Atlas, 2014.

## **2.2 Antecedentes de ASADAS en la zona de estudio**

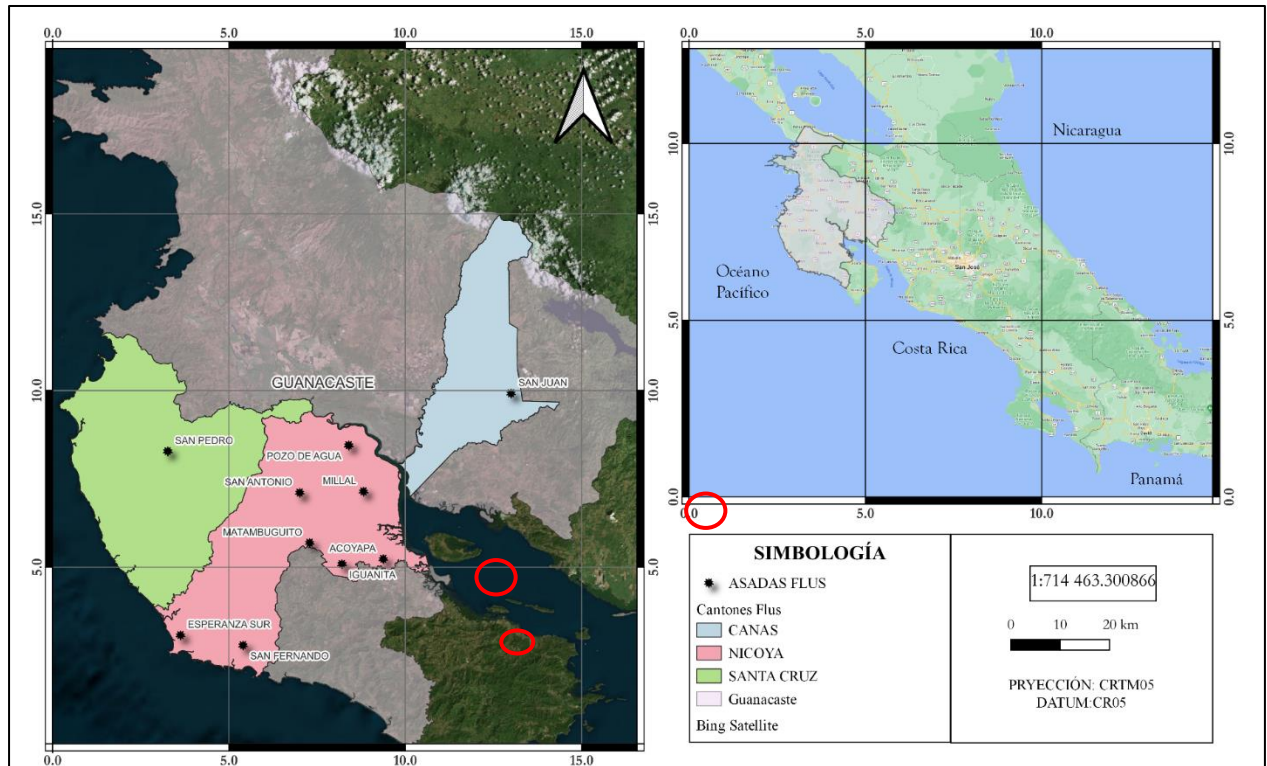
### **2.2.1 Federaciones Ligas Unidas (FLUS)**

En la Región Chorotega se desarrolla como estrategia para mejorar la gobernanza relacionada al agua y la gestión de los sistemas de abastecimiento de agua potable, el trabajo conjunto de la Federación, Liga Unión de la Región Chorotega, que, a su vez, está conformada por cinco FLUS, que tienen el objetivo de desempeñar un rol clave en la región, al fortalecer la capacidad de las ASADAS y la colaboración entre ellas. Estas FLUS establecidas o en proceso de desarrollo, considera diversos cantones, por ejemplo, la Liga Comunal del Agua, desarrolla la labor en los cantones de Nicoya, Hojancha y Nandayure; por otro lado está la Unión de ASADAS Costeras de Santa Cruz; la Federación de ASADAS de Santa Cruz y Carrillo; asimismo, la Federación de ASADAS de Abangares, Cañas, Bagaces y Tilarán; y por último la Federación de ASADAS de la Cruz y Liberia; estas federaciones se encuentran formadas por diferentes y variadas ASADAS a lo largo de la zona (HIDROCEC, 2023).

Si bien existen alrededor de 350 ASADAS en toda la provincia de Guanacaste que forman parte de las Federaciones, para efectos del desarrollo del estudio de la calidad del agua y el riesgo que existe para la gestión del recurso hídrico, se trabaja con una muestra seleccionada de ASADAS que pertenecen a diferentes Federaciones de las cuales corresponden a la Federación Liga Comunal del Agua, Unión de ASADAS Costeras de Santa Cruz y la Federación de ASADAS de Abangares, Cañas, Bagaces y Tilarán, basado en su alto riesgo y vulnerabilidad de afectación a partir del Índice de Riesgo de Calidad de Agua para Consumo Humano (IRCACH). Las cuales se encuentran en 3 diferentes cantones como Cañas, Santa Cruz y Nicoya (HIDROCEC, 2023).

De las 10 ASADAS seleccionadas (Figura 2.2), se le brindarán los resultados obtenidos en el estudio de calidad de agua que se pretende realizar con el primer objetivo de este proyecto y, después, para un mejor desempeño, se tomarán en cuenta únicamente 3 para la determinación del índice de contaminación según la metodología SERSA, con el fin de dar recomendaciones de mejora. La primera de estas es la ASADA San Juan, que se encuentra ubicada en el cantón de Cañas, asociación que pertenece a la federación ACBT. Seguidamente, se tiene la ASADA Cañal de Pozo de agua, que corresponde a una comunidad en el cantón de Nicoya en la zona más alejada de sector central del cantón y, por último, la ASADA de El Millal, que, de igual forma a la seleccionada anteriormente, está dentro del cantón de Nicoya.

Figura 2.2. Mapa de ubicación de los 3 cantones a trabajar con sus respectivas ASADAS FLUS seleccionadas.



Fuente: Morales y Medina, 2023; modificado a partir del Atlas, 2014. Nota: Las 3 con círculos rojos representan las 3 ASADAS seleccionadas.

### ***2.2.2 Antecedentes de las ASADAS sujetas a estudio***

#### ***➤ ASADA San Juan de Cañas***

La ASADA San Juan se encuentra ubicada dentro del distrito de San Miguel, en el cantón de Cañas, en la provincia de Guanacaste, Costa Rica. Corresponde al distrito número 3 de Cañas, con una extensión aproximadamente de unos 120.52 km<sup>2</sup> y una población de 1.644 habitantes. San Miguel es conocido también por el nombre de “Cuatro Equinas”, ya que está conformado por los Barrios de San Miguel, Piedra Hermosa, San Juan, Lajas, Higuerón y Buenos Aires (Díaz, 2020).

Dentro de las principales actividades económicas en esta comunidad están la agricultura, la ganadería y el turismo, tomando como referencia las visitas que se tienen a partir de la geomorfología que caracteriza el cantón con sus formaciones de origen volcánico terciario y cuaternario, de las cuales destaca el Cerro Pelado, sitio el cual es visitado para la actividad de senderismo; además, es importante mencionar que estas formaciones en la superficie se encuentran compuestas por materiales de manera natural, como el caso de la presencia de arsénico debido a la formación por el vulcanismo presente en la región, que en casos como la disolución, erosión o bien, la desintegración de rocas puede estar presente en las fuentes aprovechables de la región (Comisión científica origen arsénico, 2014).

La mayoría de sus habitantes se desplazan hasta Cañas, el cual corresponde a su distrito Central, para cumplir con sus obligaciones laborales. Sin embargo, otro número de personas se traslada hacia zonas lejanas para cumplir labores de campo. Por otra parte, se caracteriza por ubicarse justo sobre la Carretera Interamericana, lo que facilita en gran medida los medios de transporte de sus productos y pobladores. Esta región cuenta con centros educativos públicos y centros de salud (EBAIS). Al mismo instante, cuenta con iglesias, plazas de deportes, electricidad, agua potable, telefonía y acceso a internet en su mayoría (Díaz, 2020).

La ASADA San Juan cumple con la función de distribución y abastecimiento del recurso hídrico en la región determinada para la cual pertenece al distrito de San Miguel. Esta asociación cuenta con todo un sistema requerido acorde a la función desarrollada, sin embargo, enfrenta retos relacionados a la calidad del agua, a pesar de esto, cuentan con los siguientes componentes para la ejecución de abastecer las necesidades de los usuarios íntegros de la asociación.

Fuente de abastecimiento: La ASADA San Juan corresponde a un acueducto rural que es respectivamente dependiente de una única fuente de abastecimiento que corresponde a una naciente ubicada en las cercanías de Cerro Pelado, aproximadamente a 1,5 km desde la primera toma de la fuente. De la naciente se utilizan 0.003 m<sup>3</sup>/s de caudal que son direccionados por gravedad hacia el tanque de captación parcial y los demás componentes del sistema para la debida distribución en un periodo continuo. Las comunidades las cuales reciben agua en esta zona rural dependen de esta ASADA, asociación que surge por la necesidad de los alrededores.

Componentes del acueducto: ASADA San Juan cuenta con componentes necesarios de un sistema que se ejecuta para la distribución del recurso hídrico, partiendo desde la naciente se tiene seguidamente un tanque de almacenamiento de 22.000 litros (Figura 2.3), el cual tiene en su salida el sistema de cloración por pastilla dosificado para iniciar la distribución por medio una tubería de 0,5 y 2 pulgadas, que se encuentra enterrada, y en la cual se distribuye el agua por gravedad en las casas que se beneficia.

Extensión: En términos espaciales, la ASADA se extiende para toda la comunidad de San Juan, a partir de una tubería ramificada, es decir, tubería principal de la cual salen secundarias directas a las casas, esto para la distribución de aproximadamente una cantidad de 44 previstas

**Figura 2.3. Tanque de almacenamiento de la ASADA San Juan, Cañas, Guanacaste.**



Fuente: Morales y Medina, 2023.

➤ ASADAS de Nicoya: Cañal Pozo de Agua, Nicoya y El Millal

Nicoya es el cantón segundo de la provincia de Guanacaste, Costa Rica, fue fundado el 7 de diciembre de 1848, lo cual la convierte en uno de los trece primeros cantones que tuvo el país. Posee una extensión territorial de 1333,68 km<sup>2</sup> y se divide en siete distritos. Como cabecera está la ciudad de Nicoya, ubicada a 350km por carretera de la capital del país, San José (Obando, 2022).

De acuerdo con el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (2021), el cantón de Nicoya es un cantón cuya estructura poblacional muestra que la población joven es aquella que representa la mayor parte de esta, con un 31,49%, las personas menores de edad están dadas en un 27,10% de la población, por lo cual es considerado como un cantón en proceso de envejecimiento (Obando, 2022).

La densidad poblacional general es de 42,43 personas por km<sup>2</sup>, para las personas menores de edad es de un 11,50 y para las personas adultas mayores de 4,90 personas por km<sup>2</sup>. El índice de envejecimiento es de 43,12, el cual es menor al promedio cantonal (30,33) y se ubica en el lugar 8 del ranqueo cantonal (Obando, 2022).

➤ ASADA Cañal Pozo de Agua

Al realizar la visita en la ASADA de Cañal Pozo de Agua (Figura 2.4), se llega a observar la inexistencia de una oficina de gestión de la ASADA, dado a que la asociación comunal cuenta con el apoyo de pocas personas, por lo que cuenta con ciertas problemáticas a nivel socioeconómico que les impide contar con una oficina específica.

*Figura 2.4. Personas miembros de la ASADA de Cañal Pozo de Agua, Nicoya, Costa Rica.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

El acueducto posee un sistema de conducción y distribución hechos de material de Policloruro de vinilo (PVC) en su totalidad, trabaja bajo el mecanismo de abastecimiento por gravedad a partir de una naciente que llega directamente al tanque de almacenamiento y bombeo en 4 secciones (ramales) a partir del tanque, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de unos 50m<sup>3</sup>, elaborado con material de concreto, con una frecuencia de limpieza manual de cada 6 meses. (Figuras 2.5 a 2.7).

*Figura 2.5. Sistema de programación de los tanques.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

*Figura 2.6. Sistema de cloración en tanques.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

*Figura 2.7. Sistema donde se da la cloración*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

Actualmente, la ASADA cuenta únicamente con la disposición de un tanque (Figura 2.8), el cual tiene una capacidad de unos  $50\text{m}^3$ , y abastece aproximadamente a 72 abonados, que corresponde a una población cercana a las 320 personas. Además, cuenta con un sistema de desinfección por método de goteo (el cloro se almacena en estañones y la mezcla utilizada se prepara cada 24 horas), ubicado posterior a la captación del agua de consumo desde otra fuente, que corresponde a un pozo de 40 m de profundidad, del cual se extrae un caudal de  $1,58\text{ m}^3/\text{s}$  aproximadamente, al igual, cuentan con un proyecto que consiste en la confección de un segundo pozo, del cual se espera un caudal aproximado de unos  $2.5\text{ l/s}$ .

*Figura 2.8. Tanque de almacenamiento, ASADA Cañal Pozo de Agua en Nicoya.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

En esta ASADA, existe la problemática conocida como “aguas duras”, en este caso se tiene la presencia de altas concentraciones de carbonato de calcio, las cuales se precipitan en el fondo de las tuberías y el tanque una vez que el agua es extraída del pozo, quedando en disolución el bicarbonato de calcio, siendo responsable de las altas conductividades de estas aguas.

- *ASADA El Millal*

Esta asociación se encuentra ubicada en uno de los siete distritos que posee el cantón de Nicoya, este distrito es conocido como Quebrada Honda y se caracteriza por estar a 23 m.s.n.m, con una cantidad aproximada de 24 habitantes por km<sup>2</sup> donde se ejecutan actividades económicas como la agricultura principalmente, por lo que tiene un índice de desarrollo aproximado de 50,6, en la que participa un 10% de la población indígena. Esta zona del cantón de Nicoya cuenta con condiciones desfavorables en comparación con las otras partes del territorio, por lo que cuenta con un alto índice de riesgo que agrupan la necesidad de factores necesarios para la mejora de la calidad de vida (Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria, 2023).

Este acueducto posee mecanismos de abastecimiento por gravedad y por bombeo. Las fuentes de agua captadas provienen de una naciente ubicada en el Cerro Barra Honda, debidamente registrada en MINAE, y un pozo, con una profundidad de 30 metros cuya agua se extrae por bombeo eléctrico. El tanque de almacenamiento fue elaborado con material de concreto, se desconoce su capacidad de captación y tiene una frecuencia de limpieza manual de cada 6 meses. Antes del primer trimestre del año 2023, este acueducto no contaba con un sistema de desinfección. El sistema de conducción del agua se realiza desde el pozo a través de una subida del agua que recorre una distancia de 700 metros hasta el tanque de almacenamiento, de donde baja nuevamente por el sistema de distribución por gravedad. Debido al gasto energético, el bombeo únicamente se realiza dos horas al día. La naciente es utilizada únicamente en época lluviosa, sin embargo, el agua que se distribuye desde este sector trae mucho sedimento. (figuras 2.9 a 2.11).

En cuanto a sus problemáticas y números de abonados por parte de esta ASADA, se dice que son un total de 32 casas y los puntos a resolver en el presente acueducto, comienzan desde la inexistencia de un sistema de cloración ya que, según los encargados de la asociación comunal, indican que hace unos años, existió un sistema de cloración que fue estropeado por las personas cazadoras de la zona y desde ese entonces, se tuvo que quitar y hasta la fecha ellos se encuentran sin un mecanismo que permita clorar debidamente sus aguas.

***Figura 2.9. Pozo de la ASADA El Millal.***



Fuente: Morales y Medina, 2023.

*Figura 2.10. Tanque de almacenamiento de la ASADA El Millal.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

*Figura 2.11. Naciente en tierra de la ASADA El Millal.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

### **2.3 Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC)**

El Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC), es un centro de investigación adscrito a la Sede Regional Chorotega, de la Universidad Nacional, se dedica a la docencia, investigación y extensión bajo el concepto de gestión integrada del recurso hídrico en la región Chorotega, que dentro de sus objetivos como tal está el promover el uso sostenible del agua con el fin de mejorar la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en la zona con el desarrollo de actividades como las asesorías, capacitaciones e investigaciones para el desarrollo de proyectos que son relacionados a la gestión hídrica y ecosistemas de la mano con instituciones y actores participativos en la gestión de agua como gobierno, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas y comunidades locales (UNA Comunica, 2012).

El HIDROCEC desarrolla proyectos con Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales relacionados con la evaluación, monitoreo, capacitación y análisis en la calidad del agua, los cuales han sido realmente importantes para el avance de las comunidades, proporcionando el fortalecimiento de las capacidades de las ASADAS en temas de seguridad hídrica, en el manejo del sistema, fuentes de captación y otros aspectos relacionados con la calidad del agua (Periódico Guanacaste a la Altura, 2020).

Por otra parte, también desarrolla proyectos de extensión que fortalecen la relación que existe entre las comunidades y universidad, como iniciativa de mejora conjunta, por lo que, se establece formulación de proyectos de extensión de tipo interdisciplinario que aborda diversos temas importantes y necesarios en la ejecución de estos. Además, considera la población estudiantil para ser partícipes de experiencia académicamente provechosa, ejemplo de esto, el estudio en desarrollo actual nombrado “Fortalecimiento de la gestión del agua de las Federaciones, Liga y Uniones de la Región Chorotega (FLUS Chorotega) para el mejoramiento de la gobernanza del agua en la región” (UNA Comunica, 2012).

El apoyo que la institución brinda para la realización del presente proyecto es primordial para el desarrollo de estudios de calidad de agua y riesgo para la gestión del recurso hídrico en asociaciones de acueductos rurales que han sido seleccionadas previamente. Gracias al análisis los parámetros de calidad del agua que determinen el estado de sus aguas, aprovechando la funcionalidad de los laboratorios químicos y diversas recomendaciones brindadas por los diversos de los profesionales que integran HIDROCEC, para así lograr cumplir con los diversos objetivos planeados, los cuales buscan la gestión y el adecuado manejo del recurso hídrico en las ASADAS que han sido analizadas.

En el capítulo III, se desarrollarán diversos conceptos que son esenciales para una mejor comprensión del proyecto como tal y al mismo instante, los futuros resultados que serán obtenidos y expuestos en capítulos finales.

## 2. CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

El abastecimiento y acceso al agua potable en condiciones óptimas según la calidad del recurso se convierte en la base para la investigación que se pretende realizar para mejorar la calidad de vida de la población, a partir del beneficio que brinda como fuente primordial para el desarrollo de las actividades humanas en búsqueda de desarrollo social, se han establecido ASADAS con el fin de mantener el beneficio y distribución para el acceso igualitario, por lo que, desarrollar análisis en las asociaciones según su funcionamiento, calidad, entre otros aspectos, pueden requerir mejoras en su sistema. Es por esto por lo que, se presenta en el capítulo 3 las definiciones que contextualizan el tema del proyecto desarrollado con propósito de establecer una base de conocimiento teórico.

### 3.1 Potabilización de agua en un acueducto

#### 3.1.1 Definición y tipos de acueducto

Basado en la construcción de una estructura para transportar agua desde una fuente, direccionada con respectiva distribución, según se necesite para el aprovechamiento que se pueda brindar. Son construidos de diversas maneras y materiales acorde a la necesidad del lugar y caudal que es suministrado, compuesto por tuberías, alcantarillado, entre otros, que desarrolla el objetivo de captar, almacenar, distribuir y otras acciones relacionadas al recurso hídrico (AyA, 2015), tomando en cuenta diferentes componentes y factores para su debido funcionamiento con el abordaje de temas como los siguientes.

#### ➤ Tipos de acueductos

Si bien existen varios tipos de acueductos, entre los más populares se tienen tres los cuales corresponden a (AyA, 2015):

- *Acueducto aéreo*: El cual es un acueducto el cual se establece en construcciones con elevación, de modo que cumpla con la función de transportar agua por medio de soportes o arcos, el acueducto más antiguo al ser el primero en establecerse.
- *Acueducto subterráneo*: Son las estructuras construidas por debajo de la superficie terrestre, son elaborados con diversos tipos de materiales ya sea concreto, piedra, ladrillo, entre otros resistentes ya que son útiles en zonas territoriales que se caracterizan por tener temperaturas muy bajas con situaciones de posible congelación del recurso hídrico en época de invierno.

- *Acueducto fluvial*: Son las estructuras establecidas a lo largo de las fuentes superficiales ya sean de carácter natural o artificial y se caracterizan por ser mayormente útiles en zonas como grandes lagos o ríos.

### ***3.1.2 Fuentes de abastecimiento de agua potable***

Referida a una fuente de agua natural o artificial que es utilizada para distribuir hacia una comunidad o sistema con el fin de aprovechamiento, se trata de ríos, lagos, acuíferos subterráneos, pozos y otras fuentes naturales de agua o embalses. Son de carácter público o privado, la calidad del agua y cantidad del agua varía según las condiciones del entorno, por lo que es importante emplear medidas de protección y conservación de las fuentes de abastecimiento para asegurar el beneficio a largo plazo (Orozco y Solís, 2017).

### ***3.1.3 Obras hidráulicas de captación/conducción***

Las obras de captación se basan en obras civiles que son tomadas para captar recurso hídrico por medio de manantiales o escurrimiento y generar aprovechamiento de abastecimiento con diversos fines, son obras que pueden ser subterráneas como el caso de nacientes, pozos y drenajes, como también, medios superficiales con la toma de ríos, arroyos, lago, entre otros de carácter natural o artificial. Poseen su sistema de conducción que contiene tuberías con el objetivo de conducir las aguas a un tanque de almacenamiento o distribución contando con tuberías primarias y secundarias (Diario oficial La Gaceta, 2001).

#### ➤ *Almacenamiento de agua potable*

Según el reglamento se refiere a estructuras que son diseñadas para proveer reserva para atención del abastecimiento y prestaciones de servicios, asimismo, atender variaciones las variaciones de caudal por horario de manera que el abastecimiento sea continuo; es decir el sistema de almacenamiento cumple como parte de la seguridad hídrica procurando la distribución continua del recurso necesario para el desarrollo de actividades humanas (Diario oficial La Gaceta, 2001); existe los siguientes 2 tipos:

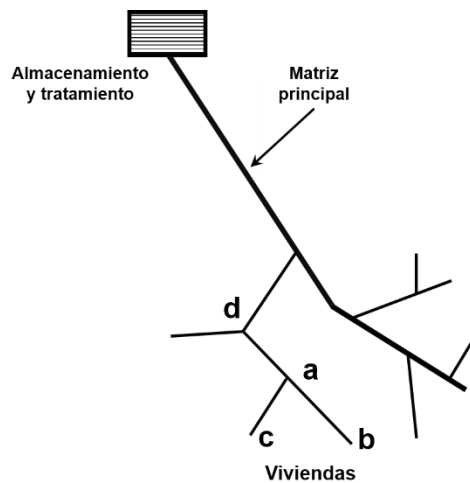
- *Tanques asentados*: Estructuras que se encuentran establecidas en la superficie de la tierra directamente, ya sea superficial o subterránea total o parcialmente.
- *Tanques elevados*: Estructura que se posiciona a cierta altura del terreno con su respectiva estructura de soporte requiriendo un sistema de mantenimiento.

➤ Red de distribución para agua potable

Según el Diccionario panhispánico del español jurídico (2023), se refiere al “Conjunto de tuberías diseñadas para la distribución del agua de consumo humano desde la estación de tratamiento de agua potable (ETAP) o desde los depósitos hasta la acometida del usuario.”, es decir, un sistema compuesto por tuberías, depósitos, bombas, y otros medios que realicen el transporte de agua desde una fuente como pozo, río o bien, acuífero, dirigido hasta usuarios finales; se debe establecer el suministro continuo de manera confiable de agua hacia la comunidad. Además, puede ser diseñada de dos tipos diferentes para desarrollar la distribución de agua potable a los usuarios, siendo las siguiente (United States Agency International Development, 2016):

- *Red de distribución ramificada*: El sistema ramificado se basa en una tubería principal de la cual se derivan tuberías secundarias, que a su vez partes otras de tercer nivel o bien, cuarto nivel de ser necesario; progresivamente menores de manera análoga.

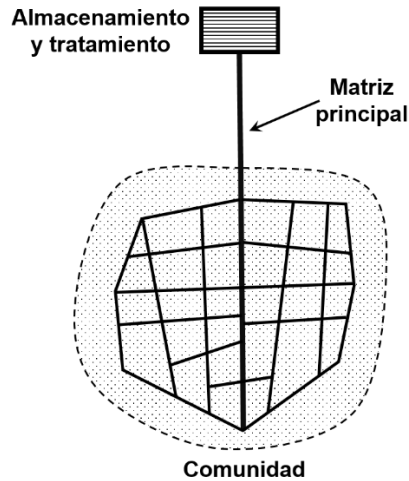
**Figura 3.1. Red de distribución ramificada**



Fuente: USAID, 2016.

- *Red de distribución reticulada:* Para el caso de este sistema, las tuberías se unen formando un sistema único con forma de malla, por donde se puede direccionar el agua desde diferentes vías; creando ventaja sobre posibles inconvenientes en tuberías específicas.

*Figura 3.2. Red de distribución reticulada*



Fuente: USAID, 2016.

Por consiguiente, las redes de distribución de agua pueden presentarse complejas, por lo que se requiere un mantenimiento constante para garantizar el eficiente funcionamiento acorde a normativas.

### **3.2 Calidad del agua en Costa Rica**

El tema de la calidad del agua en Costa Rica representa uno de los más importantes a la hora de conversar sobre los diversos puntos de relevancia en el tema del recurso hídrico para consumo humano. Es por ello, que el Gobierno se ha encargado de emitir diversas leyes, decretos y/o reglamentos con el fin de proteger, conservar y regenerar el recurso hídrico que existe en el país, para consumo humano, desde la visión de la calidad, salud y bienestar de las personas dependientes del abastecimiento por parte de un acueducto en específico en el país.

### **3.2.1 Normativas**

En Costa Rica existen algunas leyes, reglamentos y decretos que señalan los pasos a seguir para la obtención de varios objetivos en común. En el presente caso, cuando se hablan de informaciones política generadas para el control y la calidad del agua potable en el país, éste se torna su objetivo principal. Dado a ello, a continuación, se detallan las leyes, decretos y/o reglamentos que toman una mayor relevancia en este ámbito de estudio:

➤ *Reglamento para la Calidad del Agua Potable:*

El presente decreto deroga el Decreto Ejecutivo N° 32327-S del 10 de febrero del 2005 “Reglamento para la calidad del Agua Potable”, publicado en La Gaceta N° 84 del 3 de mayo del 2005. El nuevo Decreto Ejecutivo N° 38924-S considera temas de suma relevancia, como lo es que el Ministerio de salud tiene como misión el mejoramiento del estado de salud de la población, que el Estado es responsable de velar y garantizar el bienestar de los ciudadanos, la Meta 10 sobre el establecimiento del agua potable segura como requisito indispensable para la salud y la lucha de las clases bajas, dentro del Objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio aprobado en la Cumbre del Milenio (año 2000), el efecto que puede generar los químicos y agentes biológicos-físicos en aguas de consumo humano, la visión del recurso hídrico como patrimonio y bien público del estado y finalmente, no menos importante, que las entidades públicas y privadas que funjan como operadores de agua potable, se ajusten al reglamento para su debida calidad (ARESEP, 2023).

Con todo lo anterior, se define como objetivo general del presente decreto, establecer los límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el agua potable, a fin de garantizar su inocuidad y la salud de la población. Esto, con ámbitos de aplicación que quedan sujetos a las regulaciones del presente reglamento, todo ente operador, ya sea público o privado, de un sistema de suministro de agua potable, en todo el territorio nacional. Importante tomar en cuenta que, para todos los efectos de regulaciones en la calidad del agua potable abastecida, los entes operadores se sujetarán a este reglamento y a los valores de alerta y máximos admisibles, que se establecen para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos (ARESEP, 2023). Además, establece la obligatoriedad del Permiso Sanitario de Funcionamiento, así como los Niveles de Control de Calidad del Agua y Parámetros de Análisis Obligatorio.

- *Nivel Primero (N1)*: Corresponde al programa de control básico, el cual consiste en la inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento, la distribución del agua potable y la determinación de los siguientes parámetros: color aparente, conductividad, pH, olor, sabor, temperatura, turbiedad, coliformes fecales, *Escherichia coli*, y cloro residual libre o combinado (ARESEP, 2023).
- *Nivel Segundo (N2)*: En este nivel los parámetros de control son: aluminio, calcio, cloruro, cobre, dureza total, fluoruro, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio, sulfato y zinc.
- *Nivel Tercero (N3)*: Los parámetros en este caso son: amonio, antimonio, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, plomo y selenio (ARESEP, 2023).
- *Nivel Cuarto (N4)*: En este caso, corresponde a programas ocasionales ejecutados por situaciones especiales, de emergencia o porque la inspección sanitaria realizada por el Ministerio de Salud identifica un riesgo inminente de contaminación del agua (ARESEP, 2023).

Los encargados del estudio del agua deben elaborar un informe semestral sobre la calidad del agua potable y enviarlo a la Dirección de Área Rectora de Salud correspondiente, siguiendo un formato preestablecido (ARESEP, 2023). Esta Dirección remitirá a los operadores del sistema de agua un informe de cumplimiento o incumplimiento de la normativa de calidad, basándose en el informe semestral. Además, se solicita a los operadores que implementen un Programa de Control de Calidad del Agua, que incluya la zona de influencia del sistema de suministro de agua y detalles como la toma de muestras. Paralelamente, el Ministerio de Salud lleva a cabo un programa de vigilancia para evaluar el riesgo sanitario según las Guías de Inspección del Sistema Estandarizado de Regulación de la Salud (SERSA) y emitir las órdenes sanitarias necesarias para corregir los riesgos detectados.

En situaciones de emergencia, el Ministerio de Salud, AyA o la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias pueden intervenir, suspender el servicio, asegurar el suministro por otras vías, tomar medidas adecuadas y asumir el control del sistema. Es importante recordar que el agua para consumo humano debe ser vigilada de cerca, desinfectada adecuadamente y cumplir con los rangos establecidos para cada parámetro (ARESEP, 2023).

➤ *Ley General de Agua Potable:*

La presente ley del Gobierno de Costa Rica hace constar en sus diversos artículos, temas de suma relevancia, como lo son (ARESEP, 2023):

- 1) La declaración de utilidad pública del planeamiento, proyección y ejecución de obras de abastecimiento de agua potable.
- 2) El dominio público de todas aquellas tierras que tanto el Ministerio de Obras Públicas como el Ministerio de Salubridad Pública, consideren indispensables para construir o para situar cualquiera parte o partes de los sistemas de abastecimiento de agua potable.
- 3) La detección por parte del Ministerio de Salubridad Pública, de aquellas aguas destinadas para otros usos como lo es el servicio de cañería.
- 4) La correspondencia por parte del Ministerio de Obras Públicas, por medio del Departamento de Obras Hidráulicas, hacia la construcción de los nuevos sistemas de aguas potables.
- 5) La administración plena de los sistemas de abastecimiento de aguas potables que estén bajo competencia de las Municipalidades.
- 6) La NO privatización de las fuentes de abastecimiento.
- 7) La multa hacia aquel que haga uso indebido o desperdicio de agua potable de las cañerías de cualquier localidad del país, entre otras cosas más.

➤ Ley de Aguas

La ley de Aguas de Costa Rica, conocida oficialmente como Ley No. 276, es una legislación importante en el país en cuanto a la gestión y el uso sostenible del recurso hídrico. Esta ley, se puede resumir en los siguientes puntos que presentan una mayor relevancia sobre la misma (ARESEP, 2023):

- **Objetivo:** La Ley de Aguas tiene como objetivo fundamental garantizar la gestión integral, participativa y sostenible de los recursos hídricos en Costa Rica, promoviendo su conservación, protección y uso racional.
- **Derecho al agua:** Reconoce el derecho humano al agua y el saneamiento como un derecho fundamental de todas las personas, asegurando el acceso equitativo, suficiente, seguro y de calidad a estos servicios básicos.
- **Dominio y uso del agua:** Establece que el agua es un bien de dominio público, y su gestión se rige por los principios de equidad, eficiencia, solidaridad, sustentabilidad y participación ciudadana. Se prohíbe la privatización del agua.
- **Planificación y gestión integrada:** La ley promueve la planificación y gestión integrada de los recursos hídricos a nivel de cuencas hidrográficas, reconociendo su carácter unitario y la necesidad de abordar los aspectos sociales, ambientales y económicos relacionados con el agua.

- **Participación ciudadana:** Fomenta la participación de la ciudadanía en la toma de decisiones relacionadas con el agua, a través de procesos de consulta y diálogo, tanto a nivel local como nacional.
- **Protección de ecosistemas acuáticos:** Establece la obligación de conservar y proteger los ecosistemas acuáticos, incluyendo ríos, lagos, humedales y áreas marinas, con el fin de preservar su biodiversidad y funciones ecológicas.
- **Autoridad y regulación:** La ley asigna competencias y responsabilidades específicas a diferentes instituciones del Estado para la gestión del agua, como el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) y las juntas de administración de acueductos y alcantarillados.

### 3.2.2 Análisis de medición

El agua es una sustancia vital para la existencia y supervivencia de los seres humanos y organismo en general, dentro del planeta Tierra. Sin embargo, para que sea segura y saludable para el consumo, es importante evaluar su calidad utilizando diferentes parámetros, que pueden ser de tipo fisicoquímicos o bien, de un carácter más microbiológico. A continuación, se definen cada uno de estos tipos de análisis de medición que existen para el agua potable.

#### ➤ Análisis Fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos son propiedades medibles del agua, que incluyen la temperatura, conductividad eléctrica, pH, salinidad, turbidez, oxígeno disuelto y concentraciones de varios elementos o compuestos químicos como nitratos, fosfatos, carbonatos y metales pesados. Son esenciales para evaluar la calidad del agua y determinar su idoneidad para varios usos, incluido el consumo humano, la irrigación, la recreación y el hábitat acuático. Parámetros como el pH extremadamente alto o bajo pueden dañar la vida acuática y sugerir contaminación industrial (Benítez et al., 2016).

Los parámetros que serán regulados y monitoreados para optar por una buena calidad del agua para consumo humano se describen en el Decreto Ejecutivo No 32327-S del 10 de febrero del 2005 “Reglamento para la calidad del Agua Potable” descrito previamente, así como los distintos niveles de calidad.

### ➤ Análisis Microbiológicos

Los parámetros microbiológicos en el agua refieren a la detección y cuantificación de microorganismos, incluyendo bacterias, virus, protozoos y algas. La presencia de ciertos microorganismos puede señalar contaminación y ser un peligro para la salud humana y la vida acuática. Específicamente, en agua para consumo humano, se busca la presencia de bacterias como coliformes, *Escherichia coli* y Enterococos, indicadores de contaminación fecal (Benítez et al., 2016).

#### **3.2.3 Metodología del IRCACH**

El Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano, identificado por las siglas IRCACH, nace con el propósito de facilitar la adecuada interpretación del Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Al mismo tiempo, surge de la necesidad de crear un instrumento de medición que permita clasificar la gravedad del incumplimiento de los distintos parámetros de calidad establecidos en el Decreto Ejecutivo 38924-S (Mora-Alvarado *et al.*, 2018).

El IRCACH, posee como objetivo general establecer un índice de riesgo de calidad del agua para consumo humano, el cual permita relacionar el grado de riesgo para la salud del consumidor y de rechazo por él, con el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, facilitando la interpretación de los análisis, en concordancia con el puntaje de riesgo vinculado con las variables de operación, estética y salud, en los sistemas de abastecimiento de agua en Costa Rica. También, cuenta con 4 objetivos específicos los cuales consisten en clasificar los parámetros de operación, estéticos, de salud e indicadores de contaminación del Reglamento para la Calidad del Agua Potable vigente en Costa Rica; el segundo objetivo, busca establecer ámbitos de puntaje para cada parámetro del IRCACH en Costa Rica, el tercer objetivo, pretende definir los cinco niveles de riesgo para el IRCACH y por último, el quinto objetivo, busca establecer lineamientos para aplicar el IRCACH en Costa Rica (Mora-Alvarado *et al.*, 2018).

### **3.3 Caso de las ASADAS en Costa Rica**

Recordar que, como se mencionó anteriormente en el capítulo I, estas Asociaciones Comunales hacen referencia a una organización comunitaria con el fin de administrar y gestionar un sistema de acueducto en una comunidad determinada; organización integrada por los mismos habitantes de la comunidad para garantizar el servicio seguro de agua potable y el saneamiento de ser requerido de una manera asequible y de manera sostenible, esto a partir de la por medio del Instituto Costarricense de

Acueductos y Alcantarillados (AyA), tienen la responsabilidad de diseñar, construir, operar y mantener el sistema de abastecimiento de agua y alcantarillado de la comunidad (AyA, 2019).

### ***3.3.1 Gestión de Riesgo en ASADAS***

La gestión del riesgo en las ASADAS es una condición importante para el funcionamiento como tal, primeramente, considerar el concepto de gestión como la base de acción que según el Diccionario de Oxford (2023) en conjunto que se lleva a cabo, con el fin de conseguir la solución a una situación o cosa a partir de la agrupación de operaciones que se realizan, es decir, tomar acción sobre posibles riesgos que se presenten en la operación de una ASADA. Además, Ante el desarrollo de proyecto u obras que se ponen en funcionamiento, se tiene la posibilidad de ocurrencia de riesgo que teóricamente, tiene como la probabilidad de que ocurra una situación específica que genera una situación esperada como consecuencias de la posibilidad de daño; por lo que, involucra amenaza potencial a exposición.

Por lo que, Paniagua y Rodríguez (2019) se refieren a gestión del riesgo como aquel proceso mediante el cual se identifican y analizan las amenazas y vulnerabilidades que se encuentran en el entorno, con el fin de desarrollar las medidas para la prevención, mitigación y reducción de las posibilidades que existen ante la ocurrencia de un desastre, así como las medidas de preparación, atención y recuperación ante eventuales impactos, es decir, relacionado a las Asociaciones Administradoras de Acueductos Rurales (ASADAS), se refiere a la gestión del riesgo como la identificación y evaluación de los riesgos asociados a la prestación del servicio público, función con la que cumplen las asociaciones al brindar el suministro de agua potable de manera, siendo el recurso hídrico una fuente tan importante y delicada en cuestión de distribución. Presenta riesgos ante los cuales se puede accionar con anticipación, como una forma de prevención ante alguna falla en el sistema, fuente u operación que pueda ocasionar daños incluso irreversibles que afecta el desarrollo de la labor, permitiendo que se evite por medio de la gestión la posible presencia de pérdidas e inversión.

Al existir una inminente posibilidad de ocurrencia de daño en las ASADAS, es necesaria realizar su evaluación de riesgo con las consideraciones de factores que pueden influir y las medidas que puedan ponerse en acción para mitigar y gestionar de forma correcta. Por lo que, es necesario que las asociaciones desarrollen capacidades para mejorar en cuestión operacional, evaluativa, entre otros que requieran las asociaciones como tal. Ejemplo de esto, se tiene en Costa Rica una guía de Gestión Integral de Riesgos para ASADAS (GIRA), como una herramienta que se compone de diversos factores que responde a un modelo de enfoque de atención a ASADAS, para crear diagnóstico sobre el estado de las mismas, que con la

identificación de acciones correctivas o la mitigación en áreas tanto operativas, administrativas, sanitarias e infraestructura, dan origen a un plan de acción; evidenciando el aporte que brindan otras instituciones y organizaciones como parte de accionar ante posibles amenazas de diverso carácter (Paniagua y Rodríguez, 2019).

### ***3.3.2 Gestión Comunitaria para el fortalecimiento de la Gobernanza***

Cabe mencionar que la gobernanza hace referencia a la manera en que se ejerce la autoridad en la administración de los recursos de un país. Implica cómo los responsables de la toma de decisiones definen los intereses de los ciudadanos, cómo se establecen las prioridades y cómo se garantiza el cumplimiento de los objetivos. La gobernanza abarca el proceso de toma de decisiones y la forma en que se implementan las decisiones. Involucra también a diversas partes interesadas, incluyendo el gobierno, el sector privado y la sociedad civil (UNESCAP, 2009).

Por otra parte, las ASADAS forman parte de la gestión comunitaria y esto fortalece la gobernanza del agua, ya que con la participación de la sociedad en la prestación del servicio del recurso hídrico en el país representa la gobernanza local y colaboración a partir de un conjunto de estrategias y acciones empleadas por autoridades de la zona local, que se caracterizan por el objetivo común de resolver un problema específico, siendo este el desabastecimiento de agua potable en territorios donde las condiciones no son favorables para la distribución, como parte de las acciones organizadas de las autoridades locales que tengan mayor capacidad de gestión y sean financieramente sostenibles (Diario Extra, 2017).

Por consiguiente, existe una clara relación entre la gestión comunitaria y las ASADAS como parte del fortalecimiento de gobernanza, fundamental para garantizar acceso al agua potable de manera sostenible y que además que protejan los recursos. Estas asociaciones se fundamenta en la participación de manera activa basada en los principios de democracia, equidad, transparencia, entre otros evidenciando que son parte importante para tomar decisiones sobre los problemas relacionados a las necesidades para brindar un servicio a la población rural que es esencial; los actores asociados establecen relación en la coordinación con otras entidades tanto públicas como de carácter privado para gestionar correctamente, de manera que se contribuya al desarrollo local y en el fortalecimiento participativo de las comunidades (Miranda, 2008).

Parte de esto, con la integración de las asociaciones para fortalecer la gestión se tiene la unificación de las pequeñas a convertirlas en unas más grandes de manera que se obtenga mayor control y manejo sobre el funcionamiento de dichas asociaciones, asimismo, en cuestión de costos e inversión por lo que se tienen

en Costa Rica la *Estrategia para el Ordenamiento de la Gestión Comunitaria de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento*, son acciones que orientan los procesos de integración de ASADAS a nivel nacional como parte del reconocimiento de labor desinteresado que desarrollan estos actores comunitarios para hacer posible el acceso al derecho humano del agua, hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (AyA, 2017).

### **3.3.3 Desarrollo de capacidades en las ASADAS**

Las asociaciones comunales, para establecerse bajo un buen funcionamiento conjunto desde sus inicios ha tenido la necesidad de desarrollar capacidades como el motor del desarrollo humano, esto ante situaciones como las crisis económicas, alimentarias, climáticas, entre otras que están presentes en el diario vivir de la sociedad, es decir, el desarrollo de capacidades crea un ambiente en el cual los impactos que generan en la sociedad sean minimizados. Desarrollar capacidades humanas ante temas y situaciones desconocidas, es la base para que las personas mejoren las condiciones de vida, logrando alcanzar mayor potencial (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2009).

Es decir, las ASADAS han cumplido con el desarrollo de capacidades para alcanzar a cubrir la necesidad requerida de agua potable en las zonas donde no existe facilidad de acceso, esto a partir de un sistema integrado que contempla tres factores importantes; desde el entorno que cuente con condiciones favorables que marca el alcance que tienen las personas para desarrollar capacidades al ser el sistema en el que trabajaba la figura individual y organizaciones conjuntas; además el nivel factor organizacional que tiene la estructura que determina la efectividad que tiene la organización que toma en consideración, el entorno favorable y el individuo de la sociedad, mientras más ajustados estén y cuenten con buen recurso, mucho mejor será el crecimiento. Por último, se tiene el individuo, que considera las características de cada persona para el cumplimiento de actividades. Las aptitudes, conocimiento y experiencias de cada persona son adquiridas a lo largo de la vida y con formación académica (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2009).

Costa Rica cuenta con un entorno favorable en cuestión de leyes, políticas y reglamentación con respecto a temas que competen las asociaciones, sin embargo, la gran mayoría requiere desarrollar las habilidades como acceso a conocimientos, herramientas y procesos de inversión; además de planes de mejoramiento y fortalecimiento de cada una de estas adaptado a las necesidades y características, ejemplo de esto se tiene el proyecto sobre el *Fortalecimiento de las capacidades de Asociaciones de Acueductos Rurales (ASADAS) para enfrentar riesgos del Cambio Climático en comunidades con estrés hídrico en el*

*Norte de Costa Rica*, de modo que se tenga buen nivel organizacional que integra la participación de la comunidad teniendo así, mayor potencial de crecer y abastecer correctamente a los abonados; además de que la participación del individuo en la sociedad ha generado efectividad en el desarrollo de las capacidades con la labor de los diferentes miembros comunales los cuales han sido capacitados con los sistemas utilizados, otros cuentan con formación y otros simplemente con el interés de mejora en la calidad que toman formación de grado informal (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021).

#### ***3.3.4 Propuestas de mejora***

Se refiere a un plan con recomendaciones y acciones para establecer posibles mejoras de manera clara y concisa, se debe incluir un análisis de la situación actual, con descripción de la situación deseada y el plan de acción para alcanzar esa situación que surge a partir de la identificación de fallas o riesgos que son evaluados y descritos con anterioridad para obtener resultados que aumenten la eficiencia del funcionamiento del sistema, como el caso de las ASADAS como organizaciones sin fines de lucro para mejorar la eficacia y eficiencia de las actividades y procesos desarrollados (AyA, 2019).

## **4. CAPÍTULO IV. ESTUDIO PREFACTIBILIDAD**

### **4.1 Introducción**

Antes de arrancar con el estudio de prefactibilidad para el presente proyecto, es de suma importancia recalcar las palabras mencionadas en el libro de Sapag *et al.* (2014), el cual se habla sobre el concepto que posee este estudio como tal, dejando en claro que, en un estudio de prefactibilidad para un proyecto, se indaga primeramente sobre las principales variables que llegarán a incidir en su desarrollo, por lo que vuelve aún más importante el análisis de estas, ya que así se les brinda una mayor prioridad a las consideraciones que se deben tomar en cuenta antes de avanzar en la investigación. Para esto, se proyectarán diferentes escenarios con miras hacia un futuro próximo, conforme se va poniendo en marcha el proyecto, para así tomar decisiones tempranas con respecto a las necesidades actuales y eventuales.

Dado a ello, en este estudio se pretende analizar más allá desde la viabilidad económica del mismo, así como también en la parte legal, ambiental, social, entre otras. Es importante mencionar que tomando en cuenta la referencia de (Sapag *et al.*, 2014), se determinó que no era necesario elaborar los nueve estudios propuestos por estos autores, dado que no se requería de mayor detalle que lo que pudiesen demostrar los puntos seleccionados.

### **4.2 Estudio Técnico**

Para el presente proyecto se abordan los requerimientos y las características de aquellos elementos tecnológicos fundamentales para llevar a cabo las investigaciones indispensables para el presente, además de los costos que se derivan del mismo, mediante un estudio técnico a detalle. En él, se pueden identificar diversas fases, primeramente, se cuenta con el proceso de producción en el cual se establece la forma en que se generan los insumos requeridos por medio de un determinado método tecnológico. Seguidamente, se estima inversión en equipo de trabajo y sus costos, lo cual lleva al análisis de inversiones que posibilitan la adquisición de los instrumentos requeridos. Finalmente, es importante tomar en cuenta el entorno en el cual se encuentra el área que estará siendo estudiada; esto se logra con la ubicación de esta (Sapag *et al.*, 2014).

#### **4.2.1 Proceso de Producción**

Para la generación de los insumos necesarios para la obtención de resultados dentro del proyecto, se hizo uso de herramientas como softwares, programas computacionales, formularios, documentación tecnológica, entre otras. Como parte de ellas, se tiene:

- Qgis: Sistema de información geográfica que permite la delimitación del área de estudio y la generación de diferentes mapas para detallar el área de estudio
- “Microsoft Office”: Abarca los programas computacionales de Word, Excel y Power Point, como principales herramientas utilizadas en el procesamiento de información obtenida de las diversas ASADAS que se han visto involucradas en este estudio y al mismo instante, poder explicar a aquellos interesados, una adecuada interpretación de los resultados obtenidos, acompañados de las recomendaciones y los respectivos productos propuestos en los objetivos del presente escrito
- Documentación digital: Hace referencia a la consulta de diversos documentos con lineamientos a seguir durante la toma de muestras y sus respectivos parámetros (Reglamento de Calidad del Agua Potable N°32327-S (2005) y metodología del IRCACH), a como también lo sería el cuestionario por aplicar como parte de la metodología empleada para la resolución de uno de los objetivos del presente proyecto de graduación: el formulario de la metodología de SERSA. Este se explicará a detalle en “Capítulo V. Metodología”.

#### ***4.2.3 Localización***

El proyecto se lleva a cabo en diversas ASADAS ubicadas en los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Cañas en la Provincia de Guanacaste, Costa Rica. Esta selección se determina luego de un estudio realizado con anterioridad por funcionarios del HIDROCEC y la Liga Comunal del Agua, se logró tomar una pequeña muestra de entre 10 a 12 Asociaciones Comunales, en las cuales se aplican nuevamente estudios de la calidad del agua para su corroboración de resultados obtenidos en los estudios anteriores. Una vez con ellos, se procede a implementar la propuesta de las autoras del presente escrito, en aquellas ASADAS que han salido mayormente perjudicadas (3 ASADAS), con el fin de mejorar la gestión del recurso hídrico de la zona elegida.

### 4.3 Estudio Legal

Un proyecto llega a presentar conflictos de carácter legal, al no existir una adecuada educación, orientación o bien, un desacuerdo ante el reconocimiento de la naturaleza jurídica de dominio público, como lo es toda legislación relacionada con el recurso hídrico. Aunque existe la determinación de las prioridades de uso, el otorgamiento de las concesiones y sus autorizaciones respectivas, las cuales están dentro de las facultades que les otorga el ordenamiento jurídico costarricense, realmente se desconoce si se está realizando un adecuado manejo de este, respetando cada pauta con su respectivo señalamiento (AyA, 2013).

En la siguiente tabla (Tabla 4.1), se presenta un marco legal, en donde se señalan aquellas leyes y reglamentos relacionados de alguna u otra manera con el proyecto, instrumentos legales que funcionan como herramienta para evaluar aspectos importantes de los diferentes acueductos, desde sus condiciones administrativas hasta sus condiciones de uso y calidad del agua.

**Tabla 4.1 Marco legal del proyecto.**

<b>Marco Legal</b>	<b>Relación con el proyecto</b>	<b>Definición/Objetivo</b>
Ley de Aguas N° 276	Las fuentes de la ASADAS suelen ser nacientes o pozos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son aguas de dominio público: las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, vasos o riberas de propiedad nacional y, en general, todas las que nazcan en terrenos de dominio público.</li> <li>• Las aguas enumeradas anteriormente son de propiedad nacional y el dominio sobre ellas no se pierde ni se ha perdido cuando por ejecución de obras artificiales o de aprovechamiento sanitario se alteren o hayan alterado las características naturales.</li> </ul>
Ley Forestal N°7575 (1997)	Delimitación de las áreas de protección	<p>Se declaran áreas de protección:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros de modo horizontal.</li> <li>• Una franja de quince metros en zona rural medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano y de cincuenta metros horizontales si el terreno es quebrado.</li> <li>• Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley.</li> </ul>
Ley y Reglamento de ASADAS N°32529-S-MINAE	Creación de las ASADAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AyA, mediante convenio suscrito al efecto, previo acuerdo favorable de su Junta Directiva podrá delegar la administración, operación, mantenimiento y desarrollo de los sistemas de acueductos y/o alcantarillados comunales (Convenio de delegación).</li> </ul>
Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y	Creación de AyA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con el objetivo de dirigir, fijar políticas, establecer y aplicar normas, realizar y promover el planeamiento, financiamiento y desarrollo y de resolver todo lo relacionado con el suministro de agua potable para todo</li> </ul>

Alcantarillados N°2726		el territorio nacional se crea el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
Ley General de Agua Potable N°1634	Abastecimiento de agua potable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se declaran de utilidad pública el planeamiento, proyección y ejecución de las obras de abastecimiento de agua potable en las poblaciones de la República.</li> </ul>
Reglamento de Calidad del Agua Potable N°38924-S	Parámetros para determinar la calidad del agua potable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer los niveles máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua en beneficio de la salud pública.</li> </ul>
Norma Técnica del AyA N°2001-248	Sistemas de acueductos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contempla los lineamientos a seguir para el diseño de un acueducto de agua potable según el AyA.</li> </ul>

Fuente: Morales y Medina, 2023.

Según se visualiza en la tabla anterior, se determina que, para el desarrollo de lo planteado como objetivos para este proyecto, no se cuenta con ninguna limitante de carácter legal, por lo que presenta una adecuada y confortante viabilidad legal para su respectiva ejecución.

#### 4.4 Estudio Ambiental

Se estima que el desarrollo de este proyecto no genera de manera negativa impacto ambiental potencial, esto porque se tiene que son actividades de caracterización de las ASADAS realizadas con el fin de mejorar la calidad de vida desde una manera más eficiente donde no se están generado alteraciones en el medio ambiente, confirmando de manera que, según Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2023), con la presentación del nuevo reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental se tiene que todas aquellos proyectos de mejora o reparación que se ejecuten en infraestructura tanto pública y privada no necesita viabilidad ambiental, es decir, al ser de muy bajo impacto potencial no se debe tramitar mediante SETENA la evaluación de impacto ambiental.

Además, considerando ciertas resoluciones que presentó SETENA con anterioridad, se toma como referencia que las actividades que no requieren impacto ambiental son aquellas de mantenimiento, operación y ampliación de captación de agua con sus respectivos componentes para la distribución de agua que ya se encuentran en funcionamiento (Ministerio de Ambiente y Energía, 2008).

#### **4.5 Estudio Social**

El trabajo desarrollado por parte de las ASADAS a lo largo de Guanacaste tiene un gran impacto social con puntos positivos, si bien la formación e integración a Federaciones y Ligas de ASADAS genera beneficios para la comunidad, al establecer la distribución del recurso hídrico en las diversas zonas, estas asociaciones cuentan con debilidades las cuales deben ser consideradas y mejoradas de carácter obligatorio, ya que forman parte de las mejoras necesarias que se tienen en el aporte de dicho proyecto. Por lo que, es importante analizar las condiciones en las que se encuentran las comunidades respecto a la labor que desempeñan, de modo que se defina la calidad del agua y se estime si el sistema requerido cumple con el objetivo, por parte de las asociaciones, en cuestión de distribución de agua potable.

A partir de esto, la relación entre la sociedad y participación universitaria se ha fortalecido debido a la realización de talleres para incentivar a las personas miembros de ASADAS a concientizar sobre el adecuado uso y la importancia de la calidad del agua. Es así como Doña Sofía Gómez, representante de la ASADA de Cañal Pozo de Agua, y otros integrantes responsables de ASADAS, expresan satisfacción y consentimiento en los diferentes conversatorios realizados de manera directa, ya que con el aporte positivo que se obtiene a partir de acompañamiento y recomendaciones de mejora que brinda el proyecto, se les garantiza calidad en el recurso hídrico y mejora en la calidad de vida. Según RQL Ingeniería (202), las ASADAS siendo responsables directos de suministrar agua de calidad potable, tienen deberes en el cumplimiento de parámetros correctos con el fin de que se garantice la calidad sin comprometer la salud de las personas que la aprovechan, por lo que se incluyeron análisis de agua con muestreos de las fuentes de abastecimiento, en las redes de distribución y almacenamiento.

#### **4.6 Estudio financiero**

El estudio financiero como parte del desarrollo de un proyecto, es importante ya que logra estimar los recursos necesarios para llevar a cabo el objetivo, de manera que se considera el recurso humano, los materiales y capital contemplado para ser ejecutado, teniendo así un costo total estimado en el proceso, de modo que se refleje en términos de viabilidad si el proyecto en la etapa de formulación es factible o no. (SINNAPS, 2020) Dicho estudio emplea la planificación de presupuesto que considera todos los aspectos necesarios que integra el proyecto como tal, de manera que se tienen dos tipos de costos, los costos indirectos y los costos directos; según lo estudiado, existe diferencia entre estos, ya que los primeros no se pueden asociar a los gastos que tiene el proyecto en específico, sin embargo, son necesarios para la ejecución,

mientras que los costos directos son los que se encuentran relacionados específicamente con la inversión o bien el capital (Pérez, 2023).

A continuación, se tiene el presupuesto total del proyecto que corresponde presunto que se obtuvo considerando los costos directos e indirectos, asimismo, impuestos del 13% y otros costos contemplados específicos para el estudio desarrollado, para el cual se consideraron directrices formales para la debida estimación, detallado en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Presupuesto general para PFG en asociaciones de acueductos rurales ubicados en Nicoya, Santa Cruz y Cañas.**

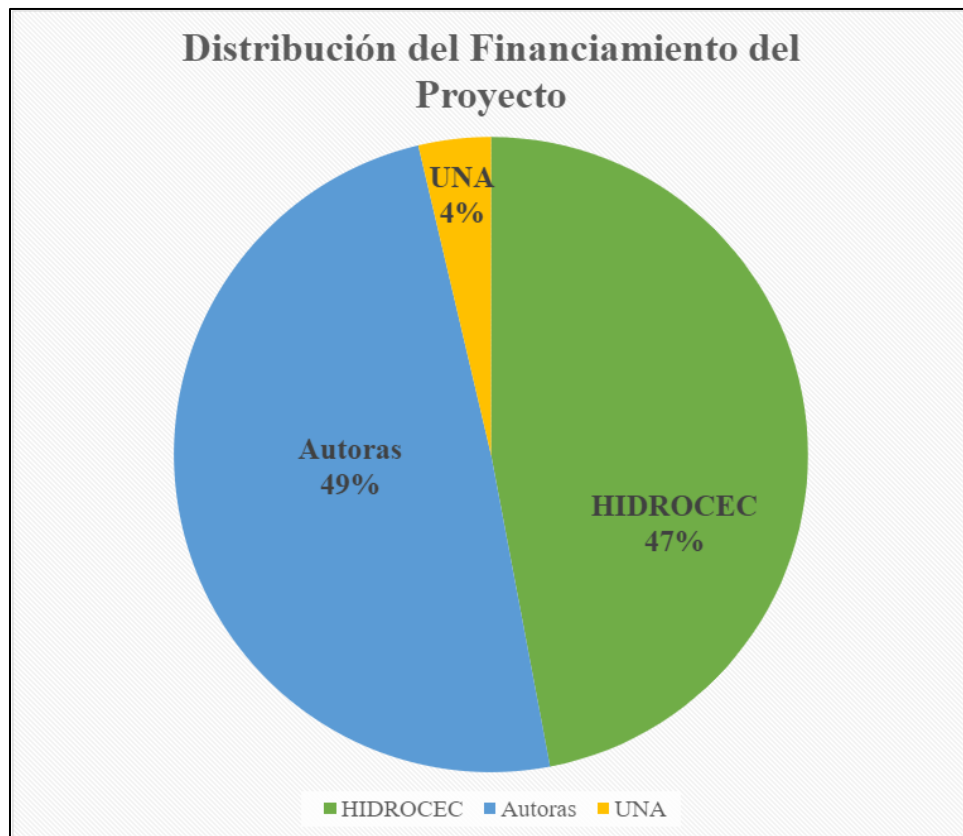
<i>Categoría de Costo</i>	<i>Actividad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Monto unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Monto Total</i>
<b>DIRECTOS</b>	Equipo personal para giras	Ropa de campo, zapatos de seguridad, guantes, sombrero, mangas, maletín...	€200 000	2	€400.000,00
	Equipo tecnológico	Computadora + accesorios	€700 000	2	€1.400.000,00
	Pruebas de laboratorio	Prueba N1 Análisis N1 microbiológicos y fisicoquímicos: (Coliformes fecales y Escherichia coli, pH, color, turbiedad, conductividad eléctrica).	€52 000	3 muestras x 10 ASADAS	€1.560.000,00
	Pruebas de laboratorio	Análisis N2 para una muestra de agua que incluye: Dureza total, fluoruro, cloruro, sulfato, aluminio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso y plomo.	€55 000	3 muestras x 3 ASADAS afectadas	€495.000,00
	Generación de información física para las ASADAS	Impresión de mapas de riesgos y	€30 000	-	€30.000,00

			recomendaciones para las ASADAS				
	<b>Total, costos directos</b>					€3.885.000,00	
<b>INDIRECTOS</b>	Giras de campo	Kilometraje	Vehículo "pick up", diésel, 10 años o más, por kilometraje de cada gira.	€144	€1 346	€193.582,00	
		Viáticos	Almuerzos Profesores	€5 500	10 giras (1 persona)	€55.000,00	
		Viáticos	Almuerzos Alumnas	€11 000	10 giras (2personas)	€110.000,00	
		Seguro médico	En caso de accidente	€10 000	2 personas	€20.000,00	
		Equipo de protección/primeros auxilios	Botiquín, hidratación, repelente, bloqueador...	€40 000	9 meses	€360.000,00	
		Servicio básico		Plan Internet fijo	€20 000	9 meses	€360.000,00
		Servicio básico		Plan telefonía móvil	€15 000	9 meses	€270.000,00
		<b>Total, costos indirectos</b>					€1,368,582
		<b>OTROS</b>	Honorarios	Pago por servicio (ad honorem)	€1 708 108	2 personas	€3.416.216,00
<b>IMPUESTO AL 13%</b>						€682,966	
<b>Total, del presupuesto</b>						€9,352.764,00	

Fuente: Morales y Medina, 2023.

Además, es importante mencionar que para el desarrollo del proyecto se cuenta con el aporte de financiamiento por parte del Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC), la Universidad Nacional y el aporte económico por las autoras del estudio, condición reflejada en la figura presentada a continuación, donde se indica con un 4% equivalente a ₡193,581.72, HIDROCEC con el 47% correspondiente a ₡2,470,000.00; por último, el aporte de las autoras con el restante equivalente a ₡2,590,000.00, con el fin de mayor comprensión se presenta la siguiente figura.

**Figura 4.1 Distribución de financiamiento de las partes involucradas.**



Fuente: Morales y Medina, 2023.

#### **4.7 Conclusión**

Se concluye del presente capítulo, que según los diversos estudios de prefactibilidad realizados anteriormente (Técnico, legal, ambiental, social y financiero) para lograr confeccionar con éxito el presente trabajo final de graduación, no se encontró ningún impedimento en alguno de los marcos estudiados que generara un impedimento referente a los diversos aspectos que se puedan presentar y que imposibiliten el desarrollo fluido y seguro de este.

## 5. CAPÍTULO V. METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo se plantean los aspectos metodológicos que se aplicaron para el desarrollo del presente estudio, a partir del seguimiento de los objetivos propuestos para establecer relación con los resultados obtenidos a fin de establecer línea de congruencia en el desarrollo de este proyecto; se tiene inicialmente la definición sobre el tipo de metodología a utilizar, explicación de procedimientos ejecutados para obtener información necesarios a analizar, cronograma reflejando la ruta crítica y presupuesto para la efectuar el proyecto.

### 5.1 Descripción general de la metodología

En el caso de la metodología del proyecto se basa en la utilización de métodos como el IRCACH, basados en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable, con la clasificación de parámetros: de operación (a), estéticos (b), de significado para la salud (c) e indicadores de contaminación (d) (Mora-Alvarado et al., 2018). Asimismo, se toma metodologías desarrolladas por el Ministerio de Salud como el Sistema Estandarizado de Regulación en Salud (SERSA), con el fin de estimar el riesgo de contaminación en los componentes del sistema de distribución de los acueductos de las ASADAS miembros de las FLUS Chorotega que reporten una calidad de agua más crítica con respecto a los límites establecidos por el Reglamento para la Calidad de agua potable (No 38924-S).

Finalmente, con todo ello se realizó una serie de recomendaciones que permite a cada una de las ASADAS participantes, su mejoramiento en términos de calidad de agua, infraestructuras y el sistema de saneamiento, con el fin de brindarles un mejor servicio de abastecimiento de agua potable en cada una de las comunidades Guanacastecas con ASADA FLUS en estudio.

#### 5.1.1 Tipo de Investigación

Analizando las variables que se integran en el proyecto, se trata de un proyecto con investigación mixta debido a la combinación de dos tipos de investigación que toma como base la investigación de campo con observaciones, entrevistas, colecta de muestras de agua y visitas de campo de manera que se puedan aplicar análisis que son reforzados con la investigación documental ya que, se apoya en fuentes que son de carácter documental como investigación bibliográfica, es decir, consulta en libros, artículos, ensayos, entre otras fuentes que puedan ser fuente de discusión para el análisis de los resultados obtenidos. De manera que la

investigación mixta se debe a participación de la investigación documental y de la investigación de campo (Zorrilla, 1993).

### ***5.1.2 Población y muestra de estudio***

En el siguiente apartado se explica la selección de la población y muestra estudiada para la elaboración del presente proyecto en el estudio de la calidad y riesgo del recurso hídrico, donde se empleó el método de selección intencionado por conveniencia, es decir, se determinó a partir de la población total la selección arbitraria por parte de los autores que establecen un criterio a seguir con la investigación.

En cuanto a la población considerada para la elaboración del presente proyecto, se tiene un aproximado de 10 ASADAS miembros de la FLUS Chorotega, alrededor de los cantones de Nicoya, Santa Cruz y Cañas. Estas 10 ASADAS iniciales, fueron elegidas a través de los resultados de un análisis de calidad de agua realizado por el AyA (en donde se incluían parámetros como lo son: pH, conductividad, temperatura, cloro residual, entre otros), mediante la metodología del IRCACH a un aproximado de 36 ASADAS a lo largo de la provincia de Guanacaste (Ver Anexo 5.1).

Todas estas 36 ASADAS, luego de sus respectivos análisis, se plasmaron en una tabla en la cual se les asignó un puntaje de riesgo según el IRCACH. Igualmente, en otra de sus filas se indicaban algunos de los parámetros que no cumplen con el límite máximo admisible del reglamento (N°38924-S) y finalmente con todo ello, fue que se seleccionaron inicialmente a esas 10 ASADAS que presentaban escenarios diversos respecto a su calidad en el recurso hídrico que le brindan a cada una de sus comunidades correspondientes.

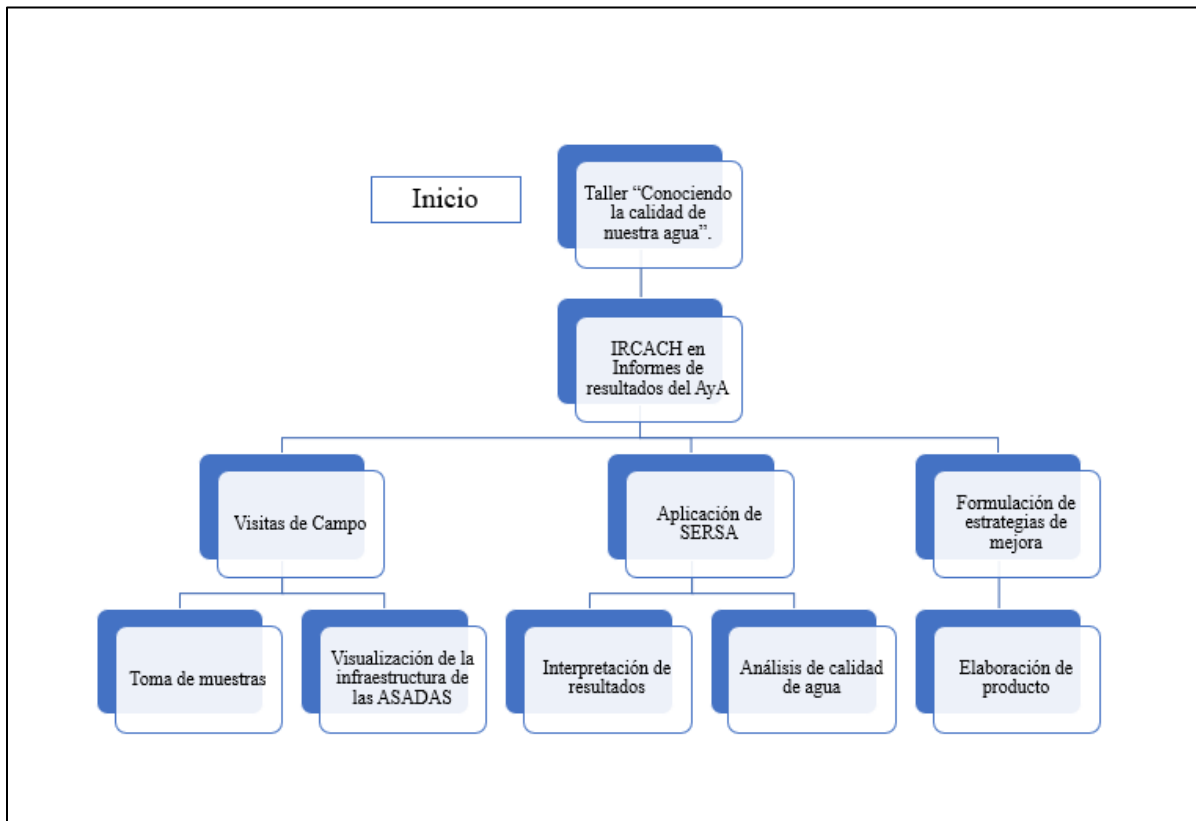
Luego de haber seleccionado las 36 ASADAS estudiadas por el AyA, únicamente a aquellas 10 que presentaban escenarios diversos respecto a su calidad en el recurso hídrico, se les procedió a realizar nuevamente estudios de calidad del agua. Con sus nuevos resultados, finalmente se extrajo una muestra de trabajo de un total de 3 ASADAS, ubicadas en los cantones de Nicoya y Cañas. Estas ASADAS serían: ASADA de Cañal Pozo de Agua, Nicoya, la cual presenta una problemática particular, en donde se ve influenciado el factor económico versus el gran interés por parte de sus miembros para la búsqueda de soluciones al respecto. También en el cantón de Nicoya, se tiene como segundo caso de estudio, la ASADA El Millal, la cual presentan una problemática en cuanto a la dureza y la cloración de su recurso hídrico para abastecimiento. Finalmente, está el caso de la ASADA de San Juan, ubicada en el cantón de Cañas, Guanacaste, la cual cuenta con una ligera problemática referente al aluminio en sus aguas, pH ácido,

bacterias y cloración. Todas estas problemáticas se pretenden dar solución mediante la aplicación de los mecanismos propuestos con anterioridad, como objetivos del presente proyecto.

### 5.1.3 Proceso investigativo

A continuación, se tiene el desarrollo de un flujograma que representa la metodología general del proyecto que se ejecutará con el fin de generar resultados a las ASADAS en cuestión de calidad y riesgo del recurso hídrico para la región de Guanacaste, por lo que, se inicia con la percepción de estado y condiciones que se encuentran las asociaciones en diferentes aspectos en forma de conversatorio en su momento de inicio del presente proyecto, dando como fin resultados que puedan mejorar dichas condiciones (figura 5.1).

Figura 5.1. Flujograma de metodología para la ejecución del estudio de la calidad y riesgo del recurso hídrico.



Fuente: Morales y Medina, 2023.

## **5.2 Métodos y herramientas seleccionadas**

En el presente apartado, se exponen los procesos y herramientas utilizadas para la obtención, depuración, interpretación y validación de la información que se genera en el proceso, partiendo desde lo que según, corresponden al orden adecuado en el desarrollo de proyectos por lo que es clave se ejecuten. Para el caso del presente estudio se realizó la obtención de información por medio de interacción presencial y telefónica en la que se realizó una serie de preguntas que reflejaran el estado de las ASADAS al momento de inicio. Partiendo de ahí se depurarán datos que no destacan entre los mayores índices de riesgo, de manera que se continúe con la interpretación de las condiciones que se presentan y se valide a partir de los resultados obtenidos con la generación de un producto aplicable en el caso de las ASADAS estudiadas.

### ***5.2.1 Para obtención de datos***

Tomando como referencia lo que se indica Behar (2008), en la técnica de recolección de datos como parte de darle sentido a la investigación y verificar la problemática que se tiene, es importante utilizar técnicas adecuadas y herramientas funcionales, de manera que, siguiendo los objetivos planteados se propone lo siguiente.

Inicialmente, se hizo la recolección de informes de calidad de agua proporcionados por el AyA, donde se revisó el índice de la calidad del agua y se seleccionó de la muestra inicial, 10 ASADAS que se encontraban con un índice de riesgo alto por diversos factores, posterior a esto, se realizó un llamado a aquellas ASADAS integrantes de FLUS para dar a conocer sobre la situación en la que se encontraban, sugerir seguimiento y análisis a las que se encuentran con un índice de riesgo mayor en la provincia de Guanacaste. Para ello, se llevó a cabo el taller “Conociendo la calidad de nuestra agua”, realizado en febrero, 2023, en las instalaciones de la Liga Comunal del Agua, Hojanca, Guanacaste, Costa Rica.

*Figura 5.2. Representantes de algunas ASADAS FLUS, en taller “Conociendo la calidad de nuestra agua”, llevado a cabo en febrero, 2023.*



Fuente: HIDROCEC, 2023.

Todo esto, fue razón de inicio para la realización de un taller durante el mes de febrero 2023, en el cual los representantes de dichas ASADAS han asistido a la oficina de la Liga Comunal del Agua con el fin de ampliar el conocimiento que se tiene al respecto del presente proyecto, indicando por parte de HIDROCEC que cada una de las asociaciones deberá ser analizada nuevamente para que las autoras del proyecto puedan realizar análisis a mayor detalle sobre los riesgos y amenazas en cuanto a calidad del agua que posee cada una de estas (3 de las 10 ASADAS seleccionadas) y con esto, brindar recomendaciones para futuras mejoras de los sistemas.

A partir de esto, se consideró la recolección de información cualitativa con gran relevancia para determinar el estado en el que se encuentra las 10 ASADAS y la calidad del agua de las misma, de modo que se programaron visitas de campo específicamente en 3 cantones de la provincia de Guanacaste, el cantón de Nicoya, Cañas y Santa Cruz que se buscó para la realización de inspecciones de los sistemas de distribución de las asociaciones, pruebas de muestreo para la calidad de agua y reuniones con los integrantes de manera participativa que relatan la condición desde la experiencia propia; por lo que se muestra las fechas definidas de la visitas de campo a continuación.

**Tabla 5.1. Cronograma de visitas a las ASADAS**

Gira	ASADA	Fecha
1	Iguanita de Mansión (Centro), Nicoya	16/5/2023
2	Esperanza sur Nosara, Nicoya	19/9/2023
3	San Fernando de Sámará, Nicoya	22/8/2023
4	Matambuguito de Mansión, Nicoya	16/5/2023
5	Pita Rayada, Nicoya	12/9/2023
6	San Pedro sector centro, Santa Cruz	25/4/2023
7	Acoyapa de Mansión, Nicoya	19/9/2023
8	Asada de Cañal de Pozo de Agua	24/5/2023
9	El Millal, Nicoya	27/6/2023
10	San Juan, Cañas	27/6/2023

Fuente: Morales y Medina, 2023.

Por otra parte, en las visitas de campo se desarrollaron inspecciones oculares sobre las condiciones de las ASADAS en su sistema y pruebas de la calidad de agua con la toma de muestras en puntos relevantes de todo el sistema de distribución de cada ASADA, de tal forma que se evidencie las diferencias en los resultados de cada punto para determinar los posibles fallos y riesgos en todo el sistema. Asimismo, se recolectaron muestras para ejecutar análisis fisicoquímicos y microbiológicos en sus respectivas condiciones con la utilización de equipo multiparámetros, turbidímetros y clorímetros de mano. Algunos parámetros se analizaron en campo a la hora de recolectar las muestras necesarias para la aplicación de estudios del IRCACH mientras que otros fueron analizados en el laboratorio de fisicoquímica y microbiología ambiental, dentro de las instalaciones del HIDROCEC. Cabe recalcar que solamente a las 3 ASADAS con mayores índices de riesgo (las cuales fueron identificadas con anterioridad, mediante los estudios previos realizados por el AyA), fue necesario aplicar el análisis de N2 establecido en dicho índice.

### **5.2.2 Para el procesamiento e interpretación de datos**

Se realizaron análisis de calidad de agua en donde se tomaron las muestras recolectadas en campo de cada una de las ASADAS para la determinación de su nivel de riesgo en cuestión de calidad, a partir del Reglamento para la Calidad del Agua potable. A su vez, se analizaron las diferentes muestras de agua de acuerdo con sus tablas establecidas, principalmente aquellas correspondientes a las pruebas de tipo N1 y N2, para ver si estos resultados cumplen con su máximo admisible y al mismo tipo, con los lineamientos del historial de los datos analíticos obtenidos por el Laboratorio Nacional de Aguas en los programas de

Vigilancia y Control de Calidad del Agua, y el criterio de experto especializado en el área (Mora-Alvarado et al., 2018).

Al aplicar el Índice de Riesgo para la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCACH) en estas ASADAS, se asignó un puntaje de riesgo en todos los ámbitos de 1 a 31 puntos, para los 3 tipos de parámetros ya mencionados, puntaje que serán aplicados cuando los parámetros superen el valor máximo admisible (VMA). En el caso de los parámetros del nivel 3 del reglamento vigente (excepto los parámetros amonio, nitratos, nitritos y selenio), plaguicidas, sustancias orgánicas e inorgánicas, desinfectantes y productos de la desinfección del reglamento vigente, se asignó el puntaje máximo (31 puntos) cuando el valor obtenido supera el VMA. Estos cinco niveles de riesgo en la calidad del agua fueron establecidos con base en el IRCACH de Colombia (Mora-Alvarado et al., 2018).

Como parte de los resultados de elaboración para la implementación de este, se destacó nuevamente la utilización de algunos parámetros de los niveles 1, 2 y 3 del Reglamento para la Calidad del agua potable, (donde se indica su clasificación según el tipo de parámetro, ya sea de operación, estética, de significado para la salud o indicador de contaminación o, junto con la justificación del puntaje asignado a cada uno (Mora-Alvarado et al., 2018).

En la siguiente tabla (tabla 5.1), se presentan los 5 niveles de riesgo con la respectiva calificación de calidad del agua. Asimismo, se sugieren recomendaciones y acciones a seguir para el mejoramiento de la calidad del agua del acueducto (Mora-Alvarado et al., 2018).

**Tabla 5.2. Niveles de riesgo en la calidad del agua para consumo humano, utilizado por el AyA para las ASADAS.**

<b>Clasificación IRCACH</b>	<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Código de colores</b>	<b>Calidad del agua</b>	<b>Acciones y recomendaciones</b>
<b><math>x \leq 5</math></b>	Riesgo muy bajo (RMB)	<b>AZUL</b>	Apta para ingesta	Continuar suministro de manera normal; continuar control o vigilancia de la calidad del agua.
<b><math>5 &lt; x \leq 10</math></b>	Riesgo bajo (RB)	<b>VERDE</b>	Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad	Continuar suministro de manera normal; continuar control o vigilancia de la calidad del agua.
<b><math>10 &lt; x \leq 20</math></b>	Riesgo intermedio (RI)	<b>AMARILLO</b>	No apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química.

$20 < x \leq 30$	Riesgo alto (RA)	<b>NARANJA</b>	No apta para ingesta	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química y/o el Procedimiento de Inspecciones Ordinarias.
$x > 30$	Riesgo muy alto (RMA)	<b>ROJO</b>	No apta para ingesta	Seguir Protocolo de Atención a Problemas de Calidad de Agua por Contaminación Química, el Procedimiento de Inspecciones Ordinarias, el Procedimiento de Inspección para Emergencias de Brotes y/o el Procedimiento de Inspección para Emergencias Químicas.

Fuente: Mora-Alvarado *et al.*, 2018.

### 5.2.3 Para la validación de datos

A partir de la información obtenida como resultado de la recolección de datos, se ejecuta la aplicación de formularios que cumplan con el objetivo de analizar e interpretar de manera que se establezcan conclusiones de los casos en estudio para darle un significado a los principales resultados con la aplicación de técnicas que son representadas como tablas, gráficos, entre otros. (Bahar, 2008)

A partir de los resultados generados y puntaje otorgado según el riesgo de la calidad de agua, se proponen estrategias de mejora con el apoyo del formulario SERSA, el cual cumple la función de inspección que da a conocer las condiciones de cada una de las asociaciones comunales del agua inscritas en respectiva federación.

**Tabla 5.3 Clasificación de riesgos según la cantidad de deficiencias observadas en las estructuras.**

Número de respuestas "SI"	Clasificación de Riesgo	Código de Colores
0	Riesgo Nulo	
1-2	Riesgo Bajo	
3-4	Riesgo intermedio	
5-7	Riesgo Alto	
8-10	Riesgo Muy Alto	

Fuente: Ministerio de Salud, 2023.

Para reforzar lo establecido por el formulario del SERSA, se buscó apoyo de los diferentes Planes y Reglamentos de mejora de infraestructuras y calidad dentro de las Asociaciones Comunales de Agua, con el fin de implementar recomendaciones y mejoras que pueda ser aplicado por cada una de las ASADAS que fueron analizadas previamente y en especial, aquellas a las que se les ha tenido que extender su estudio, mediante la aplicación de análisis más detallados debido a temas relacionados con la dureza del agua, falta de sistemas o mantenimiento, limpieza , sistemas de saneamiento, entre otras.

Este documento al finalizar el periodo de generación del proyecto será entregado física y digitalmente, a cada una de las personas encargadas del gestionamiento de las ASADAS elegidas dentro de la Región Chorotega.

### **5.3 Otros Aspectos a considerar**

Seguidamente, dentro de aspectos a considerar para la evolución del proyecto en desarrollo que son indispensables y relevantes en el caso, se formula, para la mayor comprensión durante la evolución en caso de que se desee replicar en otros escenarios; el presupuesto del proyecto desde las diferentes etapas que incluye, de acuerdo con Roseke (2017), la etapa de inicio, planificación, ejecución, supervisión y cierre; con la representación de cronogramas y ruta de seguimiento, además es importante que se contemple la ética que se espera por parte de todo profesional.

### 5.3.1 Presupuesto

Para la elaboración de este proyecto como tal, se tiene que el mismo posee un costo monetario de unos **₪9,352,763** los cuales se dividen en costos por etapas del proyecto, es decir, cada una de estas etapas en la evolución y ejecución requieren de un valor monetario distinto, por lo que es importante considerarlo como parte del plan de inversión.

**Tabla 5.4. Distribución del presupuesto por etapas del proyecto.**

<b>Etapas del proyecto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Inicio</b>	₪ 2.030.000,00	Se refiere a equipo tecnológico y servicios básico
<b>Formulación</b>	₪ 780.000,00	Equipamiento para la realización de giras (seguro médico y de primeros auxilios)
<b>Implementación/operación</b>	₪2.413.763,00	Pruebas de laboratorio, transporte y viáticos.
<b>Cierre</b>	₪4.129.000,00	Honorarios, impuestos y productos entregables.
<b>Total, de inversión</b>	₪9,352,763	

Fuente: Morales y Medina, 2023.

### ***5.3.2 Cronograma de actividades y Ruta Crítica***

Se elaboró el cronograma de actividades de seguimiento para el desarrollo del presente proyecto que contempla la redacción del anteproyecto, los procesos llevados a cabo y redacción final del proyecto que debe incorporar todo lo realizado para entrega final en enero 2024 (figura 5.3).

Por otra parte, en cuanto a la ruta crítica con la que se debe seguir el presente proyecto, cabe mencionar que el mismo cuenta con un proceso meramente lineal, lo que se define como que es dependiente de su orden y que una actividad posterior no podrá ser realizada sin antes haber concluido la actividad previa. Es por lo que, en la siguiente figura, se puede visualizar este orden con el cual se estará desarrollando el presente proyecto final de graduación.



### **5.3.3 Ética en la Investigación**

Es importante mencionar que la ética es una rama de la filosofía considerada como un saber racional, entonces, esto la convierte en una herramienta para el estudio fundamentado y objetivo de los valores morales. La ética en la investigación es un tipo de ética aplicada o práctica, lo cual se refiere a que en esta se tratan de resolver problemas no meramente generales, sino también a los problemas específicos que surgen en la realización de la investigación. (Salazar *et al.*, 2018)

Por consiguiente, la ética en la investigación es de gran importancia en medida de desarrollo de proyectos, por lo que, en todo ámbito se debe ser ético, es decir, debe existir compromiso moral en la presentación de resultados y procesos de toda la investigación (Nosek *et al.*, 2002), es por esto que, en cuestión de los análisis de laboratorio y realización de visitas de campo, se seguirán protocolos de calidad debidamente que son relacionados a la seguridad de salud ocupacional, de modo que no se pondrá en riesgo la salud de los involucrados, además se respetará la identidad e información brindada por participantes y no será de carácter público. Seguidamente, en el caso de la determinación de la calidad de agua y riesgo para el recurso hídrico en ASADAS se acuerda generar total transparencia con los resultados que se obtengan en el presente proyecto, de manera que se asegurarán de no ser alterados o bien, generados por comodidad de las autoras ni conveniencia de otros, por lo que, no se basa en intereses propios y se tomará con responsabilidad la partición de la Universidad Nacional e HIDROCEC en todo el desarrollo del proyecto.

### **5.4 Conclusión**

Considerando lo anteriormente expuesto, se concluye que con el seguimiento de lo estimado en reglamentos y la realización efectiva de procesos dentro de las fechas estimadas, se obtendrán resultados que evidencien el estado sobre la calidad de agua y riesgo en las ASADAS participantes del FLUS, por lo que se podrá generar una serie de recomendaciones y mejoras para el fortalecimiento de las mismas con el desarrollo final del presente proyecto, de manera que se integre el cumplimiento de los objetivos propuestos con la finalidad de lograr identificar la problemática existente en cuanto a la calidad del agua potable y el riesgo a contaminación de la misma. Al mismo instante, se buscaría promover el interés por parte de la Liga Comunal del Agua para el seguimiento en cuanto al estudio de mejora de estas asociaciones, y a la solución de conflictos actuales en las asociaciones.

## 6. CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Introducción

En el siguiente capítulo se presentan los principales resultados obtenidos en la evaluación sobre la gestión del agua que se realizó a través de la aplicación del SERSA y análisis de calidad de agua en las 10 ASADAS miembros de la FLUS Chorotega que participaron en el estudio y, en particular, las problemáticas asociadas a la calidad del agua en las ASADAS El Millal de Quebrada Honda, Nicoya, San Juan de Cañas y Cañal de Pozo de Agua, Nicoya. En cuanto a la calidad del agua en estos acueductos, se encontraron, de forma general, situaciones sobre contaminación bacteriana por falta de un sistema de desinfección adecuado, concentraciones de aluminio fuera de los límites establecidos por el reglamento para la calidad del agua potable, pH ácido y aguas duras. En este capítulo también se presentan recomendaciones que podrían mejorar la condición de la calidad del agua en las ASADAS, permitiendo que el servicio de la ASADA hacia su comunidad sea seguro y adecuado.

### 6.2 Análisis de Resultados

#### 6.2.1 *Objetivo 1: Calidad del agua para consumo humano.*

Tomando en cuenta los resultados de la aplicación del IRCACH en datos de informes de resultados de análisis químicos otorgados por el Laboratorio Nacional de Aguas (AYA) para 36 ASADAS, se seleccionaron 10 ASADAS de la FLUS Chorotega con puntajes de riesgo más altos, a las que posteriormente se les invitó a participar en un taller, y se les realizaron análisis de calidad de agua de nivel 1 y algunos parámetros del nivel 2.

#### ➤ *Estudio de la calidad del agua de las 10 ASADAS según resultados del AyA.*

A continuación, se presentan los resultados según la determinación de la calidad del agua en las 10 ASADAS consideradas inicialmente que, según lo que se obtuvo a partir de los datos obtenidos a partir de los análisis realizados previamente, información proporcionada por el AyA se determinó la identificación de parámetros que no cumplen con el reglamento de la calidad del agua, de manera que a en la aplicación del IRCACH se obtuvo clasificación según el nivel de riesgo de la calidad, donde 1 de estas ASADAS posee un nivel de riesgo muy alto correspondiente al color rojo que tiene puntaje mayor a 30, además 5 ASADAS tienen nivel de riesgo intermedio que según la clasificación tiene puntaje entre 10 y 20 que se relaciona con la tonalidad amarilla, seguidamente se tienen 2 asociaciones que están dentro de la calificación de riesgo baja con puntaje entre 5 y 10 que se indica con color verde; finalmente el caso de las ASADAS que no poseen calificación del IRCACH se debe a que no se obtuvo información por parte del Laboratorio Nacional de aguas, sin embargo se procedió a analizar la calidad para determinar si se encuentra en condiciones adecuadas para su consumo.

Importante recordar que el consumo de agua con un pH ácido, y la presencia de aluminio o flúor, puede tener varios riesgos para la salud humana. Un pH ácido en el agua puede llevar a una mayor corrosión de los tubos, lo que podría resultar en la liberación de metales pesados como plomo o cobre en el agua. Esto puede causar una variedad de problemas de salud, incluyendo problemas neurológicos y renales. Por otro lado, la exposición prolongada al aluminio ha sido asociada con problemas neurológicos, incluyendo un posible vínculo con enfermedades como el Alzheimer. Aunque el flúor es añadido a menudo al agua para prevenir las caries dentales, su exceso puede causar fluorosis dental, que daña el esmalte de los dientes, y en niveles más altos, puede llevar a problemas óseos.

**Tabla 6.1. Resultados de la calidad del agua de las 10 ASADAS seleccionadas según resultados del AyA y la UNA (noviembre, 2023).**

<b>ASADAS</b>	<b>Parámetros que no cumplen con el reglamento en análisis del AyA</b>	<b>Clasificación IRCACH</b>	<b>Resultados análisis UNA</b>	<b>Observaciones</b>
Iguanita de Mansión	CE (us/cm): 413 T (°C): 31.2 Cloro LR (mg/l): 0.09	10	CE (us/cm): 422 T (°C): 29.6 Cloro LR (mg/l): 0.45	No apta para ingesta, rechazo por consumidores.
Esperanza Sur Nosara	CE (us/cm): 557 Calcio (mg/l): 109.8 Cloro LR (mg/l): 0.07	13	CE (us/cm): 526 Calcio (mg/l): 78.74 Cloro LR (mg/l): 2.50	No apta para ingesta, rechazo por consumidores.
Pita Rayada	N/A	N/A	CE (us/cm): 776 Cloro LR (mg/l): 0.00 CF (NMP/100ml): 74.9	Participantes del Taller
San Fernando de Sámará	pH: 9.29 CF (NMP/100ml): 6.3 Flúor (mg/l): 1.11	33	pH: 9.20 CF (NMP/100ml): ND Flúor (mg/l): 1.66	No apta para ingesta, rechazo por consumidores.
Matambuguito de Mansión	CE (us/cm): 413 T (°C): 31.2 Cloro LR (mg/l): 0.09	11	CE (us/cm): 562 T (°C): 27.9 Cloro LR (mg/l): ND	No apta para ingesta, rechazo por consumidores.
Barrio Guanacaste	CE (us/cm): 609	3	CE (us/cm): 542 T (°C): 30.9 Cloro LR (mg/l): 1.16	Apta para ingesta, pero susceptible a deterioro de calidad.
San Pedro de Santa Cruz	CE (us/cm): 435 Cloro LR (mg/l): 0.11	9	CE (us/cm): 519 Cloro LR (mg/l): 0.88 (unión 4 tanques)	Apta para ingesta, pero susceptible a deterioro de calidad.
El Millal	CE (us/cm): 660 T (°C): 30.9 Calcio (mg/l): 113.9 Color Ap (UPT-Co):18	12	CE (us/cm): 756 T (°C): 29.8 Calcio (mg/l): 105.2 Color Ap (UPT-Co):2 Cloro LR (mg/l): ND, red CF (NMP/100ml): 18.3, red	No apta para ingesta, rechazo por consumidores.
San Juan de Cañas	Aluminio (ug/l): 206.9 pH: 4.40 Cloro LR (mg/l): 0.16	15	Aluminio (ug/l): 212.65 pH: 4.50 Cloro LR (mg/l): ND	No apta para ingesta, rechazo por consumidores.
Cañal Pozo de Agua	N/A	N/A	CE (us/cm): 776 Cloro LR (mg/l): 0.00 CF (NMP/100ml): 74.9	Participantes del Taller

Riesgo muy bajo (RMB)	Riesgo bajo (RB)	Riesgo intermedio (RI)	Riesgo alto (RA)	Riesgo muy alto (RMA)
-----------------------	------------------	------------------------	------------------	-----------------------

Nota: CE: Conductividad eléctrica, T: temperatura, Cloro LR: cloro libre residual, CF: coliformes fecales, Color Ap: color aparente.

Fuente: Morales y Medina, con apoyo del HIDROCEC, 2023.

En el apartado de Anexos se pueden observar las tablas más detalladas de los resultados obtenidos en cada uno de los puntos seleccionados de las 7 ASADAS restantes (de las 10 ASADAS) y que fueron llevadas sus muestras para estudios en los laboratorios del HIDROCEC, en la UNA Campus Liberia, (Anexos del 6.1 al 6.7). Por otra parte, las ASADAS de El Millal, San Juan de Cañas y Cañal de Pozo de Agua, Nicoya, fueron las que, durante las visitas y los análisis, presentaron problemáticas más específicas, por lo que fueron seleccionadas para un estudio puntual en el que el resultado fuera ofrecer soluciones más puntuales y aplicables.

➤ ASADA Cañal de Pozo de Agua

En la ASADA de Cañal Pozo de Agua se determinó la presencia de concentraciones elevadas de coliformes fecales en una de las casas de habitación en donde se recolectaron muestras para su respectivo análisis, esto posiblemente esté relacionado a la existencia de fugas en la tubería que abastece de agua potable en el lugar. Asociado, además, el sistema de cloración con el que cuenta la ASADA es artesanal, lo que afecta la dosificación adecuada. En las Figuras 6.2 y 6.3 se observa el muestreo realizado en el acueducto.

**Figura 6.1. Toma de muestras en el tanque de la ASADA de Cañal Pozo de Agua (24 de mayo, 2023).**



Fuente: Morales y Medina, 2023.

**Figura 6.2. Toma de muestras en la red de la ASADA Cañal Pozo de Agua (24 de mayo, 2023).**



Fuente: Morales y Medina, 2023.

Se presentan a continuación, la Tabla 6.2 con resultados de calidad de agua del muestreo realizado el día 24 de mayo, 2023, en la ASADA Cañal Pozo de Agua, Nicoya para el N1 y algunos parámetros del N2.

**Tabla 6.2 Resultados de la calidad del agua de la ASADA Cañal Pozo de Agua.**

<b>Fecha muestreo:</b>	<b>24/5/2023</b>			<b>Muestreadores:</b>		<b>Johanna Rojas Conejo</b>	
<b>Nombre del Cliente:</b>	<b>Asada Cañal Pozo de Agua</b>						
<b>Sitio</b>	<i>Tanque de almacenamiento</i>	<i>Primera casa</i>	<i>Segunda casa</i>	<i>Tercera casa</i>	<i>Última casa</i>	<i>Pozo</i>	
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.09	0.15	0.18	0.15	0.16	0.19	
<b>pH</b>	7.11	7.19	7.33	7.24	7.25	7.01	
<b>T (C°)</b>	31	31	33.4	34	32.2	30.5	
<b>CE (µs/cm)</b>	776	776	773	775	771	779	
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	< 0.01	0.11	< 0.01	< 0.01	< 0.01	NA	
<b>Color (UC) aparente</b>	2	< 2	2	2	2	2	
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	38.9	34.1	980.4	99	88.4	ND	
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	ND	2	127.9	ND	ND	ND	

<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Fluoruro (mg/l)</i>	0.207	0.208	0.208	0.208	0.202	0.207
<i>Cloruro (mg/l)</i>	25.238	25.338	25.317	25.308	24.736	24.995
<i>Nitrato (mg/l)</i>	4.154	4.167	4.147	4.018	4.064	4.007
<i>Fosfato (mg/l)</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Sulfato (mg/l)</i>	26.881	26.997	26.97	26.99	26.364	26.89
<i>Amonio (mg/l)</i>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Calcio (mg/l)</i>	97.988	98.098	98.132	95.606	97.559	98.327
<i>Sodio (mg/l)</i>	22.546	22.604	22.662	22.931	22.924	22.013
<i>Magnesio (mg/l)</i>	27.224	27.364	27.332	27.319	27.485	27.487
<i>Potasio (mg/l)</i>	0.419	0.364	0.34	0.482	0.346	0.35
<i>Dureza (mg/l)</i>	125.202	125.462	125.464	122.925	125.044	125.814
<b>Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis). ND: No detectable (&lt;1.0)</b>						
<b>Realizado por: Johanna Rojas Conejo / Anny Guillén Watson</b>						
<b>Revisado por: María Teresa López Maietta</b>						

Fuente: HIDROCEC, 2023.

➤ ASADA El Millal

La ASADA El Millal está ubicada en Quebrada Honda de Nicoya. Dentro de los resultados obtenidos en los análisis de calidad de agua realizados en esta ASADA, se determinaron altas concentraciones de coliformes fecales y *Escherichia Coli* en la naciente y el tanque de almacenamiento, esto debido a que la ASADA, en ese momento, no contaba con un sistema de cloración, por lo que refleja condiciones alarmantes relacionadas a la inexistencia de sistema de cloración la cual desencadena problemáticas como la presencia de coliformes fecales y bacterias como, En esta ASADA hay usuarios que no aprueban la cloración del agua.

**Figura 6.3. Muestreo realizado en la ASADA El Millal (27 de junio, 2023).**



Fuente: Morales y Medina, 2023.

Se presentan a continuación, la tabla 6.3 con resultados de calidad de agua del muestreo realizado 27 de junio, 2023, en la ASADA El Millal para el N1 y algunos parámetros del N2.

**Tabla 6.3 Resultados de la calidad del agua de la ASADA El Millal.**

<b>Fecha muestreo:</b>	<b>27/6/2023</b>		<b>Muestreadores:</b>		<b>Álvaro Baldioceda Garro</b>	
<b>Nombre del Cliente:</b>	<b>Asada El Millal</b>					
<b>Sitio</b>	<i>Pozo</i>	<i>Naciente</i>	<i>Tanque de almacenamiento</i>	<i>Última casa</i>	<i>Primera casa</i>	<i>Casa del medio</i>
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.22	1.24	0.14	0.07	0.14	0.28
<b>Ph</b>	7.14	7.1	7.24	7.15	7.18	7.2
<b>T (C°)</b>	29.8	27.1	29.7	32.8	30.7	29.2
<b>CE (µs/cm)</b>	756	536	748	753	754	751
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Color (UC) aparente</b>	2	2	<2	<2	2	2

<i>Coliformes Totales (NMP/100 MI)</i>	6.3	> 2419.6	686.7	88.4	307.6	307.6
<i>Coliformes Fecales (NMP/100 MI)</i>	ND	108.6	198.9	18.3	133.3	133.4
<i>Escherichia coli (NMP/100 MI)</i>	ND	65.7	1	ND	1	ND
<i>Fluoruro (mg/l)</i>	0.212	0.199	0.259	0.208	0.202	0.212
<i>Cloruro (mg/l)</i>	18.575	3.442	18.806	18.603	18.759	18.855
<i>Nitrato (mg/l)</i>	2.228	2.981	2.275	2.239	2.279	2.256
<i>Fosfato (mg/l)</i>	ND	0.158	ND	ND	ND	ND
<i>Sulfato (mg/l)</i>	16.048	2.985	16.054	15.822	16.046	16.057
<i>Amonio (mg/l)</i>	0.029	0.019	0.008	0.007	0.005	0.006
<i>Calcio (mg/l)</i>	105.195	92.092	106.304	104.4	106.206	106.284
<i>Sodio (mg/l)</i>	25.364	2.309	24.589	24.048	24.509	24.533
<i>Magnesio (mg/l)</i>	10.236	2.675	10.192	10.06	10.194	10.233
<i>Potasio (mg/l)</i>	0.818	0.51	0.693	0.678	0.671	0.656
<i>Dureza (mg/l)</i>	115.431	94.767	616.496	105.078	116.4	116.517
<i>Aluminio (mg/l)</i>	<0.019	0.12647	<0.019			
<i>Arsénico (mg/l)</i>	<0.006	<0.006	<0.006			
<b>Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis). ND: No detectable (&lt;1.0)</b>						
<b>Realizado por: Johanna Rojas Conejo /Anny Guillén Watson</b>						
<b>Revisado por: María Teresa López Maietta</b>						

Fuente: HIDROCEC, 2023.

➤ *ASADA San Juan de Cañas*

En la ASADA San Juan de Cañas se encontraron parámetros como el pH del agua y aluminio en condiciones alteradas, con respecto a lo que establece el reglamento para la calidad del agua potable (No 38924-S), lo cual podría estar asociado a la composición geológica del suelo, que generan un pH ácido en el agua y altas concentraciones de aluminio. Además, en la ASADA se identificaron otros problemas como el rebalse del tanque de almacenamiento, así como también, se ha realizado el hallazgo de ciertas fugas en la tubería que distribuye el agua desde la naciente hasta su principal tanque de almacenamiento, lo cual,

perjudican la calidad microbiológica del agua potable dentro de este acueducto rural. En las Figuras 6.4 a la 6.6, se presenta información sobre el muestreo realizado en la naciente de la ASADA.

*Figura 6.4. Toma de muestra en la naciente de la ASADA San Juan de Cañas (25 de octubre, 2023).*



Fuente: HIDROCEC, 2023.

*Figura 6.5. Problema de rebalse del tanque de la ASADA San Juan de Cañas (25 de octubre, 2023).*



Fuente: HIDROCEC, 2023.

*Figura 6.6. Recolecta de muestras del tanque de la ASADA de San Juan, Cañas (25 de octubre 2023).*



Fuente: HIDROCEC, 2023.

En esta ASADA se realizó una visita de campo con el especialista hidrogeólogo Msc. Ing. Maynor Ruíz, quien es un investigador de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, con la finalidad de tener apoyo científico para entender la condición geológica de la zona, asociada con las problemáticas de calidad de agua encontradas. Otra de las condiciones que se encontraron en la ASADA es que su pastilla de cloración no se disuelve adecuadamente, por lo que tomando en cuenta las recomendaciones de los profesores tutores, se realiza una curva de cloro para el agua de la fuente, para determinar si se está administrando de manera correcta en el sistema de cloración o, si se debía a otra circunstancia asociada con el pH del agua lo que hacía que los resultados de cloro en agua siempre serán 0 mg/l. Mayor discusión en Sección 6.3. En la figura 6.7 se presentan las actividades de visita de campo realizadas en la ASADA.

**Figura 6.7. Interacción con el Msc. Ing. Maynor Ruiz (a la derecha) en la ASADA de San Juan, Cañas (25 de octubre 2023).**



Fuente: Morales y Medina, 2023.

Se presentan a continuación, la tabla 6.4 con resultados de calidad de agua del muestreo realizado 27 de junio, 2023 en la ASADA San Juan de Cañas para el N1 y algunos parámetros del N2.

**Tabla 6.4 Resultados de la calidad del agua de la ASADA San Juan de Cañas**

Fecha muestreo:		27/6/2023			Muestreador	Álvaro Baldioceda
Nombre del Cliente:		Asada San Juan Cañas				
Sitio	Tanque de almacenamiento	Naciente	Primera casa	Casa del medio	Última casa	
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.62	0.16	0.11	0.29	0.19	
<b>pH</b>	4.47	4.4	4.5	4.51	4.5	
<b>T (C°)</b>	26.2	26.1	26.2	27.8	27.4	
<b>CE (µs/cm)</b>	43	43	44	42	43	
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	0.2	NA	0	0	0	
<b>Color (UC) aparente</b>	<2	<2	2	2	2	
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	ND	90.6	ND	5.2	8.5	

<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	ND	5.2	ND	1	1
<b><i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	2	ND
<b><i>Fluoruro (mg/l)</i></b>	0.012	0.023	0.019	0.026	0.026
<b><i>Cloruro (mg/l)</i></b>	1.653	1.373	1.492	1.356	1.361
<b><i>Nitrato (mg/l)</i></b>	0.093	0.108	0.085	0.089	0.088
<b><i>Fosfato (mg/l)</i></b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b><i>Sulfato (mg/l)</i></b>	9.342	8.457	8.373	8.366	8.341
<b><i>Amonio (mg/l)</i></b>	0.002	0.002	0.005	ND	0.002
<b><i>Calcio (mg/l)</i></b>	1.951	1.014	0.839	0.775	0.708
<b><i>Sodio (mg/l)</i></b>	1.03	0.958	1.002	1.082	1.081
<b><i>Magnesio (mg/l)</i></b>	0.115	0.098	0.142	0.167	0.165
<b><i>Potasio (mg/l)</i></b>	0.483	0.504	0.48	0.503	0.516
<b><i>Dureza (mg/l)</i></b>	2.066	1.112	0.981	0.942	1.224
<b><i>Aluminio (mg/l)</i></b>	0.21265	0.25491			
<b><i>Arsénico (mg/l)</i></b>	<0.006	<0.006			
<b>Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis). ND: No detectable (&lt;1.0)</b>					
<b>Realizado por: Johanna Rojas Conejo / Anny Guillén Watson</b>					
<b>Revisado por: María Teresa López Maietta</b>					

Fuente: HIDROCEC, 2023.

### 6.2.2 Aplicación de la herramienta *SERSA* en las 3 ASADAS seleccionadas.

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos a partir de la aplicación del *SERSA* en las asadas seleccionadas para su respectivo análisis de cada uno de los 3 escenarios distintos expuestos con anterioridad.

#### ➤ ASADA El Millal

##### a) Aplicación del *SERSA*

El día 23 de agosto del 2023, se aplicó la Guía de Inspección para Calidad del Agua Potable-*SERSA* en la ASADA El Millal. Don Pedro Antonio Matarrita, presidente de la ASADA, fue el encargado de contestar dicho documento. Se menciona que el ente administrador corresponde a una ASADA rural que abastece a la comunidad de El Millal, la cual abastece a un total de 32 abonados (96 personas aproximadamente).

Este acueducto posee mecanismos de abastecimiento por gravedad y por bombeo, así como también cuenta con un sistema de desinfección denominado dosificación por inyección, el cual es el único tratamiento con el que se cuenta en este acueducto construido en la década de 1980, donde sus captaciones provienen de una naciente, debidamente registrada en MINAE, y un pozo.

b) Diagnóstico de la infraestructura

Previo a las fichas de campo aplicadas, es importante mencionar que en cuanto la naciente, esta captación está dada en caseta; posee un pozo perforado, de una profundidad de 30 metros y con una extracción por bomba eléctrica. También, cuenta con un tanque de almacenamiento elevado y de concreto, al cual se le realiza una limpieza de forma semestral, y por último está la línea de conducción, la cual tanto la línea de conducción como la tubería de distribución, son de material PVC.

➤ ASADA Cañal de Pozo de Agua

a) Aplicación del SERSA

El Cañal de Pozo de Agua es un acueducto de carácter rural. La señora Sofía Gómez, fue la persona quien colaboró con la encuesta como ente operador. En esta ASADA están inscritos 70 abonados, es decir, 340 personas aproximadamente, que pertenecen a la comunidad de Cañal Pozo de Agua.

Dicho acueducto trabaja bajo el mecanismo de abastecimiento por gravedad y bombeo en 2 secciones distintas, con su respectivo sistema de desinfección por método de pastilla, aplicado posterior a la captación de aguas subterráneas mediante pozo. Respecto al funcionamiento, este acueducto no cuenta con permiso sanitario de funcionamiento, un registro de captación ante el MINAE y un programa de control de calidad del agua. Sin embargo, si cuentan con un registro de análisis de calidad de agua mensual del vigente año.

a) Diagnóstico de la infraestructura de la ASADA

El acueducto cuenta con un pozo perforado con profundidad de 40 m, el cual, es tomado por medio de bomba eléctrica. Cuenta con un tanque de almacenamiento elevado, elaborado con material de concreto, con una frecuencia de limpieza de cada 6 meses aproximadamente. Las líneas de conducción y sistema de distribución se encuentran en su totalidad de Policloruro de vinilo (PVC).

➤ ASADA San Juan de Cañas

a) Aplicación del SERSA

La Guía de Inspección para la Calidad del Agua Potable- SERSA fue aplicada en la ASADA San Juan de Cañas el día 27 de junio, 2023. Es un acueducto de carácter rural. La Señora Cindy Barrantes fue la persona representante de la ASADA responsable de responder la encuesta. En la ASADA están

inscritos 49 abonados, es decir, 97 personas aproximadamente que pertenecen a la comunidad de San Juan únicamente.

El acueducto trabaja bajo el mecanismo de abastecimiento por medio de 4 válvulas reguladoras de presión en su sistema de distribución posterior a ser conducida por medio de gravedad desde su captación. Además, cuenta con su respectivo sistema de desinfección por método de pastilla, aplicado posterior a la salida del tanque de almacenamiento. El acueducto cuenta con el respectivo permiso sanitario de funcionamiento, registro de captación de la fuente ante el MINAE y registro de análisis de agua por parte de la Universidad Nacional. Sin embargo, no poseen programa de control de calidad del agua.

*b) Diagnóstico de la infraestructura*

En cuanto al aprovechamiento por captación de manantiales y nacientes, se tiene una naciente captada por medio de caseta con la toma de 3 l/s aproximadamente y conducida por gravedad al tanque de almacenamiento. Además, se tiene el tanque de almacenamiento a nivel del terreno elaborado con material plástico en el que se realiza la limpieza con frecuencia mensual, por último, las líneas de conducción están elaboradas por (PVC), mientras que en secciones de distribución hay presencia de material de hierro galvanizado.

Realizadas las visitas de inspección con el fin de aplicar diagnóstico a partir de la guía de formulación SERSA, que corresponde al Ministerio de Salud, se obtienen los siguientes resultados expuestos en las tablas de la 6.4 a la 6.8, para determinar la clasificación de riesgos considerando cada uno de los 3 escenarios distintos.

Seguidamente, se presenta la identificación de los factores de riesgo en la naciente o manantial para las ASADAS de El Milla y San Juan (de las 3 ASADAS del estudio, son las únicas que tienen nacientes como fuente de agua), como método de resguardar el recurso hídrico desde su punto de toma hasta la distribución de este (Ver Tabla 6.4).

**Tabla 6.5. Identificación de factores de riesgo de la naciente o manantial en las ASADA El Millal y San Juan.**

Identificación de factores de riesgo de la naciente o manantial	El Millal		San Juan de Cañas	
	Sí	No	Sí	No
¿La naciente está sin una malla de protección?	X		X	
¿La naciente está abierta a la contaminación ambiental?	X			X
¿La tapa fue construida en condiciones no sanitarias, cuenta con candado?	X		X	
¿Tiene grietas en las paredes o la losa superior?	X		X	
¿Carece de canales que permitan desviar agua por escorrentía?		X	X	
¿Carece de captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla?	X		X	
¿Se encuentra materia orgánica dentro de la naciente?	X			X
¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación?		X		X
¿Existe alguna fuente de contaminación en los alrededores?		X		X
¿Se encuentra la captación en zona agrícola o industrial?		X		X

Fuente: Morales y Medina, modificado a partir del Ministerio de Salud, 2023.

La identificación de los riesgos en pozos juega un papel importante en la seguridad hídrica, identificados a continuación en las ASADAS de El Millal y Cañal de Pozo de Agua (Ver Tabla 6.5).

**Tabla 6.6. Identificación de factores de riesgo del pozo aprovechado en las ASADAS El Millal y Cañal de Pozo de Agua.**

Identificación de factores de riesgo del pozo	El Millal		Cañal Pozo de Agua	
	Sí	No	Sí	No
¿El pozo carece de canal de desagüe?		X		X
¿Carece de malla de protección en el terreno del pozo?		X		X
¿Carece de piso de concreto alrededor?	X			X
¿Presencia de letrinas o tanque séptico a menos de 30 m. de radio del pozo?		X		X
¿Existe letrina o tanque séptico más cercanos en un nivel más alto que el pozo?	X			X
¿Existen otras fuentes de contaminación alrededor o arriba del pozo por actividades en la comunidad?	X			X

¿Se presentan estancamientos de aguas en los alrededores del pozo?		X	X	
¿El pozo de encuentra expuesto a la contaminación ambiental?		X		X
¿Están los alrededores del pozo elevados?		X		X
¿La bomba del pozo se encuentra floja en la unión a su base?		X		X

Fuente: Morales y Medina, modificado a partir del Ministerio de Salud, 2023.

A continuación, se tiene una comparación de la acción sobre el almacenamiento por parte de las 3 ASADAS y las condiciones en las que se encuentra el mecanismo para satisfacer a los abonados de cada uno de los sistemas (Ver Tabla 6.6).

*Tabla 6.7. Identificación de factores de riesgo del tanque de almacenamiento de la A SADAS seleccionadas.*

Identificación de factores de riesgo del tanque de almacenamiento	El Millal		Cañal Pozo de Agua		San Juan de Cañas	
	Sí	No	Sí	No	Sí	No
¿La estructura tiene las paredes agrietadas?		X		X		X
¿Las tapas del tanque de almacenamiento están construida en condiciones no sanitarias?	X		X			X
¿Carece la estructura externa de mantenimiento?	X		X			X
¿Está ausente el funcionamiento del sistema de cloración?		X		X		X
¿El nivel del agua está a 1/4 del volumen del tanque y escaleras internas oxidadas?		X	X			X
¿Presencia de sedimentos, algas u hongos materia orgánica dentro del tanque?	X		X			X
¿Está ausente la malla de protección?	X		X		X	
¿Carece de tapa de cierre con sistema de seguridad?		X	X		X	
¿Carece el tanque de respiradero o de tubería de rebalse con rejilla de protección?	X		X		X	
¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque?	X		X		X	

Fuente: Morales y Medina, modificado a partir del Ministerio de Salud, 2023.

Como parte fundamental del sistema se tiene las líneas de conducción y distribución tendientes a daños estructurales por lo que la identificación de riesgos en el sistema permite la buena gestión por parte de la asociación, condiciones distintas expuestas a continuación según las 3 ASADAS seleccionadas (Ver Tabla 6.7).

*Tabla 6.8. Identificación de factores de riesgo del sistema de distribución de la ASADAS seleccionadas.*

Identificación de factores de riesgo de la línea de conducción y el sistema de distribución	El Millal		Cañal Pozo de Agua		San Juan de Cañas	
	Sí	No	Sí	No	Sí	No
¿Existe alguna fuga en la línea de conducción?	X		X		X	
¿Hay fugas visibles en red de distribución?	X		X		X	
¿Hay variaciones significativas de la presión en la red de distribución?		X		X		X
¿Carece de cloro residual alguna zona en la red principal de distribución?	X		X		X	
¿Existen interrupciones constantes del servicio?		X	X			X
¿Carecen de sistema para purgar la tubería?	X			X		X
¿Carecen de fontanero de mantenimiento de la red?	X			X		X
¿Carecen de esquema del sistema de distribución?		X	X		X	

Fuente: Morales y Medina, modificado a partir del Ministerio de Salud, 2023.

Una vez obtenidos todos los resultados de la aplicación del instrumento del SERSA en las 3 diferentes ASADAS seleccionadas, para un estudio a mayor profundidad se procedió a sacar el puntaje de “Sí” obtenidos en cada uno de los casos, para con ello lograr obtener un puntaje que permitiera realizar la clasificación de riesgos según la cantidad de deficiencias observadas en las estructuras dentro de cada acueducto rural en estudio (Ver Tabla 6.8).

**Tabla 6.9. Resumen de la clasificación del riesgo según la deficiencia en las ASADAS seleccionadas.**

ASADA	Infraestructura	Puntaje	Riesgo
<i>El Millal, Quebrada Honda</i>	Naciente	6	Muy alto
	Pozo	3	Intermedio
	Tanque de almacenamiento	6	Alto
	Línea de distribución	5	Alto
<i>Cañal Pozo de Agua</i>	Pozo	1	Bajo
	Tanque de almacenamiento	8	Muy alto
	Línea de distribución	5	Alto
<i>San Juan de Cañas</i>	Naciente	5	Alto
	Tanque de almacenamiento	4	Intermedio
	Línea de distribución	4	Intermedio

Fuente: Morales y Medina, 2023.

Finalmente, se identificaron las siguientes problemáticas en cada una de las 3 ASADAS analizadas anteriormente:

**Tabla 6.10. Resumen de las problemáticas detectadas en cada una de las 3 ASADAS seleccionadas.**

ASADAS	Problemáticas
El Millal, Quebrada Honda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bacterias en la naciente.</li> <li>• Dureza en el agua.</li> <li>• Inexistencia de sistema de cloración.</li> </ul>
Cañal Pozo de Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de cloración obsoleto.</li> <li>• Dureza en el agua.</li> <li>• Fugas en la tubería.</li> <li>• Presencia de bacterias.</li> <li>• Cercanía del sistema con actividades agrícolas.</li> </ul>
San Juan de Cañas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua con pH ácido.</li> <li>• Cloración ineficiente.</li> <li>• Poca demanda para volumen de captación se desperdicia agua</li> <li>• Presencia de altas concentraciones de aluminio</li> </ul>

Fuente: Morales y Medina, 2023.

Además, en las 3 ASADAS seleccionadas se logra identificar una faltante de documentación y conocimiento por parte de ciertos funcionarios encargados del acueducto comunal correspondiente, a como también de las instalaciones dentro de los mismos.

### ***6.2.3 Estrategias de mejora para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico.***

A partir de los resultados obtenidos en la sección 6.2 y 6.3 expuestas anteriormente, se considera la importancia de elaborar estrategias para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico en las 3 ASADAS evaluadas.

#### **➤ ASADA El Millal**

En la ASADA El Millal se encontraron concentraciones altas de coliformes fecales y E. coli en el agua consumida por los abonados, la instalación de un sistema de cloración previa a la distribución mejoraría las condiciones acordes al reglamento para la calidad de agua potable (No 38924-S) cumpliendo con los parámetros máximos permisibles con respecto al agua para consumo humano.

La acción se tomó por parte del HIDROCEC, Universidad Nacional, Campus Liberia, en conjunto con los profesionales de la Liga Comunal del Agua en Hojancha, donando e instalando en esta ASADA un sistema dosificador de cloro, el cual cuenta con una bomba dosificadora de cloro que posee un potencial de inyección de 150 psi hacia la red, es decir 0.5 l/min aproximadamente. Su instalación es automatizada respecto a la bomba de manera simultánea, es decir, al momento de la activación del bombeo al pozo, se inicia el proceso de cloración mediante dos funciones. La primera función está dada por la absorción del cloro líquido que se encuentra con una concentración del 12%, pasando por la bomba, hacia la segunda función de inyección de la dosis requerida por la red, para ser conducida hacia su equipo de almacenamiento.

Cabe mencionar que este sistema de cloración es uno de los más estables, requiere de pocas manipulaciones por parte de especialistas y posee la mayor función óptima que al mismo tiempo es la requerida en sus aguas por parte de todas aquellas personas que se ven beneficiadas del servicio de abastecimiento de agua potable que brinda actualmente la ASADA de El Millal. A continuación, se presentan en las Figuras 6.7 a 6.9, las actividades llevadas a cabo durante la instalación de este sistema de cloración en la ASADA de El Millal.

**Figura 6.7. Pozo de la ASADA El Millal, lugar donde se realizó la instalación del sistema de cloración dentro del acueducto (23 de agosto, 2023).**



Fuente: Morales y Medina, 2023.

**Figura 6.8. Prima parte de los componentes del sistema de dosificación de cloro instalado en la ASADA El Millal (23 de agosto, 2023).**



Fuente: Morales y Medina, 2023.

*Figura 6.9. Segunda parte de los componentes del sistema de dosificación de cloro instalado en la ASADA El Millal (23 de agosto, 2023).*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

El HIDROCEC también dona un equipo para medir Cloro libre residual en la ASADA, esto con la finalidad de que se pueda monitorear la funcionalidad del sistema de cloración. El equipo fue entregado por parte de la Msc. Johanna Rojas Conejo y la Msc. María Teresa López Maietta, del área de calidad de aguas del HIDROCEC. Este equipo fue recibido por el señor Pedro Antonio Matarrita, quien es el presidente de esta ASADA, el lunes 25 de septiembre del 2023 (Ver Figura 6. 10).

*Figura 6.10. Donación de equipo para medición del cloro en la ASADA de El Millal (25 de septiembre, 2023).*



Fuente: HIDROCEC, 2023.

➤ ASADA Cañal de Pozo de Agua

En la ASADA de Cañal Pozo de Agua la problemática también se relaciona con el sistema de cloración. que las mejoras en este sistema permitirían minimizar la presencia de bacterias en el sistema de distribución y, al mismo tiempo, contrarrestar la situación que se tiene respecto a las condiciones en las que se encuentra este sistema de abastecimiento de agua potable.

Como recomendación, es importante que se mantenga un correcto monitoreo en la red, para determinar fugas que puedan alterar la calidad del agua por la presencia de bacterias en el tanque de almacenamiento que se encuentra ubicado en medio de una finca con presencia de animales y no posee ningún encierro, situación que compromete su seguridad. Lo que se recomienda es reubicar el tanque en un sector adecuado.

Se conoce que el sistema de cloración que utiliza la ASADA para desinfección es bastante obsoleto y poco efectivo, por lo que es necesario optar por fondos económicos con los que se pueda obtener un sistema de cloración acorde a las necesidades es importante, como el caso de clorador por medio de pastilla previo al ingreso en tanque de almacenamiento, en donde se estaría efectuando el tiempo mínimo de contacto y es regulado acorde a la necesidad de la comunidad; sistema que no requiere instalación ni costo

energético que pueda resultar económico y mejor acceso con modificación en la tubería de ingreso al tanque, estableciendo un área de contacto de la pastilla y agua proveniente del pozo.

➤ *ASADA San Juan de Cañas*

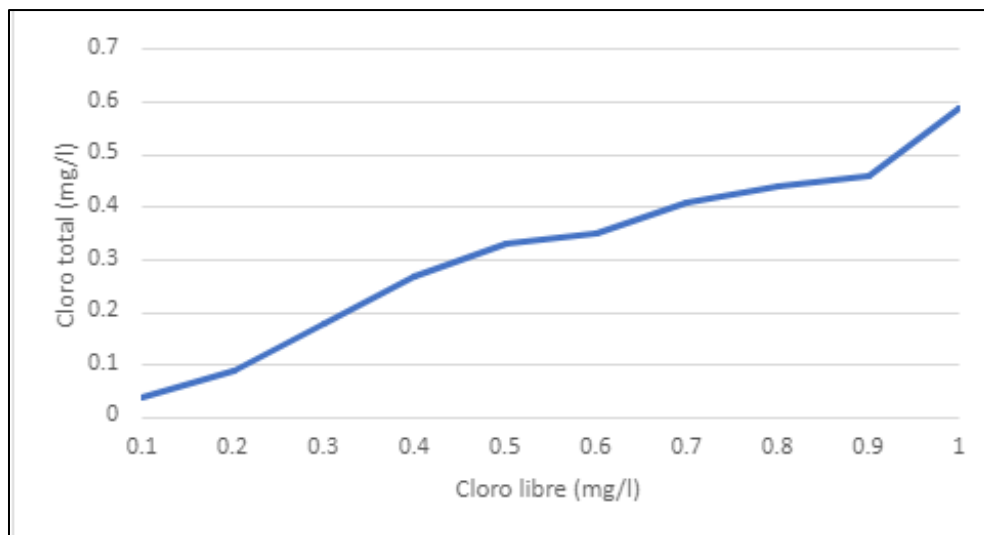
En la ASADA de San Juan de Cañas, dada a la problemática visible en el lugar debido a la presencia de aluminio en sus aguas, se decidió realizar una investigación más a fondo para determinar sus causas y posibles consecuencias en los seres humanos que habitan en la zona y que son dependientes del abastecimiento de agua que brinda este acueducto.

En primer lugar, se ha desarrollado una curva de cloro con muestra de la naciente de dicha ASADA y una de las pastillas de cloro que emplea por la asociación para la identificación del comportamiento de desinfección que efectúa la pastilla en el sistema aplicado por la ASADA, en donde teóricamente en el desarrollo de una curva de cloro debe existir un punto de ruptura que se debe al momento donde el cloro excede el contaminante, por lo que se genera la desinfección y eliminación de microorganismos u elementos presentes en el agua; sin embargo, para el caso de la ASADA San Juan de Cañas no se evidencia el punto de ruptura que demuestre el proceso de desinfección efectivamente de manera que se cumpla con lo establecido en el reglamento respecto al cumplimiento en cuanto a la desinfección y calidad del recurso hídrico que indica el reglamento para la calidad de agua (No 38924-S), esto porque en las pruebas de laboratorio a medida que se añadía cloro total que corresponde al cloro agregado a la muestra, aumente continuamente el cloro libre sin generar impacto sobre la muestra.

Además, al momento de realizar repetidamente la curva en el laboratorio se determinó que el tiempo de disolución de la dosis de pastilla empleada en un litro de agua destilada (solución madre) superaba los 30 minutos con el apoyo de agitación y continuo movimiento de la muestra; de igual manera sucedía al mezclar la dosis de la pastilla de cloro con el agua de la ASADA, esta tomaba un aproximado de 25 minutos con movimiento continuo para lograr su disolución, por lo que a partir de una recomendación de expertos, se identificó otra inconsistencia en el sistema desarrollado para la distribución del recurso hídrico a la comunidad, siendo el tiempo de contacto insuficiente para la debida disolución de la pastilla de cloro utilizada.

En el caso de esta ASADA, es importante que además de los análisis que ya se realizaron para el aluminio y el arsénico, se obtengan datos de otros análisis de metales que puedan relacionarse con el Ph ácido de las aguas, por lo que se ha coordinado con el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, para realizar un análisis más completo (un análisis a nivel 3).

*Figura 6.11. Curva de cloro de la ASADA San Juan de Cañas para la determinación del comportamiento de la pastilla de cloro con el agua de la naciente (10 de noviembre, 2023).*



Fuente: Medina y Morales, 2023.

Se observa que el sistema de cloración con el que trabaja la ASADA no corresponde al adecuado diseño necesario para las condiciones requeridas, por lo que es necesaria la modificación del sistema que contemple el ajuste de tiempo y área de contacto de la pastilla utilizada por la ASADA, es decir, que el momento por el cual pasa el agua desde la captación a la desinfección sea previo al almacenamiento, sitio donde se espera que se cumpla el tiempo de contacto mínimo. Además, dentro de otros ajustes contemplados es la instalación de una válvula que regule la velocidad y presión con la que se dirige el agua desde su captación hacia el clorador, y pueda ser utilizado el segundo tanque de almacenamiento conectados entre sí para evitar el rebalse y pérdida de agua desinfectada, que al momento de que la boya suba se detenga la toma de captación en la naciente y no se genere picos de presión que dañen la tubería.

Importante mencionar que el pH del agua influye considerablemente en la disolución y eficacia del cloro, particularmente en la forma de pastillas para la purificación del agua potable. Se ha enseñado tradicionalmente que un pH más bajo implica un cloro más potente, debido a un mayor porcentaje de ácido hipocloroso (HOCl), el componente más eficaz del cloro para la desinfección. Por ejemplo, con un pH de aproximadamente 7.5, la proporción de HOCl es aproximadamente 50-50, pero con un pH de 7.2, el porcentaje de cloro fuerte aumenta a 70%. Sin embargo, la presencia de ácido isocianúrico (CYA) en el agua cambia esta relación. El CYA puede controlar la fuerza del cloro independientemente del pH, aunque este último sigue siendo crítico para el equilibrio del agua. En presencia de CYA, las concentraciones de HOCl caen por debajo del 3% incluso con solo 30 ppm de CYA. Esto significa que el cloro, aunque

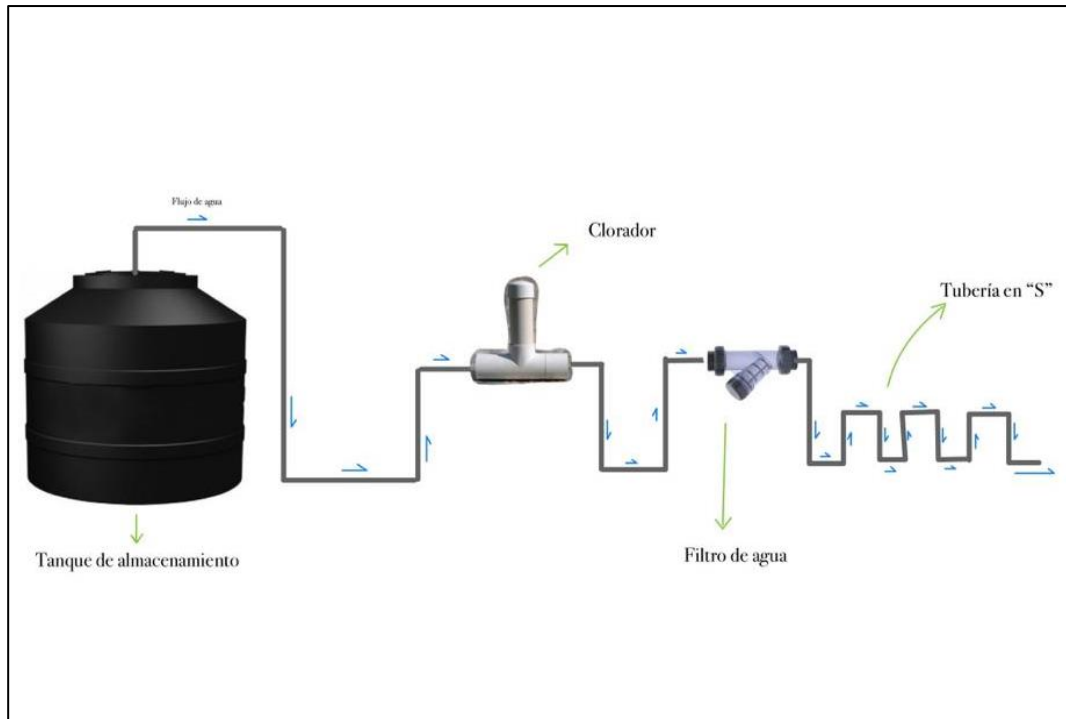
estabilizado por el CYA, actúa más lentamente, lo que aumenta el tiempo necesario para la desinfección (Orenda Technologies, 2023).

En resumen, el ácido isocianúrico modifica fundamentalmente las reglas de la desinfección con cloro. Aunque el pH sigue siendo un factor importante en el equilibrio del agua, la relación entre el cloro libre y el ácido isocianúrico es crucial para una desinfección eficaz, siendo más importante que la concentración de cloro libre en partes por millón (ppm).

Dado a este análisis, se ha indagado un poco más respecto a las consecuencias que genera el consumo de agua con alta presencia de aluminio en el cuerpo humano, así como el método de eliminación del metal aluminio en el agua para consumo por medio del intercambio iónico que, según (IMA Water Technology, 2016) se basa en la utilización de resinas que atrapan los iones de aluminio presentes en el agua a medida que a traviesan el paso de la resina, la cual con el proceso de manera continua se satura, por lo que se debe regenerar para cumplir con el propósito de eliminación.

Por otro lado, según el análisis que se realizó a la figura 6.11 del comportamiento de la pastilla de cloro utilizada en la comunidad para procesos de desinfección, al identificar en el proceso de la curva de cloro que la disolución tomó aproximadamente 25 minutos con la muestra recolectada del lugar se relaciona la inexistencia de cloro residual en el agua consumida debido al poco tiempo de contacto que tiene el agua con el cloro y desintegración de esta por lo que se realiza un prediseño de tubería en “S” que con el ascenso y descenso en el proceso de conducción retrasa la llegada a la tubería de consumo además de crear mayor movimiento en cada cambio de altura. (Ver figura 6.12)

*Figura 6.12. Ajuste sugerido en el diseño del sistema de cloración actual de la ASADA San Juan de Cañas.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

Además, con las visitas de campo e identificación de fallas en el sistema ejecutado, relacionado a la capacidad, se procedió a realizar un balance hídrico según AyA (2019) se determinó que la capacidad del sistema es mucho mayor a la demanda de la comunidad, razón por la que se presenta rebalse de capacidad del tanque de almacenamiento, ya que en la comunidad se consume 0.58 l/s al 2023, por lo que 2.42 l/s son desperdiciados en el sistema por lo que en caso de establecer ajustes en el sistema previo al tanque de almacenamiento se tiene menor control sobre procesos y mala gestión. (Ver figura 6.13)

**Figura 6.13. Balance Hídrico de la zona donde se ubica la ASADA de San Juan en Cañas, Guanacaste.**

Resultados del Balance Hídrico					
Proyecciones					
Año	Servicios	Demanda (L/s)	Producción (L/s)	Balance Hídrico (L/s)	Interpretación
2023	49	0,58	3,00	2,42	ASADA cuenta con capacidad hídrica para nuevos servicios
2028	51	0,60	3,00	2,40	ASADA cuenta con capacidad hídrica para nuevos servicios
2033	53	0,61	3,00	2,39	ASADA cuenta con capacidad hídrica para nuevos servicios
2038	55	0,64	3,00	2,36	ASADA cuenta con capacidad hídrica para nuevos servicios
2043	58	0,68	3,00	2,32	ASADA cuenta con capacidad hídrica para nuevos servicios

Fuente: AyA, 2019.

A partir de esta analogía anterior, se elaboró una infografía que pueda ser aprovechada por todas las ASADAS como una manera de recordatorio sobre las dimensiones de los parámetros en los que debe estar el agua que distribuyen como sistema de abastecimiento comunal, esto con tal fin de reducir los impactos y mala gestión del acueducto generados por los distintos componentes contenidos en el agua para consumo humano. Ver anexo 6.10. Mayor discusión sección 6.3.

### 6.3 Discusión

#### 6.3.1 Principales Hallazgos

➤ Calidad del agua para consumo humano.

A través de las respectivas visitas en campo, se ha descubierto la importante exposición que tenía la infraestructura de distribución de agua potable de la ASADA Cañal Pozo de Agua, con la carga bacteriana asociada a las fugas, poca eficiencia del sistema de cloración actual y la ubicación del tanque de almacenamiento en un sitio con presencia de animales.

De igual manera, la afectación que puede tener la inexistencia de un adecuado sistema de cloración en la ASADA El Millal, altera los resultados de la cantidad de microorganismos malignos presentes en el agua. Así como también, el descubrir la gran influencia que tiene la geología del suelo en un lugar determinado y cómo el mal estado de las redes de distribución por presencia de fugas o desgastes en el material, pueden llegar a alterar sus aguas, alterando parámetros como el pH y la conductividad. Así como también, el descubrir la gran influencia que tiene la geología del suelo en un lugar terminado y cómo el mal estado de las redes de distribución por presencia de fugas que puede alterar sus aguas, parámetro como el pH y la conductividad.

El estudio lleva a la conclusión de que estas ASADAS requieren mejorar la condición de sus sistemas, de manera que la calidad del agua no se vea comprometida y pueda ser potable para sus poblaciones abastecidas.

➤ Aplicación de la herramienta SERSA en las 3 ASADAS seleccionadas.

Realizado el diagnóstico en cada una de las ASADAS se determinó como el nivel de riesgo en la clasificación antes expuesta, donde se evidencia la falta de documentación como el caso de permisos sanitarios e inscripción de pozos aprovechados ante las respectivas instituciones, como parte de su formación para abastecimiento de sus aguas y, en algunos casos, el incumplimiento por tiempo de vigencia, por lo que se requiere la necesidad de orientación en procesos técnicos que faciliten el cumplimiento en la legislación establecida para las ASADAS en el país.

➤ Estrategias de mejora para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico.

Como principales hallazgos de esta etapa del proyecto, se tiene el aporte de HIDROCEC y la Liga Comunal del Agua como una manera de solución y fortalecimiento a las asociaciones comunales para asegurar el recurso hídrico con la colocación de sistema de cloración en la ASADA El Millal, Quebrada Honda, de manera que se fortalece la relación entre la comunidad e institución. De igual manera, dichas instituciones han donado equipos para la medición de parámetro como el cloro residual en el agua, esto en ASADA El Millal y Cañal de pozo de Agua. Parte de este hallazgo, fue el llegar a descubrir que esta ASADA carecen de un sistema de cloración adecuado y su debido equipo de medición. Don Pedro mencionaba que parte de esto no era posible en su acueducto dado a la falta de presupuesto para el coste del equipo especializado y que, a su vez, se necesitaba de un mayor apoyo por parte de entidades concedoras del tema hidrológico de la región, así como también de la importancia y la adecuada interpretación de sus datos en los respectivos análisis que se realizan cada cierto tiempo. En el caso de la ASADA de El Millal, la problemática ya fue solventada, y ahora esta ASADA cuenta con un adecuado sistema de cloración, pero dentro del proyecto todavía está pendiente el monitoreo reciente de los parámetros microbiológicos que garanticen la efectividad del nuevo sistema.

Por otra parte, en el caso de la ASADA San Juan de Cañas, se obtuvo el aporte del Ing. Maynor Ruiz para un mayor análisis de la condición presente en cuestión de estudiar las formaciones geológicas que puedan influir en el estado del agua para consumo en la región y al mismo instante, se contó con una inesperada ayuda vía electrónica de especialistas del AyA y el Laboratorio Nacional de Aguas, en donde luego de una exhaustiva investigación se logra comprender la procedencia de la acidez del agua y cómo esta afecta descomposición de las pastillas de cloro empleadas en esta ASADA.

Durante una de las visitas a la ASADA, se logró observar el rebalse de agua en el tanque de almacenamiento, de manera que se sugiere ejecutar el uso del segundo tanque que ya posee la asociación, así mismo, establecer una reestructuración del sistema de cloración, que permita hacer un control de dosificación de cloro en la red de distribución

Como parte de las recomendaciones que se quieren brindar a esta ASADA en particular, está el considerar la instalación de una válvula de escape en un tanque, sin embargo, antes de cualquier acción es importante entender el rol y las especificaciones de dicha válvula. Una Válvula de Alivio de Presión y Vacío (PVRV) es un componente clave en los sistemas de ventilación de tanques, protegiéndolos contra rupturas por aumentos en la presión interna o implosión debido a vacío. Estas válvulas son cruciales para prevenir daños permanentes al tanque, especialmente en escenarios como el bombeo de líquidos o cambios térmicos significativos. Las PVRV típicamente ventilan a la atmósfera, pero pueden diseñarse para dirigir los vapores para su recuperación o destrucción. Generalmente se instalan en una boquilla con brida en la parte superior del techo fijo de un tanque de almacenamiento atmosférico o de baja presión (AIChE, 2015).

Adicionalmente, los diseños líderes en la industria de válvulas de alivio de presión y seguridad cumplen con códigos y estándares globales y locales, como API 526, ASME Secciones I, IV & VIII, EN ISO 4126, PED, entre otros. Estos estándares aseguran el rendimiento y la seguridad de las válvulas en diversas aplicaciones, incluyendo O&G, refinación, química, petroquímica, procesos y aplicaciones de energía (EMERSON, 2023) .

Para aplicaciones específicas como tanques de cloración en una ASADA, es importante elegir una válvula que cumpla con los estándares de seguridad y rendimiento relevantes. La válvula debe ser del tamaño adecuado y diseñada para manejar las presiones específicas y los químicos involucrados en el proceso de cloración. Es aconsejable consultar con un profesional o una empresa especializada en soluciones de válvulas para asegurar la selección de una válvula de alivio de presión adecuada que se alinee con los estándares requeridos y las necesidades de la aplicación.

A través de la investigación y consulta a expertos en el ámbito de geografía y recurso hídrico, se ha logrado identificar el gran efecto que tiene las altas concentraciones de aluminio presentes en el agua en la salud de los seres humanos especialmente, para el caso de la relación positiva que existe entre el aluminio en agua potable y la enfermedad de Alzheimer ,la cual se ha demostrado en diferentes investigaciones con el reporte de acumulación de este componente en cerebro de personas con dicha enfermedad, asimismo con encefalopatías en personas relacionadas directamente a la industria del aluminio (Matías, et. al, 2017).

### **6.3.2 De acuerdo con los objetivos de estudio**

#### **➤ Objetivo 1: Calidad del agua para consumo humano.**

Todo esto se logró interpretar gracias a que fue posible visitar y muestrear las 10 ASADAS que se consideraron para el estudio previo a la selección de las 3 ASADAS con casos y problemáticas específicas, por lo que dado a esto se puede confirmar el cumplimiento según lo esperado del presente objetivo, considerando que la contaminación de recurso hídrico genera alto impacto sobre la salud en general aún

más cuando este se encuentra contaminado con concentraciones de componentes como lo es el caso de metales pesados, nitratos, cloruros, bacterias, entre otros; haciendo que por aumento de la toxicidad se tenga mayor vulnerabilidad y pierda el sentido de viabilidad, de manera que tomar un control sobre el estudio de la contaminación y medición de efectos causados son de gran importancia para la seguridad pública, es decir, monitorear la potabilidad con estudios que detecten coliformes fecales, cloro libre, alcalinidad, cantidad de sólidos suspendidos, conductividad y dureza, dado que los contaminantes provienen de diferentes prácticas humanas que afectan su calidad y, por ende, todas las actividades y organismos que dependen de ella (Pérez-López, 2016), como se describe en la sección 6.2.1 y como se evidencia en las tablas 6.1, 6.2, 6.3, figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 y anexos del 1 al 7.

➤ Objetivo 2: Aplicación de la herramienta *SERSA* en las 3 ASADAS seleccionadas.

A partir de lo expuesto en la sección 6.2 de resultados relacionado a la aplicación de la herramienta *SERSA* en las 3 ASADAS seleccionadas, se evidencia la determinación de los riesgos que enfrentan cada una de las asociaciones como parte de los desafíos que deben ser corregidos para asegurar la calidad del recurso hídrico de manera segura como lo expone Diario Oficial La Gaceta (2015) en el *Reglamento para la calidad del Agua Potable No 38924-S* la aplicación de la metodología de evaluación de riesgo sanitario en cada uno de los elementos del sistema de abastecimiento como medida de inspección sanitaria que revise el estado de cada una de las estructuras para identificar los riesgos que puedan alterar la calidad del recurso, así mismo, afectar a los consumidores.

El objetivo se ha cumplido en su totalidad ya que gracias a los resultados que han sido obtenidos previamente en el primer objetivo y la aplicación de las herramientas del *SERSA* en las 3 ASADAS seleccionadas con anterioridad, se han logrado los hallazgos anteriores y con ellos, el poder brindar las respectivas recomendaciones y soluciones a las problemáticas en lo que fue el tercer objetivo específico con visitas como componente de vigilancia. Este objetivo planteaba inicialmente hacer la evaluación *SERSA* del sistema de distribución del acueducto, sin embargo, debido a que existieron recursos materiales y no materiales suficientes para maximizar la investigación de campo en incluir las secciones de captación y almacenamiento de los acueductos sujetos de estudio; como se evidencia en la sección 6.2.2, anexos 6.8, 6.9 y tablas 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 Y 6.8.

➤ Objetivo 3: Estrategias de mejora para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico.

De acuerdo con el alcance del objetivo tercero, el cual fue expuesto en la sección 6.2, se logra dar a conocer la relevancia que poseen las buenas estrategias de mejora para el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico. Bolaños-Alfaro (2017), menciona que “América latina es una de las regiones con propuestas innovadoras para la gestión del agua; sin embargo, paradójicamente es también una de las regiones donde

el deterioro ambiental avanza con mayor rapidez”. Al mismo instante, plantea que el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el medio ambiente; por lo que, dado al desarrollo y la gestión del agua debería estar basado en un enfoque participativo, en donde se involucren usuarios, planificadores y gestores de políticas en todos los niveles.

Con todo esto, al retomar los hechos realizados para el tercer objetivo del presente proyecto, se puede afirmar el cumplimiento del objetivo basado en el fortalecimiento de la gestión del recurso hídrico, ya que se ejecutó de manera conjunta el apoyo de instituciones y especialistas como parte de brindar mejor estudio sobre las condiciones distintas presentes en cada ASADA de modo que al tratarse de escenarios distintos se condicionó de acuerdo con las necesidades y mejoras requeridas en cada una de ellas.

### **6.3.3 *Conforme a la metodología planteada***

La metodología empleada en este proyecto de graduación ha demostrado ser sumamente efectiva y beneficiosa. A través de la realización de pruebas N1 en laboratorios de análisis de agua y el estudio minucioso de las 3 ASADAS seleccionadas, se ha logrado ofrecer un apoyo valioso a múltiples asociaciones en situaciones vulnerables. Esto se ha manifestado de manera directa en casos como las ASADAS de El Millal, Cañal Pozo de Agua y San Juan, donde los resultados de esta investigación han proporcionado soluciones concretas a sus problemas.

Además, la influencia de esta metodología se extiende de forma indirecta a otras ASADAS que enfrentan problemáticas similares. Este trabajo ha servido como una guía fundamental para la operación de acueductos en condiciones similares, ofreciendo pautas y enfoques efectivos para abordar desafíos comunes.

Uno de los aspectos más destacados de esta metodología es su enfoque en la interacción con el usuario del agua. Esto ha permitido una comunicación fluida y colaborativa entre los profesionales involucrados y las ASADAS, lo que ha resultado en un seguimiento mutuo y satisfactorio. Esta colaboración estrecha es esencial para garantizar que las soluciones propuestas sean prácticas y se adapten a las necesidades específicas de cada asociación.

En resumen, la metodología empleada en este proyecto no solo ha arrojado resultados positivos y tangibles, sino que también ha establecido un modelo valioso para futuros proyectos similares. Su enfoque en la comunicación efectiva y la colaboración con los clientes demuestra ser uno de los enfoques más viables y seguros para abordar desafíos en el ámbito de las ASADAS y la gestión del agua.

## **6.4 Conclusión**

Este capítulo generó información sobre la condición de la calidad del agua en las 10 ASADAS miembros de la FLUS Chorotega, y en específico la evaluación detallada de tres casos particulares,

abordando sus problemáticas, incluyendo cuestiones relacionadas con bacterias, cloración, solvencia económica y alteración de parámetros como pH y conductividad eléctrica asociado a otros elementos en concentraciones por arriba de lo establecido en el reglamento, como el aluminio y el calcio. Específicamente, en esta ocasión en donde se ha enfocado el estudio hacia las ASADAS de El Millal de Quebrada Honda en Nicoya, San Juan en Cañas y Cañal de Pozo de Agua en Nicoya.

En este proceso de investigación, se han identificado desafíos significativos que estas ASADAS enfrentaban en la prestación de servicios de calidad a sus abonados. Sin embargo, no se ha permitido dejar las problemáticas sin respuesta, ya que se han propuesto posibles soluciones que podrían ayudar a superar estas trabas. Los miembros de estas asociaciones desempeñan un papel fundamental en la implementación de estas soluciones, y con el esfuerzo conjunto y la dedicación, están en posición de mejorar y garantizar un servicio óptimo para las comunidades a las que sirven en las regiones involucradas. Este capítulo representa un paso importante hacia la mejora continua de las ASADAS y, en última instancia, hacia el bienestar de sus usuarios.

## **7. CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

En el siguiente capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones basadas en los objetivos propuestos para el proyecto. Asimismo, se incluyen sugerencias sólidas aplicables por parte de las comunidades involucradas en el caso, o bien, condiciones similares, de manera que se pueda atender una necesidad específica.

### **7.1. Conclusiones**

En esta sección se exponen las conclusiones generales del proyecto desarrollado y los hallazgos importantes relacionados con las 3 ASADAS analizadas a profundidad, El Millal, Cañal Pozo de Agua y San Juan.

#### **7.1.1. Generalidades:**

A partir del análisis en cada una de las ASADAS y consideración de resultados de las 10 casos en estudio, se determina que las condiciones de las asociaciones resultan repetitivas en la mayoría de los casos con alteración en conductividad, sin embargo, entre las más destacables que representan mayor riesgo de afectación y riesgo por consumo según la calidad de agua en condiciones que no corresponden cantidades admisibles en parámetros como coliformes fecales y *Escherichia Coli* según el reglamento, como parte de la seguridad hídrica en las comunidades ubicadas en el cantón de Cañas y Nicoya.

Es por esto, que este proyecto ha demostrado la importancia de monitorear y mejorar la calidad del agua para consumo humano en las ASADAS rurales. Se han identificado problemas significativos en las tres ASADAS seleccionadas y se han propuesto soluciones concretas. Además, se ha resaltado la importancia de la documentación y la capacitación en la gestión de las ASADAS. En general, este trabajo contribuye al fortalecimiento de la seguridad hídrica y la salud de las comunidades atendidas por estas asociaciones.

Respecto a la implementación del instrumento SERSA (Sistema de Evaluación de Riesgos Sanitarios en el Agua) del Ministerio de Salud de Costa Rica ha demostrado ser crucial en la identificación y gestión de riesgos sanitarios asociados al agua. Esta herramienta ha permitido una evaluación más precisa y específica de los riesgos sanitarios, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencia y mejorando así la salud pública.

Su aplicación no solo ha contribuido a la prevención de enfermedades relacionadas con el agua, sino que también ha fomentado una mayor conciencia y responsabilidad entre los gestores de recursos hídricos y la comunidad en general. Este enfoque integral demuestra la importancia de contar con herramientas específicas y científicamente validadas en la gestión de la salud pública y en la conservación de los recursos naturales.

Finalmente, el estudio realizado para mejorar la infraestructura de las ASADAS revela la importancia crítica de invertir en estrategias de mejora continua. Al proporcionar a estas asociaciones herramientas y conocimientos específicos para optimizar sus infraestructuras, se ha logrado un impacto significativo en la calidad del agua en sus fuentes. Esto no solo mejora la salud y el bienestar de las comunidades locales, sino que también garantiza la sostenibilidad de los recursos hídricos a largo plazo.

Este enfoque refuerza la idea de que la inversión en infraestructura y educación es fundamental para la gestión efectiva del agua, un recurso vital para la vida y el desarrollo sostenible

#### ***7.1.2. Basadas en hallazgos:***

Se determinó la necesidad de actualización de la documentación de acuerdo con lo estipulado en cuestión de formación de asociación y captación de agua que cumplan con lineamientos mínimos, es decir, se requiere mayor atención en cuanto a permisos y registros en instituciones como Ministerio de Salud y SENARA para mejorar la gestión administrativa en estas organizaciones.

Se evidenció que, según las condiciones en las que se encuentren los componentes del sistema de abastecimiento comunal, se tiene alta influencia sobre la calidad del agua consumida en las comunidades y gestión del recurso, por lo que, el buen monitoreo y mejora constante potencializa la seguridad hídrica y minimiza los riesgos de contaminación.

Considerando el trabajo realizado por parte de las ingenieras en conjunto con organizaciones, se concluye que se produce aporte a partir de dicha interacción con el fortalecimiento de relaciones sociales, dando soluciones ante las necesidades requeridas en las 3 ASADAS analizadas específicamente, considerando los 3 casos desde la individualidad.

Por último, en los 3 casos analizados se reconoce el trabajo constante y organización para la mejora de cada uno de sus sistemas de acuerdo con la necesidad individual de cada ASADA, esfuerzo que puede verse favorecido con la integración de instituciones y alianzas que mejoren las condiciones en torno al recurso hídrico.

### **7.1.3. Para las ASADAS:**

#### ➤ Cañal Pozo de Agua, Nicoya.

Los datos de calidad de agua evidencian contaminación por bacterias asociado a rupturas en la tubería, la cercanía del tanque de almacenamiento a la zona ganadera y un sistema de cloración artesanal que debe mejorarse. Peso a esto, se observa que la ASADA cuenta con una buena organización comunal y participativa, pero que se ve limitada en recursos monetarios, por lo que, que impide llevar a cabo algunas mejoras básicas.

Además, se concluye que, estimado el riesgo de contaminación en los componentes del sistema de abastecimiento que se encuentra entre el rango bajo-intermedio-alto es el sistema que se considera entre las mejores condiciones en comparación con las otras 2 ASADAS, a pesar de contar con limitantes económicas y acceso a prestaciones.

#### ➤ El Millal, Nicoya.

Realizados los análisis en laboratorio para determinar la calidad del agua evidenció la presencia de bacterias y otros contaminantes desde las fuentes de agua a la red de distribución, debido a la falta de un adecuado sistema de captación en la fuente y cloración al momento de la visita para toma de muestra.

Además, se logró el fortalecimiento a partir de las acciones tomadas en el proyecto por parte del HIDROCEC, que han permitido mejorar la potabilización del agua en la ASADA como una solución y mejora a las condiciones de la calidad y gestión hídrica en el territorio.

Por último, es importante reconocer que a partir de la inspección en campo se determinó un alto el nivel de riesgo para la salud de los consumidores, a partir de la determinación de riesgo donde principalmente requieren atención de mejoras las 2 fuentes de captación que tiene el sistema, la naciente y el pozo en cuestión operativa.

➤ San Juan, Cañas.

Teniendo que el pH ácido del agua, las concentraciones de aluminio están por abajo del rango admisible y requieren de desinfección adecuada para consumo, se evidenció que estas son condiciones que afectan la calidad del agua y aumentan el riesgo en el agua de consumo en la ASADA, por lo que la búsqueda de un tratamiento de aguas es necesario y urgente.

Asimismo, se determinó que la integración de otras instituciones para el análisis de la calidad del agua y estudio de la pastilla utilizada por la asociación, así como también de profesionales especialistas en temas que influyen sobre el caso, generó gran aporte sobre la determinación de la condición e identificación de factores a corregir.

Por consiguiente, se concluye que el diseño del sistema de abastecimiento comunal no se ajusta a las necesidades requeridas al momento de inspección, es por esto que es necesario considerar un ajuste en la metodología utilizada e integración de estructuras que faciliten el control de la calidad del agua y de la fuente a aprovechada.

Finalmente se determinó que, en cuestión de riesgos de contaminación en los componentes del sistema de la ASADA, este se encuentra en condiciones regulares al estar en rango intermedio pese a las mejoras necesarias basadas en infraestructura principalmente.

## 7.2. Recomendaciones

### 7.2.1 Generalidades:

- Implementación continua y mejora del monitoreo de la calidad del agua: Dada la importancia de monitorear y mejorar la calidad del agua en las ASADAS rurales, se recomienda la implementación continua de sistemas de monitoreo avanzados y fiables. Esto puede incluir la adopción de nuevas tecnologías y metodologías para la detección temprana de contaminantes como coliformes fecales y Escherichia Coli. Además, es crucial establecer un programa de mantenimiento regular y revisión de los sistemas de filtración y purificación para asegurar que se mantengan dentro de los parámetros admisibles según el reglamento.
- Expansión y refinamiento del uso de SERSA: El Sistema de Evaluación de Riesgos Sanitarios en el Agua (SERSA) ha demostrado ser una herramienta efectiva en la gestión de riesgos sanitarios relacionados con el agua. Se recomienda expandir su uso a más comunidades y ASADAS, y continuamente actualizar y refinar la herramienta para incorporar los últimos avances científicos y tecnológicos. Esto ayudará a identificar y gestionar de manera proactiva los riesgos sanitarios, mejorando así la salud pública y la seguridad hídrica.
- Inversión en infraestructura y educación: Dado el impacto positivo de la mejora de la infraestructura en las ASADAS, se recomienda continuar invirtiendo en la infraestructura de tratamiento y distribución de agua. Esto debe ir acompañado de programas educativos y de capacitación para los trabajadores y la comunidad en general, centrados en la gestión eficiente del agua, la conservación de recursos y la sensibilización sobre la importancia del agua limpia y segura. La combinación de infraestructura mejorada y una mayor conciencia pública puede conducir a un manejo más sostenible y eficiente del agua.

### **7.2.2 Basadas en los hallazgos:**

- La búsqueda de presupuesto y donaciones por parte los representantes de las asociaciones en organizaciones que faciliten la mejora de los sistemas ejecutados por la ASADA, además de convenios con otras asociaciones que prioricen la gestión adecuada del recurso hídrico.
- Se debe trabajar en la documentación y registros necesarios para cumplir con la legislación y los requisitos de funcionamiento de las ASADAS.
- Desarrollar planes de gestión integral del agua que consideren todos los aspectos de la gestión del recurso hídrico, incluyendo la calidad del agua, infraestructura, condiciones económicas como una de las limitantes recurrentes en las comunidades que se desarrollan a partir de una ASADA.
- Continuar fortaleciendo la gestión del recurso hídrico mediante la implementación de las estrategias propuestas.

### **7.2.3 Para las ASADAS:**

#### ➤ Cañal Pozo de Agua, Nicoya.

- Implementar un sistema de cloración adecuado a las necesidades de la comunidad que se adapte a las condiciones y accesos de la comunidad, con el fin de controlar los parámetros de calidad del agua de manera más efectiva y segura, como el caso de cloración por dosificación por goteo en la red de distribución que sea controlada por un panel que funciona paralelo a la bomba de extracción del pozo, beneficio el cual pueden acceder por medio de la Liga del Agua y aporte económico por fondos de ayuda en los cuales se puede participar como asociación.
- Movilizar el tanque de almacenamiento o implementar las medidas que sean necesarias para salvaguardar la seguridad de sus consumidores, tomando en cuenta también que se estaba considerando la implementación de un segundo tanque de almacenamiento.



➤ San Juan, Cañas.

- Mantener la colaboración con instituciones y especialistas para abordar los desafíos específicos relacionados con el control del aluminio en el agua desde la captación, que facilite la desinfección y remoción del elemento en el agua.
- Se sugiere realizar un análisis más detallado de la pastilla de cloración y su mecanismo de aplicación para entender las razones detrás de los resultados de pH y metales.
- Se recomienda la posibilidad de un reajuste en el sistema utilizado de cloración en donde se analice el tiempo de contacto que existe entre la pastilla utilizada y el agua que ingresa al sistema de distribución además de su área adecuada para el tamaño de la pastilla utilizada.
- Se aconseja realizar estudios específicos con el propósito de implementar una metodología para la eliminación de aluminio en la zona de captación, con el fin de minimizar el aumento de posibles afectaciones en la salud relacionadas con anterioridad.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIChE. (2015). A Comprehensive Guide to Accurately Size Pressure and Vacuum Relief Devices for Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks. Consultado en noviembre, 2023. [Página Web]. <https://goo.su/U1m4JB6>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Público. (2023). Ley de Aguas. Página consultada en mayo, 2023. [Archivo PDF]. <https://goo.su/Q9nP>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2023). ARESEP fiscaliza labor de ASADAS. Página consultada en mayo, 2023. <https://bit.ly/3YUyypf>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2023). Ley General de Agua Potable. Página consultada en mayo, 2023. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3OK4N8N>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2023). Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Página consultada en mayo, 2023. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3oDNJXt>
- Behar, D. (2008). Metodología de la investigación. Sitio consultado el 23 de junio, 2023. <http://bitly.ws/JuQD>
- Benítez, B., Ramírez, M., Rosales, M., Vílchez, D., Rangel, L., Ferrer, K., Ávila, A., (2016). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua potable envasada en bolsas que se venden en la zona céntrica de la ciudad de Maracaibo-Venezuela. SciELO. [Archivo PDF]. <https://goo.su/dsOi8ZI>
- Biswas, A. K. (2004). Integrated water resources management: A reassessment. Water International, 29(2), 248-256. <https://bit.ly/3n2qrJx>
- Bolaños-Alfaro, J.D. (2017). Gestor Integral del Recurso Hídrico, un experto necesario ante la vulnerabilidad socio-natural. SciELO. Consultado en octubre, 2023. [Página Web]. <https://goo.su/6z8bSJ>
- Casas Cervantes A.F (2015). La gestión comunitaria del agua y su relación con las políticas públicas municipales. El caso del manantial de Patamburapio en el estado de Michoacán, 2009-2014. <https://bit.ly/3YBkt0j>

Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe. (2023). Formulación de proyecto de Fortalecimiento de la gestión del agua de las Federaciones, Liga y Uniones de la Región Chorotega (FLUS) [Archivo PDF]. Documento consultado en mayo, 2023.

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2003). Presentan nuevo reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental en Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. Página consultada en junio, 2023. <http://bitly.ws/HS8q>

Comisión científica origen arsénico. (2014). Investigación geológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica sobre el origen del arsénico en la zona de cañas-bagaces y alrededores [Archivo PDF]. <http://bitly.ws/Ju7g>

Diario Extra. (2017). ¿Cómo fortalecer las ASADAS en Costa Rica? Sitio web consultado el 26 de mayo, 2023. <http://bitly.ws/FHie>

Diario oficial La Gaceta. (2001). Reglamento de normas técnicas y procedimientos para el mantenimiento preventivo de los sistemas de abastecimiento de agua No. 2001-175. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3MAYiCv>

Diario Oficial La Gaceta. (2015). Reglamento para la calidad del Agua Potable DE.38924-S. Consultado en octubre, 2023. [Archivo PDF]. <https://bitly.ws/XqXW>

Díaz, H. (2020). Distritos del cantón de Cañas, Guanacaste. Municipalidad de Cañas. Sitio web consultado el 20 de mayo, 2023. <https://bit.ly/3BI2HPd>

Diccionario Panhispánico del Español Jurídico. (2023). Red de distribución. <https://bit.ly/45uGn9i>

Dirección Nacional de Extensión Agropecuaria. (2023). Caracterización del área de influencia de la agencia de extensión agropecuaria [Archivo PDF]. Consultado en junio 2023. <http://bitly.ws/JuZE>

EMERSON. (2023). Pressure and Safety Relief Valves. Consultado en noviembre, 2023. [Página Web]. <https://goo.su/8vqFg>

Global Water Partnership. (2000). Integrated Water Resources Management. TAC Background Papers, No. 4. Stockholm, Sweden: Global Water Partnership. <https://bit.ly/40qaLhG>

Grupo Empresarial El Encanto OC S.A (2022). Estudio Técnico ASADA San Pedro de Santa Cruz, Guanacaste. [Archivo PDF]. Consultado en abril, 2023.

Historia de España RSMP. (2023). Los Tipos de Acueducto: ¿Cuáles son? Sitio web consultado el 28 de mayo, 2023. <http://bitly.ws/FRiQ>

IMA Water Technology. (2016). Información técnica filtros para eliminar aluminio del agua. Sitio web consultado el 13 de enero, 2024. <https://bitly.ws/39LD4>

Innovación de las ASADAS en la Región Chorotega de Costa Rica [Archivo PDF]. Consultado en junio 2023.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017). Protocolo para la integración o fusión de Asadas. [Archivo PDF] <http://bitly.ws/FHjp>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2013). Informe Cuestión de la Gestión de los Recursos Hídricos y las Aguas Residuales desde una Perspectiva de Derechos Humanos. [Archivo PDF]. Consultado en junio, 2023. <https://goo.su/jsver>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2015). Glosario de conceptos [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3IIEIzs>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2016). Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica, 2017-2030. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/44OVSZe>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2019). Guía de Autoevaluación y Elaboración de Plan de Mejora y Eficiencia para ASADAS. <http://bitly.ws/HTHw>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2019). Aspectos básicos de ASADAS [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3ozQmJR>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2019). Manual de uso de la calculadora de balance hídrico para ASADAS. <https://bitly.ws/33Pg4>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2020). Naturaleza jurídica de las ASADAS. [Archivo PDF]. <http://bitly.ws/HSxy>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2023). Manual informativo: Aspectos básicos para la gestión de las nuevas Juntas Directivas de las ASADAS. Página consultada en mayo, 2023. <https://bit.ly/2TSRU0e>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2023). Información institucional básica. Página consultada en junio, 2023. <http://bitly.ws/HSxd>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2023). Interpretación de Análisis de Agua Potable para la Gestión Comunitaria en las ASADAS. Página consultada en julio, 2023. <https://goo.su/9h8a4>

Instituto Meteorológico Nacional. (2011). Estudio de cuencas hidrográficas de Costa Rica, Río Tempisque. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3Os7MCE>

Instituto Meteorológico Nacional. (2011). Estudio de cuencas hidrográficas de Costa Rica, Río Bebedero. [Archivo PDF]. <https://goo.su/bSQCp>

Instituto Meteorológico Nacional. (2011). Estudio de cuencas hidrográficas de Costa Rica, Ríos Península de Nicoya. [Archivo PDF]. <https://goo.su/Iqy6p>

Instituto Meteorológico Nacional. (2021). Clima Pacífico Norte. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/42Tiab6>

Matías, C; López, S; Matías, D; García, I. (2017). El aluminio empleado en el tratamiento de aguas residuales y su posible relación con enfermedad de Alzheimer. [Archivo PDF]. <https://bitly.ws/328Hm>

Ministerio de Ambiente y Energía. (2008). Resolución N. <sup>a</sup> 2653-2008-SETENA. [Archivo PDF]. <http://bitly.ws/HS7N>

Ministerio de Salud. (2023). Instrumento SERSA. Consultado el día 6 de octubre, 2023. [Archivo PDF]. <https://goo.su/v0zEqb>

Miranda, Y. (2008). Actores sociales, su papel en el campo de la salud. Consultado el día 26 de mayo, 2023. <http://bitly.ws/FHja>

Mora, D. y Alfaro, N. (1999). Caracterización y distribución por cantones de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para consumo humano en Costa Rica. SciELO. <https://bit.ly/3LPkqss>

Mora-Alvarado, D., Orozco-Gutiérrez, J., Solís-Castro, Y., Rivera-Navarro, P., Cambronero-Bolaños, D., Zúñiga-Zúñiga, L. y García-Aguilar, J. (2018). Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Costa Rica (IRCACH). SciELO. [Archivo PDF]. <https://goo.su/EAIv>

Municipalidad de Santa Cruz (2023). Sitio Web Oficial de la Municipalidad de Santa Cruz. Consultado el día 20 de mayo, 2023. <https://bit.ly/3Is1Q8M>

Nosek, B., Banaji, M., y Greenwald, A. (2002). E-Research: Ethics, Security, Design, and Control in Psychological Research on the Internet. Consultado en junio 2023. <http://bitly.ws/IHuB>

Obando, L.G (2022). Caracterización de la población del cantón de Nicoya. Universidad Nacional, Sede Regional Chorotega, CEMEDE, UNED, Nicoya, Municipalidad de Nicoya. [Archivo PDF]. <https://bit.ly/3OsDyzm>

Orenda Technologies. (2023). El cloro, el pH y su relación con el Ácido Isocianúrico. Consultado en noviembre, 2023. [Página Web]. <https://goo.su/chIP>

- Organización de las Naciones Unidas. (2023). Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Página consultada en julio, 2023. <https://goo.su/BaTlxo>
- Orozco, J., Solís, Y. (2017). Inventario de la calidad de fuentes de abastecimiento operadas por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para el año 2015. <https://bit.ly/3BYnEVY>
- Paniagua, H y Rodríguez, N. (2019). Guía de Gestión Integral de Riesgos para ASADAS (GIRA). [Archivo PDF]. <https://bit.ly/435my6J>
- Pérez, A. (2020). Costes directos e indirectos de un proyecto. Página consultada en junio, 2023. <http://bitly.ws/HBKW>
- Pérez, R. (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible, ONU. ResearchGate. [Fotografía]. Página consultada en agosto, 2023. <https://goo.su/X9c6kjD>
- Pérez-López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. SciELO. Consultado en octubre, 2023. [Página Web]. <https://goo.su/JpgM>
- Periódico Guanacaste a la Altura. (2020). HIDROCEC-UNA y su aporte a las ASADAS de Guanacaste. Página consultada en mayo, 2023. <https://bit.ly/41Xafbt>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2009). Desarrollo de capacidades: texto básico del PNUD. [Archivo PDF]. <http://bitly.ws/AhR9>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). Apoyo a la recuperación de acueductos comunales afectados por lluvias intensas en la región Huetar Norte de Costa Rica mediante el fortalecimiento de capacidades de respuesta y el mejoramiento de los sistemas de información para la adaptación basada en infraestructura con visión de resiliencia. [Archivo PDF]. <http://bitly.ws/FRbt>
- Roseke, B. (2017). The PMBOK's Five Project Phases. Sitio consultado el 23 de junio, 2023. <http://bitly.ws/JuIc>

- Rozo, J. (2019). Análisis Comparativo a Nivel Internacional de los Modelos de Regulación de Servicios Públicos: Colombia Sector Acueducto y Alcantarillado. Instituto Centroamericano de Administración Pública y Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. [Archivo PDF]. Consultado en mayo, 2023. <https://bit.ly/3qeSozA>
- RQL Ingeniería. (2020). Análisis de agua exigido por el Ministerio de Salud a las ASADAS de Costa Rica. Página consultada en junio, 2023. <http://bitly.ws/HMzZ>
- Salazar, M., Icaza, M., Machado, O. (2018). La importancia de la ética en la investigación. Página consultada en junio, 2023. <http://bitly.ws/IHvb>
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R. y Spag, P. J.M. (2014). Preparación y evaluación de proyectos. Mc Graw Hill Interamericana. [Archivo PDF]. Consultado en junio, 2023. <https://goo.su/AEWzE>
- SINNAPS. (2020). ¿Cómo realizar el estudio financiero de un proyecto? Página consultada en junio, 2023. <http://bitly.ws/HBK6>
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2023). Reglamento para la calidad del Agua Potable No. 38924-S. Página consultada en mayo, 2023. <https://bit.ly/2Thy2UN>
- Suárez, A., Baldioceda, Á., Durán, G., Rojas, J., Rojas, D. y Guillén, A. (2019). Seguridad hídrica: Gestión del agua en comunidades rurales del Pacífico Norte de Costa Rica. Revista de CIENCIAS AMBIENTALES. [Archivo PDF]. Consultado en abril, 2023. <https://bit.ly/41iJ7TL>
- UNA Comunica. (2012). HIDROCEC-UNA inaugura modernos laboratorios. Página consultada en mayo, 2023. <https://bit.ly/3ocEOw5>
- United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. (2009). What is Good Governance? UNESCAP. Consultado en julio, 2023. <https://goo.su/Z0pen>
- United States Agency International Development. (2016). Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad [Archivo PDF]. Consultado en mayo, 2023. <https://bit.ly/3MYLze8>

USAID. (2016). Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad [Archivo PDF]. Consultado en agosto, 2023. <http://bitly.ws/RGgI>

Zorrilla, S. (1993). Introducción a la metodología de la investigación: edición 11. Consultado en junio, 2023. [Archivo PDF].

## 9. ANEXOS

### Anexo 5.1. IRCACH en ASADAS de Liga Comunal del Agua y ACBT.

IRCACH ASADAS Liga Comunal del Agua y ACBT					
ASADAS	Fuente	Parámetros que NO cumplen con el límite máximo admisible del reglamento (N°38924-S)		Clasificación IRCACH (puntuación del riesgo)	Calidad del agua
Iguanita de Mansión (Centro)	Red 2	Conductividad, temperatura, cloro residual		10	No apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas
Esperanza sur Nosara	Red 1	Conductividad, cloro residual, calcio		13	No apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas
Acoyapa de Mansión	Red 2	Cloro residual, Conductividad		9	Alta para ingesta
San Juan de Santa Cruz	Red 2	Cloro residual		6	Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad
San Fernando de Sámara	Red 2	Coliformes fecales, pH		27	No apta para ingesta
Matambuguito de Mansión	Red 2	Cloro residual, conductividad, temperatura		11	No apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas
Florida de San Antonio de Nicoya	Red 2	Cloro residual, conductividad, temperatura, hierro		18	No apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas
San Pedro de Santa Cruz, Sector Centro	Red 2	Cloro residual, conductividad		9	Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad
El Milal	Pozo	Calcio, color aparente, cloración, conductividad y temperatura		12	No apta para ingesta, rechazo por parte de los consumidores debido a las características organolépticas
San Juan Cañas	Naciente	pH	Aluminio	9	Apta para ingesta, pero susceptible al deterioro de la calidad

Fuente: HIDROCEC, 2023.

*Anexos 6.1. Resultados de la calidad del agua de la ASADA San Pedro.*

<b>Fecha muestreo:</b>	<b>25/4/2023</b>		<b>Muestreadores:</b>		<b>Johanna Rojas Conejo y María Teresa López Maietta</b>		
<b>Nombre del Cliente:</b>	<b>Asada San Pedro Santa Cruz</b>						
<b>Sitio</b>	<i>Tanque Centro - Pozo</i>	<i>Primera Casa</i>	<i>Unión de tanques Proyecto Terrazas</i>	<i>Pozo Terrazas</i>	<i>Segunda Casa</i>	<i>Última Casa</i>	<i>Unión 4 tanques / La Goya</i>
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.49	0.19	0.1	0.3	0.06	0.05	0.19
<b>pH</b>	6.84	6.98	6.75	6.78	6.87	7.07	6.74
<b>T (C°)</b>	29.1	28.4	29.8	29.6	31.6	31.3	30.8
<b>CE (µs/cm)</b>	385	389	518	521	519	515	521
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	NA	NA	0.01	NA	0.03	1.38	0.88
<b>Color (UC) aparente</b>	2	<2	<2	2	<2	<2	<2
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	10,8	ND	ND	ND
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	3.1	ND	ND	7,4	ND	ND	ND
<b><i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	7,3	ND	ND	ND
<b><i>Fluoruro</i> (mg/l)</b>	0,067	NA	NA	0,05	NA	ND	ND
<b><i>Cloruro</i> (mg/l)</b>	2,602	NA	NA	3,239	NA	ND	ND
<b><i>Nitrato</i> (mg/l)</b>	3,047	NA	NA	3,392	NA	ND	ND
<b><i>Fosfato</i> (mg/l)</b>	0,130	NA	NA	0,105	NA	ND	ND
<b><i>Sulfato</i> (mg/l)</b>	5,503	NA	NA	3,400	NA	ND	ND
<b><i>Amonio</i> (mg/l)</b>	0,024	NA	NA	0,020	NA	ND	ND
<b><i>Calcio</i> (mg/l)</b>	39,488	NA	NA	51,289	NA	ND	ND
<b><i>Sodio</i> (mg/l)</b>	13,225	NA	NA	14,558	NA	ND	ND

<b><i>Magnesio (mg/l)</i></b>	16,680	NA	NA	23,634	NA	ND	ND
<b><i>Potasio (mg/l)</i></b>	0,076	NA	NA	0,025	NA	ND	ND
<b><i>Dureza (mg/l)</i></b>	56,168	NA	NA	74,923	NA	ND	ND
<b>Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis). ND: No detectable (&lt;1.0)</b>							
<b>Realizado por: Johanna Rojas Conejo / Anny Guillén Watson</b>							
<b>Revisado por: María Teresa López Maietta</b>							

Fuente: HIDROCEC, 2023.

*Anexos 6.2. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Iguanita De Mansión.*

Fecha muestreo:	16/5/2023		Muestreadores:		Álvaro Baldioceda Garro	
Nombre del Cliente:	Asada Iguanita de Mansión					
Sitio	Nac. Camarón	Casa 1. Camarón	Casa 2. Camarón	Última casa Camarón	Naciente Avellanas	Casa 1 Avellanas
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.14	0.32	0.32	0.29	0.25	0.39
<b>pH</b>	6.96	7.13	7.11	7.31	7.53	7.69
<b>T (C°)</b>	28	29	28.9	29.6	27.9	29.2
<b>CE (µs/cm)</b>	417	424	422	422	372	366
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	NA	0.56	0.75	0.45	NA	NA
<b>Color (UC) aparente</b>	2	<2	2	2	2	2
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	>2419.6	ND	ND	ND	>2419.6	>2419.6
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	686.7	ND	ND	ND	1986.3	1986.3
<b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>	461.1	ND	ND	ND	547.5	980.4
<b>Fluoruro (mg/l)</b>	0.035	0.041	0.036	0.04	0.079	0.071
<b>Cloruro (mg/l)</b>	1.021	1.813	1.924	2.137	1.157	1.307
<b>Nitrato (mg/l)</b>	0.149	0.186	0.172	0.196	0.183	0.198
<b>Fosfato (mg/l)</b>	0.061	0.065	ND	ND	0.13	0.127
<b>Sulfato (mg/l)</b>	2.888	2.978	2.992	2.83	4.931	4.488
<b>Amonio (mg/l)</b>	0.011	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Calcio (mg/l)</b>	43.63	38.608	36.565	49.231	38.853	38.389
<b>Sodio (mg/l)</b>	8.478	7.714	7.225	9.755	9.441	9.245
<b>Magnesio (mg/l)</b>	15.29	13.964	13.121	17.8	17.853	17.771
<b>Potasio (mg/l)</b>	0.331	0.19	0.171	0.213	0.256	0.063
<b>Dureza (mg/l)</b>	58.93	52.572	49.686	67.031	56.706	56.16

**Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis).  
ND: No detectable (<1.0)**

**Realizado por: Johanna Rojas Conejo / Anny Guillén Watson**

**Revisado por: María Teresa López Maietta**

Fuente: HIDROCEC, 2023.

*Anexos 6.3. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Matambuguito.*

<b>Fecha muestreo:</b>	<b>16/5/2023</b>			<b>Muestreadores:</b>		<b>Álvaro Baldioceda Garro</b>
<b>Nombre del Cliente:</b>	<i>Asada Matambuguito</i>					
<b>Sitio</b>	<i>Tanque Matambuguito</i>	<i>Última casa ramal 1</i>	<i>Casa ramal 2</i>	<i>Pozo Matambuguito</i>	<i>Casa ramal 3</i>	
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.15	0.17	0.04	0.3	0.23	
<b>pH</b>	6.8	6.8	6.89	7.22	6.83	
<b>T (C°)</b>	27.6	28	27.9	26.9	28.5	
<b>CE (µs/cm)</b>	553	557	562	545	557	
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	0	0	0	NA	0.04	
<b>Color (UC) aparente</b>	2	2	<2	<2	2	
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	143	ND	
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	16	ND	
<i>Escherichia coli (NMP/100 mL)</i>	ND	ND	ND	ND	ND	
<b>Fluoruro (mg/l)</b>	0.045	0.054	0.049	0.044	0.043	
<b>Cloruro (mg/l)</b>	7.943	8.11	8.053	7.672	8.019	
<b>Nitrato (mg/l)</b>	2.872	2.807	2.879	2.758	2.872	
<b>Fosfato (mg/l)</b>	0.097	0.1	0.102	0.101	0.103	
<b>Sulfato (mg/l)</b>	9.96	9.923	10.008	9.951	10.027	
<b>Amonio (mg/l)</b>	ND	ND	ND	ND	ND	
<b>Calcio (mg/l)</b>	59.083	59.008	59.38	58.312	59.71	
<b>Sodio (mg/l)</b>	15.375	15.532	15.624	15.362	15.642	
<b>Magnesio (mg/l)</b>	26.434	26.371	26.6	26.197	26.724	
<b>Potasio (mg/l)</b>	0.226	0.429	0.395	0.237	0.352	
<b>Dureza (mg/l)</b>	85.517	85.379	85.98	84.509	86.434	

**Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis).  
ND: No detectable (<1.0)**

**Realizado por: Johanna Rojas Conejo / Anny Guillén Watson**

**Revisado por: María Teresa López Maietta**

Fuente: HIDROCEC, 2023.

**Anexos 6.4. Resultados de la calidad del agua de la ASADA San Fernando De Sámara.**

<b>Fecha muestreo:</b>		<b>23/8/2023</b>			<b>Muestreadores:</b>			<b>Álvaro Baldioceda Garro</b>	
<b>Nombre del Cliente:</b>		<b>Asada San Fernando Sámara</b>							
<b>Sitio</b>	<i>Pozo 1</i>	<i>Primera Casa</i>	<i>Segunda Casa</i>	<i>Pozo taranta</i>	<i>Tanque taranta</i>	<i>Tercera Casa</i>	<i>Tanque Samara Woods</i>	<i>Pozo Sámara Woods</i>	<i>Última Casa</i>
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.07	0.08	0.12	0.21	0.48	0.24	1.31	2.05	0.86
<b>pH</b>	7.7	7.3	7.2	9.2	9.1	9.2	8.1	7.8	8
<b>T (C°)</b>	28	28	28.9	29.4	30.8	30.3	28.3	28.1	28.7
<b>CE (µs/cm)</b>	399	406	402	310	312	290	522	552	545
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	NA	1.08	ND	NA	0.11	ND	ND	NA	ND
<b>Color (UC) aparente</b>	<2	2	<2	2	<2	2	2	<2	2
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	4.1	ND	ND	ND	201.4	ND	3.1	920.8	1
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	ND	1	ND	ND	56.3	ND
<b><i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.1	ND
<b>Fluoruro (mg/l)</b>	0.207	0.209	0.208	1.659	1.725	1.664	0.808	0.681	0.827
<b>Cloruro (mg/l)</b>	2.566	2.59	2.608	5.372	5.672	5.436	2.6	2.48	2.611
<b>Nitrito (mg/l)</b>	0.244	0.207	0.213	0.045	0.042	0.043	0.132	0.132	0.132
<b>Nitrato (mg/l)</b>	0.25	0.255	0.237	ND	0.251	0.236	0.162	0.197	0.223
<b>Fosfato (mg/l)</b>	0.168	0.167	0.166	ND	ND	ND	ND	ND	ND

<b>Sulfato (mg/l)</b>	4.176	4.163	4.176	6.297	7.034	6.652	20.569	25.534	20.839
<b>Amonio (mg/l)</b>	0.011	0.014	ND	0.091	0.038	0.033	0.085	0.116	0.068
<b>Calcio (mg/l)</b>	55,387	55,498	55,513	1,740	1,157	1,011	5,850	7,994	6,113
<b>Sodio (mg/l)</b>	14.887	14.722	14.689	65.857	66.829	67.045	120.415	121.174	121.109
<b>Magnesio (mg/l)</b>	8,714	8,736	8,731	ND	ND	ND	0,114	0,299	0,139
<b>Potasio (mg/l)</b>	0.674	0.598	0.627	0.163	0.247	0.172	0.387	0.435	0.392
<b>Dureza (mg/l)</b>	64,101	64,234	64,244	ND	ND	ND	5,964	8,293	6,252
<b>Hierro (mg/l)</b>									
<b>Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis). ND: No detectable (&lt;1.0)</b>									
<b>Realizado por: Johanna Rojas Conejo / Anny Guillén Watson</b>									
<b>Revisado por: María Teresa López Maietta</b>									

Fuente: HIDROCEC, 2023.

**Anexos 6.5. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Pita Rayada.**

<b>Fecha muestreo:</b>	<b>12/9/2023</b>		<b>Muestreadores:</b>	<b>Álvaro Baldioceda</b>		
<b>Nombre del Cliente:</b>	<b>Asada Pita Rayada</b>					
<b>Sitio</b>	<i>Naciente</i>	<i>Tanque de almacenamiento</i>	<i>Pozo</i>	<i>Primera Casa</i>	<i>Casa del medio</i>	<i>Última Casa</i>
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.54	0.73	0.73	0.75	0.77	0.75
<b>pH</b>	6.4	6.58	6.38	6.64	7.03	6.65
<b>T (C°)</b>	24.5	24.5	23.3	26.2	27.3	29
<b>CE (µs/cm)</b>	284	278	422	281	304	309
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	NA	0.03	NA	ND	0.44	ND
<b>Color (UC) aparente</b>	<2	<2	<2	<2	<2	<2
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	648.8	920.8	ND	866.4	727	816.4
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	7.5	33.1	ND	74.9	65	58.3
<b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>	2	23.5	ND	20.1	20.1	23.3
<b>Fluoruro (mg/l)</b>	0.06	0.083	0.066	0.075	0.089	0.089
<b>Cloruro (mg/l)</b>	2.095	1.9	3.936	1.95	2.229	2.288
<b>Nitrito (mg/l)</b>	0.115	0.218	0.245	0.125	0.116	0.127
<b>Nitrato (mg/l)</b>	1.399	1.433	1.808	1.413	1.531	1.532
<b>Fosfato (mg/l)</b>	0.194	0.159	0.207	0.149	0.174	0.177
<b>Sulfato (mg/l)</b>	3.447	3.446	4.809	3.462	3.67	3.69
<b>Amonio (mg/l)</b>	ND	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Calcio (mg/l)</b>	27.274	27.37	43.47	27.15	29.69	30.392
<b>Sodio (mg/l)</b>	5.764	5.802	7.79	5.846	6.009	6.056
<b>Magnesio (mg/l)</b>	11.926	11.907	18.565	11.753	12.825	13.073
<b>Potasio (mg/l)</b>	0.07	0.098	0.093	0.195	0.075	0.076
<b>Dureza (mg/l)</b>	39.2	39.277	62.035	38.903	42.515	43.465

**Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis).  
ND: No detectable (<1.0)**

<b>Realizado por:</b>	AGW/ JRC	Revisado por:	
-----------------------	----------	------------------	--

Fuente: HIDROCEC, 2023.

*Anexos 6.6. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Barrio Guanacaste.*

<b>Fecha muestreo:</b>	<b>12/9/2023</b>		<b>Muestreadores:</b>		<b>Álvaro Baldioceda</b>
<b>Nombre del Cliente:</b>	<i>Asada Barrio Guanacaste</i>				
<b>Sitio:</b>	<i>Pozo</i>	<i>Primera casa</i>	<i>Tanque de almacenamiento</i>	<i>Casa del medio</i>	<i>Última casa</i>
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.23	0.14	0.11	0.14	0.63
<b>pH</b>	6.51	6.62	6.72	6.99	6.95
<b>T (C°)</b>	27	30.9	27.2	31.3	28.7
<b>CE (µs/cm)</b>	537	542	543	538	573
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	NA	1.16	0.88	0.92	1.19
<b>Color (UC) aparente</b>	<2	<2	<2	<2	4
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	1732.9	ND	ND	ND	ND
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	42.9	ND	ND	ND	ND
<b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>	13.4	ND	ND	ND	ND
<b>Fluoruro (mg/l)</b>	0.054	0.063	0.126	0.1	0.1
<b>Cloruro (mg/l)</b>	9.496	9.845	9.733	9.968	9.956
<b>Nitrito (mg/l)</b>	0.219	0.211	0.217	0.21	0.207
<b>Nitrato (mg/l)</b>	2.471	2.544	2.565	2.568	2.589
<b>Fosfato (mg/l)</b>	0.18	0.189	0.188	0.191	0.192
<b>Sulfato (mg/l)</b>	12.636	11.913	12.121	12.072	12.213
<b>Amonio (mg/l)</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Calcio (mg/l)</b>	56.752	58.012	55.17	58.214	58.324
<b>Sodio (mg/l)</b>	11.226	11.565	10.936	11.541	11.575
<b>Magnesio (mg/l)</b>	21.408	21.85	20.66	21.79	21.862

<b>Potasio (mg/l)</b>	0.217	0.245	0.225	0.236	0.239
<b>Dureza (mg/l)</b>	78.16	79.862	75.83	80.004	80.186
<b>Manganeso (mg/l)</b>	0.104				
<b>Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis). ND: No detectable (&lt;1.0)</b>					
<b>Realizado por:</b>	AGW/ JRC		<b>Revisado por:</b>		

Fuente: HIDROCEC, 2023.

*Anexo 6.7. Resultados de la calidad del agua de la ASADA Esperanza Sur de Nosara.*

<b>Fecha muestreo:</b>	<b>19/9/2023</b>		<b>Muestreadores:</b>	<b>Álvaro Baldioceda Garro</b>	
<b>Nombre del Cliente:</b>	<i>Asada Esperanza Sur</i>				
<b>Sitio</b>	<i>Pozo</i>	<i>Primera casa</i>	<i>Casa del medio</i>	<i>Tanque de almacenamiento</i>	<i>Última casa</i>
<b>Turbiedad (NTU)</b>	0.08	0.07	0.06	0.09	0.05
<b>pH</b>	6.57	6.59	6.87	6.7	6.5
<b>T (C°)</b>	27.4	27.7	29	28	30
<b>CE (µs/cm)</b>	522	526	523	531	526
<b>Cloro residual (mg/L)</b>	NA	2.5	2.5	2.5	2.37
<b>Color (UC) aparente</b>	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Coliformes Fecales (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Escherichia coli (NMP/100 mL)</b>	ND	ND	ND	ND	ND
<b>Fluoruro (mg/l)</b>	0.083	0.065	0.108	0.096	0.097
<b>Cloruro (mg/l)</b>	4.157	4.783	4.952	4.946	4.828
<b>Nitrito (mg/l)</b>	0.198	0.181	0.183	0.191	0.194
<b>Nitrato (mg/l)</b>	1.315	1.33	1.344	1.33	1.316
<b>Fosfato (mg/l)</b>	0.17	0.164	0.173	0.174	0.174
<b>Sulfato (mg/l)</b>	4.557	4.568	4.524	4.635	4.565
<b>Amonio (mg/l)</b>	0.002	NA	NA	0.002	NA
<b>Calcio (mg/l)</b>	80.28	78.742	78.742	80.704	79.374
<b>Sodio (mg/l)</b>	9.132	9.191	9.147	9.294	9.161
<b>Magnesio (mg/l)</b>	7.427	7.311	7.189	7.351	7.279
<b>Potasio (mg/l)</b>	0.349	0.324	0.396	0.348	0.325

<b>Dureza (mg/l)</b>					
<b>Manganeso (mg/l)</b>	0.015	ND	NA	0.016	0.003
<b>Nota. N1: Nivel 1 del Reglamento de Calidad de Agua Potable. NA: No aplica (no se realiza análisis). ND: No detectable (&lt;1.0)</b>					
<b>Realizado por:</b>	AGW/ JRC		<b>Revisado por:</b>		

Fuente: HIDROCEC, 2023.

*Anexo 6.8. Evidencia de aplicación de SERSA para la evaluación de riesgo en la ASADA Cañal Pozo de Agua, parte 1.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

*Anexo 6.9. Evidencia de aplicación de SERSA para la evaluación de riesgo en la ASADA Cañal Pozo de Agua, parte 2.*



Fuente: Morales y Medina, 2023.

**Anexo 6.10. Infografía sobre la importancia del monitoreo de la calidad del agua en Costa Rica.**



## IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN COSTA RICA

Ing. Marianna Morales & Ing. Liessel Medina, 2023.

PFG: "Evaluación de calidad de agua y riesgo para la gestión del recurso hídrico en Asociaciones de Acueductos Rurales (ASADAS) de Nicoya, Santa Cruz y Cañas, provincia de Guanacaste, Costa Rica".





El monitoreo de la calidad del agua potable es crucial para garantizar la salud pública y la seguridad ambiental. Permite la detección temprana de contaminantes y microorganismos peligrosos, lo que facilita intervenciones rápidas para prevenir brotes de enfermedades y garantizar un suministro de agua para el consumo seguro y confiable.

### PH



Es una medida de la acidez o alcalinidad del agua que se relaciona al sustrato disuelto.

**Razones claves por las cuales medir el pH:**

- La alteración del pH puede causar problemas gastrointestinales y dañar los tejidos del cuerpo.
- El sabor y la calidad pueden cambiar.
- Daño a las tuberías y sistemas de distribución, que resulta en costos de reparación para las infraestructuras de suministro de agua.
- Puede afectar la eficacia de los tratamientos de saneamiento.

### TURBIEDAD



Es la cantidad de partículas suspendidas y sólidos en el agua que la hacen ver opaca o turbia.

**Razones claves por las cuales medir la turbiedad:**

- Permite evaluar la pureza y claridad del agua que es esencial para garantizar que el agua sea segura.
- Pueden haber partículas y microorganismos la turbiedad que sean patógenos y causen enfermedades.
- Facilita ajustar el tratamiento para garantizar que el agua pueda consumirse.
- La medición de la turbiedad puede ayudar a identificar y abordar daños en tuberías, tales como fugas.

### TEMPERATURA



Depende de la temperatura del ambiente.

**Razones claves por las cuales medir la temperatura:**

- El agua muy fría o muy caliente puede no ser agradable y limitar su consumo.
- Puede afectar el crecimiento de microorganismos, como bacterias y parásitos.
- Influye en la eficiencia de los procesos de tratamiento del agua, como la desinfección.
- Afecta la corrosión de las tuberías y la formación de incrustaciones en el sistema por aguas duras.

### CLORO EN EL AGUA



Contribuye a la desinfección efectiva, la prevención de enfermedades transmitidas por el agua y la protección de la salud pública.

**Razones claves por las cuales medir el cloro en el agua:**

- Asegura que se haya añadido suficiente cloro para eliminar o inactivar los microorganismos patógenos que puedan estar presentes en el agua.
- Monitorea la eficacia de los procesos de desinfección y cantidad de cloro añadido según sea necesario.
- Previene posibles brotes de enfermedades transmitidas por el agua, como las diarreas y otro padecimientos gastrointestinales.

### CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Esencial para evaluar la calidad del agua, controlar la corrosión, y optimizar el tratamiento.

**Razones claves por las cuales medir la conductividad eléctrica:**

- Es Indicador de la presencia de contaminantes como sales minerales, nutrientes o productos químicos disueltos.
- Altos niveles de conductividad por la presencia de iones metálicos que pueden aumentar el riesgo de corrosión en las tuberías y la liberación de metales tóxicos en el agua.
- Fundamental para monitorear la calidad del agua y tomar medidas para proteger los recursos hídricos.

Valores Máximos Adisibles (VMS), según el parámetro analizado:

- pH: De 6.5 a 8.5
- Turbiedad: 5 (NTU).
- Temperatura: 18 a 30°C.
- Conductividad eléctrica: 400 (µS/cm), como valor de alerta.
- Cloro: 0.30 a 100 mg/L.

Fuente: Morales y Medina, 2023.

