

UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL (UCI)

FACULTAD DE AMBIENTE Y DESARROLLO

ESCUELA LATINOAMERICANA DE ÁREAS PROTEGIDAS

**ESTUDIO DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CAPACIDAD
HÍDRICA DE ACUEDUCTOS COMUNALES EN LA ZONA ALTA DE LA
MICROCUENCA DEL RÍO JORCO: ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE AGUA,
ADAPTACIÓN Y EFECTIVIDAD ORGANIZACIONAL (ENERO 2023- AGOSTO
2025)**



SUSTENTANTE: BRYAN A. RAMÍREZ CHINCHILLA

PROYECTO FINAL DE GRADUACION PRESENTADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OPTAR POR EL TITULO DE MASTER EN LIDERAZGO Y
GERENCIA AMBIENTAL

San José, Costa Rica

Noviembre, 2025

**UNIVERSIDAD PARA LA COOPERACION INTERNACIONAL
(UCI)**

Este Proyecto Final de Graduación fue aprobado por la Universidad como Requisito parcial para optar al grado de Máster en Liderazgo y Gerencia Ambiental

ROBERTO
CHAVES
CASTILLO
(FIRMA)



Firmado
digitalmente por
ROBERTO CHAVES
CASTILLO (FIRMA)
Fecha: 2025.11.28
12:45:26 -06'00'

Roberto Chaves Castillo
PROFESOR TUTOR

MINOR
DURAN
MONGE
(FIRMA)



Firmado
digitalmente por
MINOR DURAN
MONGE (FIRMA)
Fecha: 2025.11.27
20:08:54 -06'00'

Minor Duran Monge
LECTOR No.1

CARLOS ALBERTO
MENDEZ
FERNANDEZ
(FIRMA)



Firmado digitalmente por
CARLOS ALBERTO
MENDEZ FERNANDEZ
(FIRMA)
Fecha: 2025.11.28 07:22:52
-06'00'

Carlos Alberto Méndez Fernández
LECTOR No.2

BRYAN ALBERTO
RAMIREZ
CHINCHILLA
(FIRMA)



Firmado digitalmente por
BRYAN ALBERTO RAMIREZ
CHINCHILLA (FIRMA)
Fecha: 2025.11.27 19:27:04
-06'00'

Bryan Alberto Ramírez Chinchilla
SUSTENTANTE

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me enseñaron que el servicio adquiere significado cuando fortalece la sociedad y nuestro entorno.

A las ASADAS de la zona alta del río Jorco, cuya gestión comunitaria garantiza agua pura y resiliente para sus territorios, especialmente ante los desafíos del cambio climático.

A las futuras generaciones de gestores comunitarios del agua, para que encuentren en este trabajo herramientas que fortalezcan la gobernanza participativa y sostenible de nuestros recursos hídricos en contextos de vulnerabilidad climática.

Resumen (ES)

El estudio analiza el impacto del cambio climático en la capacidad hídrica de tres acueductos comunales ubicados en la zona alta de la microcuenca del río Jorco (ASADA Tarbaca, ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca y ASADA Vuelta de Jorco), durante el período enero 2023–agosto 2025. La investigación responde a la necesidad de comprender cómo la variabilidad climática, las disminuciones de caudal y las presiones sobre las fuentes afectan la continuidad y resiliencia del servicio de agua potable administrado por organizaciones comunitarias.

Se aplicó un enfoque mixto que integró análisis de datos hidrometeorológicos (precipitación, temperatura y caudales), revisión documental, análisis institucional y entrevistas semiestructuradas con actores clave. Los resultados muestran una reducción notable de caudales en época seca, un aumento de eventos de lluvia intensa pero menos regulares, y una alta presión por aprovechamientos inscritos y en trámite en la parte alta de la microcuenca, lo que incrementa la vulnerabilidad de las fuentes de naciente.

El estudio concluye que las ASADAS requieren fortalecer sus estrategias de adaptación mediante acciones de gestión de la demanda, mejora en la infraestructura, protección de zonas de recarga y articulación con instrumentos nacionales de adaptación climática. Se proponen medidas priorizadas en corto, mediano y largo plazo, orientadas a garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico y la continuidad del servicio comunitario.

Abstract (EN)

This study assesses the impact of climate change on the water supply capacity of three community aqueducts located in the upper area of the Jorco River micro-basin (ASADA Tarbaca, ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca, and ASADA Vuelta de Jorco) during the period January 2023–August 2025. The research addresses the need to understand how climatic variability, reductions in spring flow, and increasing pressure on water sources affect the continuity and resilience of drinking water services managed by community organizations.

A mixed-methods approach was applied, combining hydrometeorological data analysis (rainfall, temperature, and streamflow), document review, institutional assessment, and semi-structured interviews with key stakeholders. Results show significant dry-season flow reductions, more intense but less frequent rainfall events, and high pressure from registered and pending water concessions in the upper micro-basin, increasing the vulnerability of spring-fed systems.

The study concludes that ASADAS must strengthen their adaptation strategies through demand management, infrastructure improvements, protection of recharge areas, and alignment with national climate adaptation instruments. A set of prioritized short-, medium-, and long-term recommendations is proposed to ensure water resource sustainability and the continuity of community-managed services.

TABLA DE CONTENIDO

1.1.	Antecedentes.....	12
1.2.	Planteamiento del problema	13
1.3.	Objetivos.....	15
1.3.1.	Objetivo general	15
1.3.2.	Objetivos específicos.....	16
1.4.	Justificación	16
1.4.1.	Relevancia teórica.....	16
1.4.2.	Relevancia práctica.....	17
1.4.3.	Relevancia metodológica.....	17
1.4.4.	Relevancia social	17
1.4.5.	Relevancia para la política pública.....	18
1.4.6.	Viabilidad del estudio	18
2.1.	Marco situacional	20
2.1.1.	Situación de los acueductos comunales en Costa Rica	20
2.1.2.	Marco legal e institucional de ASADAS en Costa Rica	20
2.1.3.	Caracterización de la cuenca del río Jorco	21
2.1.4.	Variabilidad climática y disponibilidad hidrica en Acueductos.....	22
2.2.	Marco conceptual	23
2.2.1.	Cambio climático	23
2.2.1.1.	Manifestaciones climáticas típicas.....	23
2.2.2.	Capacidad hídrica y disponibilidad de agua.....	24
2.2.2.1.	El balance hídrico para Acueductos y sus componentes técnicos	24
2.2.2.2.	Disponibilidad de servicio de agua en Acueductos.	24
2.2.2.3.	Zonas deficitarias	26
2.2.3.	Caudal requerido	26
2.2.3.1.	Tipos de aprovechamientos de agua	27
2.2.3.2.	Inscripción y concesión de fuentes de agua	27
2.2.4.	Regulaciones en la calidad del agua para consumo humano	28
2.2.4.1.	Ánálisis de calidad del agua para consumo humano	28
2.2.4.2.	Controles operativos de calidad de agua para Acueductos.....	30
2.2.4.3.	Desafíos técnicos y económicos en el cumplimiento de la calidad del agua	
	30	

2.2.4.4. Factores climáticos que afectan la calidad del agua	31
2.2.5. Aspectos económicos y de infraestructura	32
2.2.5.1. Estructura tarifaria en las ASADAS	32
2.2.5.2. Clasificación de acueductos.....	32
2.2.5.3. Limitaciones económicas de los acueductos comunales.	33
2.2.6. Medidas de adaptación ante el cambio climático.....	34
2.2.6.1. Reducción de agua no contabilizada.....	34
2.2.6.2. Diversificación de fuentes hídricas.....	35
2.2.6.3. Monitoreo y gestión de información climática	36
2.2.6.4. Fondos para la resiliencia climática.....	37
2.2.6.5. Medidas de adaptación y gestión organizacional comunitaria	38
2.2.6.6. Asociatividad y cooperación entre ASADAS como estrategia de adaptación	
38	
2.2.7. Síntesis del marco teórico y aplicación al proyecto	38
3.1. Marco metodológico.....	44
3.1.1. Definición de tema	44
3.1.2. Fuentes de información	44
3.1.3. Objeto de estudio.....	45
3.1.4. Métodos de investigación.....	47
3.1.5. Tipo de Investigación.....	47
3.1.6. Técnicas e instrumentos	48
3.1.7. Instrumentos de recolección de datos.....	51
3.1.7.1. Matriz de análisis documental	52
3.1.7.2. Guías de entrevista semiestructurada.....	52
3.1.7.3. Ficha de observación directa.....	53
3.1.7.4. Hojas de Cálculo	54
3.1.7.5. Tablas comparativas	54
4.1. Resultados.....	70
4.1.1. Impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua	71
4.1.1.1. Variación de caudales aforados (2023–2025).....	73
4.1.1.2. Balance hídrico vs. capacidad hídrica.....	75
4.1.1.1. Agua no contabilizada (ANC).	76
4.1.1.2. Disponibilidades otorgadas o rechazadas.	77
4.1.1.3. Lluvia, temperatura y caudales.	78
4.1.1.3.1. Lluvia y temperatura	79

4.1.1.3.2. Comparativa entre lluvia, temperatura y caudales.	81
4.1.1.4. Percepciones de las ASADAS ante las variaciones climáticas extremas. ..	84
4.1.1.5. Observación directa de fuentes y estacionalidad.	85
4.1.2. Medidas administrativas, operativas y financieras implementadas	87
4.1.2.1. Medidas administrativas frente a la variabilidad climática.....	89
4.1.2.2. Medidas operativas frente a la variabilidad climática.....	89
4.1.2.3. Medidas financieras para enfrentar variaciones climáticas.	90
4.1.2.4. Presupuestos e inversiones para variaciones climáticas extre.....	91
4.1.3. Medidas de adaptación más efectivas según tipología de acueducto	92
4.1.3.1. Tipología de acueductos.	92
4.1.3.2. Reducción de ANC y mejoras de eficiencia.	96
4.1.3.3. Estado de infraestructura observada en campo.	97
4.1.3.4. Implementación de sistemas de monitoreo y reducción de ANC y tecnologías para la adaptabilidad climática.....	100
4.1.3.6. Acceso y uso de información meteorológica.	103
4.1.3.7. Planes y programas de adaptación (GIRA, PSA, BAE, Observatorios)...	104
4.1.3.8. Participación en organizaciones asociativas.	104
4.1.3.9. Participación comunitaria en la gestión hídrica.	105
4.1.3.10. Presupuestos e inversiones para la adaptación ante el cambio climático. 105	105
4.1.3.11. Percepción de la disponibilidad de agua futura.	106
4.1.3.12. Recomendaciones de las ASADAS para enfrentar el cambio climático ..	107
4.1.3.13. Comparaciones entre ASADAS.....	107
5.1. Conclusiones.....	114
6.1. Recomendaciones	121
7.1. Bibliografía de referencia	127
8.1. Anexos	133

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Indicadores conceptuales.....	41
Tabla 2: Criterios de selección.	46
Tabla 3: Operacionalización de instrumentos.	56

Tabla 4 Registros de caudal en litros por segundo diferenciados por color (2023–2025) ..	75
Tabla 5 Comparativa de disponibilidades-ASADA Tarbaca (2023–2025).....	78
Tabla 6. Correlaciones más relevantes de lluvia, temperatura y caudal total (2023-2025).	83
Tabla 7. Caracterización de los acueductos en estudio según conexiones, población, tarifas e ingresos	88
Tabla 8 Concesiones registradas en el SINIGIRH pertenecientes a Acueductos.....	93
Tabla 9. Clasificación de fuentes utilizadas en la microcuenca alta del río Jorco.....	95
Tabla 10 Comparación integral de hallazgos por ASADA estudiada	108

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comportamiento de caudales ASADA Tarbaca Aserri (2023-2025)	73
Figura 2 Georreferenciación de las estaciones meteorológicas: Cerro Burío, San Gabriel y ASADA Tarbaca.....	79
Figura 3 Registros Lluvia estación Cerro Burío-Tarbaca (IMN)	80
Figura 4 Registros aforos de caudal Acueducto Tarbaca según tipo de fuente.....	81

ANEXOS

Anexo 1: Carpeta de recolección de datos: Datos recolectados, grabación de entrevistas, fotografías y videos.	133
Anexo 2: Carpeta de cartas por solicitud de información a organizaciones.....	133
Anexo 3: Carpeta de archivos tablas, capas, datos importantes utilizados:	133
Anexo 4: Carpeta de documentos de formalización, evaluación y aprobación de tesina:..	133
Anexo 5: Machote integrado clima y ANC documento Excel:	133
Anexo 6: Machote Carta de Disponibilidad de Agua agregado cambio climático Word: .	133

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado completo

ANC	Agua No Contabilizada
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Pùblicos
ASADAS	Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CAAR	Comités Administradores de Acueductos Rurales
CCH	Constancia de Capacidad Hídrica
CDS	Constancia de Disponibilidad de Servicios
CNE	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
CO	Control Operativo (calidad de agua)
ECA	Ente Costarricense de Acreditación
ENOS	El Niño–Oscilación del Sur
FILACC	Financiamiento de Iniciativas Locales para la Adaptación al Cambio Climático
GAM	Gran Área Metropolitana
GIRA	Planes de Gestión Integral de Riesgos de Agua
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PSA	Programa de Pago por Servicios Ambientales
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RE	Resolución (ARESEP)
SbN	Soluciones basadas en la Naturaleza
SCALL	Sistema de Cosecha de Agua de Lluvia
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINIGIRH	Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico
TPRH	Tarifa de Protección del Recurso Hídrico
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbiedad
UCR	Universidad de Costa Rica
ZPCE	Zona Protectora Cerros de Escazú

CAPÍTULO I

Resumen Ejecutivo

El presente estudio analiza el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica de tres acueductos comunales ubicados en la parte alta de la microcuenca del río Jorco, con el fin de comprender cómo las variaciones en precipitación, temperatura y caudales afectan la continuidad del servicio y la resiliencia organizacional. A partir de esta problemática se plantearon preguntas de investigación orientadas a describir los cambios hidrológicos recientes, identificar los factores que condicionan la vulnerabilidad de las fuentes y valorar la capacidad de adaptación de las ASADAS. En correspondencia directa con estas preguntas, los objetivos del estudio se definieron para analizar el comportamiento hidrometeorológico del período 2023–2025, evaluar los impactos en la capacidad hídrica y proponer medidas de adaptación que fortalezcan la gestión del recurso en el corto, mediano y largo plazo.

El documento se estructura en cuatro capítulos principales. El primero presenta los antecedentes, la problemática, los objetivos y la justificación del estudio; el segundo desarrolla el marco teórico y conceptual con base en la normativa nacional, los principios de gestión comunitaria del agua y los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. El tercer capítulo expone la metodología empleada, que combina el análisis documental, entrevistas y observación directa, mientras que el cuarto presenta los resultados y hallazgos sobre variaciones de caudales, disponibilidad hídrica, medidas de adaptación y efectividad organizacional, seguidos de las conclusiones y recomendaciones orientadas a fortalecer la resiliencia de los acueductos comunales.

La investigación busca generar conocimiento aplicado que contribuya al fortalecimiento técnico e institucional de las ASADAS, promoviendo una gestión más eficiente y adaptativa del recurso hídrico ante escenarios de variabilidad climática. Al integrar información científica con experiencias locales, el estudio pretende ofrecer un modelo de análisis replicable en otras regiones del país, y aportar evidencia útil para la formulación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad del agua en comunidades rurales de montaña.

1.1. Antecedentes

Los acueductos comunales en Costa Rica han evolucionado durante las últimas cinco décadas como una estrategia exitosa de descentralización en la gestión del recurso hídrico, consolidándose como un modelo de gestión comunitaria reconocido a nivel nacional e internacional. Este modelo se fundamenta en los principios de participación ciudadana, gestión sostenible y autonomía comunitaria, representando una alternativa efectiva a los sistemas de abastecimiento centralizados para comunidades rurales y semiurbanas.

En el contexto actual de la gestión hídrica en Costa Rica, la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP, 2025), reconoce a las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS) como actores fundamentales para garantizar el acceso al agua potable en comunidades rurales y periurbanas. La resolución describe que estas organizaciones cumplen un papel estratégico al asegurar la prestación del servicio en territorios donde el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) no tiene presencia directa, integrando en su gestión aspectos técnicos, ambientales y sociales que fortalecen la sostenibilidad del recurso.

Asimismo, se identifica que las ASADAS enfrentan desafíos persistentes relacionados con pérdidas físicas y comerciales de agua, limitaciones en inversión e insuficiente planificación hidrogeológica, lo que ha motivado el impulso de mecanismos regulatorios como la Tarifa de Protección del Recurso Hídrico (TPRH) y el Sello Regulatorio de Calidad, orientados a financiar estudios, mejorar la eficiencia operativa y fortalecer la cultura del agua. Este reconocimiento institucional refuerza la importancia del modelo comunitario de gestión del agua como pilar del sistema nacional de abastecimiento, al combinar la eficiencia local con la corresponsabilidad en la conservación de las fuentes hídricas y la adaptación al cambio climático.

La región del cantón de Aserrí, específicamente en la zona montañosa del distrito de Tarbaca donde se encuentra la zona alta de la cuenca del río Jorco, alberga un conjunto representativo de acueductos comunales que han operado de manera ininterrumpida durante más de tres décadas. Entre estos destacan la ASADA de Tarbaca, el Acueducto de Vuelta de Jorco y la

ASADA de Barrio San Rafael de Tarbaca, todas ellas ubicadas en un territorio montañoso que se caracteriza por la abundancia relativa de fuentes naturales de agua y una topografía que favorece sistemas de abastecimiento por gravedad.

Por otro lado, estudios recientes evidencian que estos sistemas comunitarios enfrentan presiones crecientes relacionadas con la variabilidad climática y sus efectos sobre la disponibilidad del recurso hídrico. El Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2023) ha documentado cambios significativos en los patrones de precipitación en la región central del país, incluyendo la intensificación de períodos secos, alteraciones en los regímenes hidrológicos tradicionales y aumentos en la frecuencia de eventos climáticos extremos que afectan directamente la capacidad de los sistemas de abastecimiento comunitarios.

En el contexto nacional, las investigaciones realizadas por universidades públicas costarricenses han comenzado a documentar los desafíos específicos que enfrentan las organizaciones comunitarias ante la variabilidad climática. Los estudios desarrollados por la Universidad de Costa Rica en diversas regiones del país han evidenciado que "la gestión del agua en Costa Rica ocurre en un entorno institucional centralizado que se caracteriza por el traslape de competencias, bajo un marco legal complejo de operativizar" (García & Carazo, 2020).

Sin embargo, persiste un vacío significativo en estudios que evalúen de manera sistemática el impacto del cambio climático sobre la capacidad de otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua potable en sistemas comunitarios específicos, y que analicen la efectividad de las medidas organizacionales implementadas por estas instituciones comunales en contextos territoriales concretos como la microcuenca del río Jorco.

1.2. Planteamiento del problema

Los acueductos comunales de la zona alta de Aserrí, particularmente en los distritos de Tarbaca y Vuelta de Jorco, enfrentan una problemática multidimensional que compromete su capacidad para sostener un servicio continuo de agua potable. La combinación de factores climáticos, técnicos y organizacionales ha generado una reducción progresiva de la

disponibilidad del recurso y un incremento en la vulnerabilidad operativa de las ASADAS locales.

Según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2023) Durante el período 2023-2025, la variabilidad climática ha provocado descensos en los caudales de manantiales y quebradas, afectando las fuentes tradicionales de abastecimiento. Esta disminución, vinculada al aumento de temperaturas, a períodos secos más prolongados y a la irregularidad de las lluvias, evidencia una mayor exposición de los sistemas comunitarios de montaña a los efectos del cambio climático (IMN, 2023)

Paralelamente, según el Instituto Nacional de estadísticas y Censos (INEC, 2021), el crecimiento poblacional y el desarrollo urbano en las comunidades de Tarbaca y Vuelta de Jorco, quienes cuentan con un aumento demográfico cercano al 12 % entre 2015 y 2020 (INEC, 2021), han incrementado la demanda de nuevas conexiones y presionado la capacidad técnica e hídrica de los acueductos. En muchos casos, esta presión supera la disponibilidad real del sistema, generando listas de espera y limitaciones para otorgar constancias de servicio.

A ello se suma un marco regulatorio que, aunque busca asegurar la sostenibilidad de los sistemas comunales, exige demostrar capacidad hídrica mediante estudios técnicos y balances operativos en el Reglamento de ASADAS según decreto N.º 42582-S-MINAE. En contextos de variabilidad climática, estas exigencias se vuelven difíciles de cumplir, pues los caudales fluctúan de forma impredecible y las ASADAS carecen de recursos para monitoreos continuos o actualizaciones técnicas.

La falta de información sistematizada sobre la relación entre cambio climático y capacidad hídrica limita la toma de decisiones informadas y la planificación a mediano plazo. Pese a los esfuerzos institucionales, persiste un vacío en estudios que integren análisis hidrológicos, climáticos y organizacionales en acueductos comunales específicos, lo que impide identificar con claridad las medidas de adaptación más efectivas.

En este contexto, la problemática central radica en comprender cómo las variaciones climáticas recientes han impactado la capacidad hídrica de los acueductos comunales de la

zona alta del río Jorco y en qué medida las acciones administrativas, operativas y financieras adoptadas por las ASADAS contribuyen a sostener su resiliencia frente a la escasez hídrica.

En consecuencia, esta situación plantea la necesidad de formular preguntas de investigación que permitan comprender de manera integral cómo la variabilidad climática reciente incide en la disponibilidad hídrica de los acueductos comunales y en la efectividad de las medidas organizacionales adoptadas para enfrentarla.

Pregunta de investigación principal: ¿Cuál es el impacto del cambio climático en la capacidad hídrica de acueductos comunales de la zona alta de la cuenca del río Jorco para otorgar nuevas disponibilidades de agua durante el período 2023-2025, y qué medidas de adaptación han demostrado mayor efectividad según el tipo de acueducto y fuente hídrica?

Preguntas secundarias de investigación:

1. ¿Cómo ha variado el caudal disponible en las fuentes de abastecimiento de los acueductos comunales durante el período 2023-2025 y qué relación existe con las variables climáticas registradas en la región?
2. ¿Cuáles son las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes implementadas por cada acueducto comunal en respuesta a los desafíos de disponibilidad hídrica y cómo se relacionan con sus características organizacionales específicas?
3. ¿Qué nivel de efectividad perciben los administradores y juntas directivas respecto a las medidas de adaptación implementadas según los escenarios climáticos enfrentados (seco o lluvioso), el tipo de acueducto y las características de las fuentes hídricas disponibles?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el impacto del cambio climático en la capacidad hídrica de acueductos comunales con aprovechamientos en la zona alta de la cuenca del río Jorco durante 2023-2025,

analizando la disponibilidad de caudal para nuevas conexiones y la efectividad de medidas de adaptación implementadas por estas organizaciones de base comunal.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.
2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.

1.4. Justificación

Esta investigación responde a la necesidad de generar conocimiento científico aplicado sobre la gestión comunitaria del agua en contextos de cambio climático, aportando evidencia empírica que contribuya al fortalecimiento de las capacidades técnicas y organizacionales de las ASADAS de la zona alta del río Jorco. Su desarrollo integra aspectos científicos, prácticos, sociales y de política pública, orientados a comprender y mejorar la resiliencia hídrica de los acueductos comunales costarricenses.

1.4.1. Relevancia teórica

El estudio contribuye al desarrollo del conocimiento sobre vulnerabilidad y adaptación climática en sistemas de abastecimiento comunitarios, una temática aún poco abordada en el país. Aporta evidencia empírica sobre los mecanismos mediante los cuales la variabilidad climática afecta la capacidad de otorgar nuevas disponibilidades de agua, integrando variables hidrológicas, organizacionales y financieras. Asimismo, desarrolla y valida herramientas metodológicas, integra elementos cuantitativos como el balance hídrico operativo y combina con percepciones cualitativas, esto puede replicarse en otras regiones o países con modelos similares de gestión comunitaria. Esta integración de enfoques fortalece

la rigurosidad científica y la aplicabilidad práctica de los resultados, generando un modelo replicable de análisis de capacidad hídrica ante escenarios de cambio climático.

1.4.2. Relevancia práctica

El trabajo se origina en una necesidad expresada por las propias comunidades, preocupadas por la sostenibilidad del suministro de agua a largo plazo. Su desarrollo promueve la participación de administradores y juntas directivas en la generación y validación del conocimiento, fortaleciendo la autonomía y la capacidad adaptativa local. Además, contribuye al bienestar colectivo al apoyar la continuidad del servicio de agua potable en zonas rurales, elemento esencial para la salud pública, la cohesión comunitaria y la permanencia de los medios de vida locales.

1.4.3. Relevancia metodológica

El estudio desarrolla y valida metodologías específicas para evaluar el impacto climático en la capacidad de otorgamiento de disponibilidades hídricas en sistemas comunitarios, contribuyendo al desarrollo de herramientas de análisis que pueden ser replicadas en otros contextos territoriales y diferentes tipos de organizaciones comunitarias.

La combinación de análisis cuantitativos de registros técnicos con evaluaciones cualitativas de percepciones organizacionales genera un enfoque metodológico integral que puede ser adaptado para estudios similares en diferentes regiones del país y otros países de Centroamérica con sistemas de gestión comunitaria del agua similares.

La investigación contribuye además al desarrollo de instrumentos de medición de efectividad organizacional en contextos de gestión comunitaria del agua, proporcionando criterios y metodologías que pueden ser utilizados por investigadores, consultores y profesionales del sector hídrico en futuras evaluaciones de desempeño institucional de ASADAS y organizaciones similares.

1.4.4. Relevancia social

El trabajo se origina en una necesidad expresada por las propias comunidades, preocupadas por la sostenibilidad del suministro de agua a largo plazo. Su desarrollo promueve la participación de administradores y juntas directivas en la generación y validación del conocimiento, fortaleciendo la autonomía y la capacidad adaptativa local. Además, contribuye al bienestar colectivo al apoyar la continuidad del servicio de agua potable en zonas rurales, elemento esencial para la salud pública, la cohesión comunitaria y la permanencia de los medios de vida locales.

En un sentido macrosocial, la importancia estratégica de resolver esta problemática trasciende el ámbito local, considerando que las ASADAS constituyen un pilar fundamental del sistema nacional de abastecimiento de agua potable. La sostenibilidad de estos sistemas comunitarios es esencial para el cumplimiento de los compromisos nacionales relacionados con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (Agua Limpia y Saneamiento) y para mantener la cobertura de servicios básicos en comunidades rurales y semiurbanas.

1.4.5. Relevancia para la política pública

Los hallazgos del estudio proporcionan evidencia técnica que puede ser utilizada por el AyA, el MINAE y la ARESEP para fortalecer la Política Nacional de Agua Potable 2017-2030 y los instrumentos nacionales de adaptación al cambio climático, ofreciendo información sobre los desafíos reales que enfrentan los acueductos comunales en territorios de montaña.

1.4.6. Viabilidad del estudio

La investigación es técnica y logísticamente viable debido a múltiples factores favorables. Existe disponibilidad confirmada de registros históricos de caudales y otras variables técnicas en las ASADAS participantes, así como colaboración explícita de administradores y juntas directivas para proporcionar información primaria y facilitar el trabajo de campo.

El acceso a bases de datos climáticas del Instituto Meteorológico Nacional para el análisis de variables ambientales está garantizado a través de convenios institucionales existentes. La proximidad geográfica de los acueductos comunales seleccionados (todos ubicados en un

radio de 15 kilómetros) facilita significativamente el trabajo de campo y reduce los costos logísticos de la investigación.

El período de estudio de cuatro meses es suficiente para completar todas las actividades planificadas de recolección de datos, análisis de información y elaboración de resultados, considerando que gran parte de la información requerida está disponible en registros existentes y que las organizaciones participantes han confirmado su disposición para colaborar activamente en el desarrollo del estudio.

CAPÍTULO II

2.1. Marco situacional

2.1.1. Situación de los acueductos comunales en Costa Rica

Los acueductos comunales constituyen un pilar del sistema nacional de abastecimiento de agua potable en Costa Rica, consolidando un modelo de gestión participativa que ha garantizado el servicio a zonas rurales donde el Estado no contaba con infraestructura suficiente. Estas organizaciones, conocidas como Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS), atienden cerca del 24 % de la población y gestionan alrededor del 59 % de las captaciones de agua del país (Mora & Portuguez, 2021).

El modelo ASADA combina gestión técnica con gobernanza comunitaria, integrando la participación social y la sostenibilidad ambiental. No obstante, enfrenta desafíos crecientes asociados a la variabilidad climática, la presión demográfica, las limitaciones financieras y la necesidad de profesionalización administrativa. De acuerdo con la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP, 2025), más de la mitad de los sistemas comunales presentan altos niveles de Agua No Contabilizada (ANC) y restricciones económicas para modernizar sus redes, lo que impacta directamente la disponibilidad real del recurso y la estabilidad del servicio.

2.1.2. Marco legal e institucional de ASADAS en Costa Rica

El marco legal que regula la gestión comunitaria del agua se sustenta en la Ley de Aguas N.º 276 (1942) y su régimen de concesiones, la ley de Asociaciones N.º 218, complementado por el Reglamento de ASADAS establecido en el decreto ejecutivo N.º 42582-S-MINAE y los reglamentos ejecutivos dictados por las entidades públicas competentes. Estas normativas establecen que las ASADAS operan bajo la figura de delegación del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), manteniendo autonomía administrativa y financiera dentro de los lineamientos técnicos y de fiscalización de dicho ente.

Las resoluciones recientes de la Intendencia de Agua de la ARESEP como lo es la de RE-0034-IA-2024, han fortalecido los criterios de control y transparencia en las ASADAS, para garantizar la continuidad, confiabilidad y calidad en el servicio. Este marco jurídico impulsa la eficiencia en la gestión, pero también revive el papel de la ARESEP como un regulador en este sector.

2.1.3. Caracterización de la cuenca del río Jorco

El Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones y el Instituto Meteorológico Nacional (2011), señalan que el río Jorco se inserta dentro de la cuenca del río Parrita, cuya parte alta forma parte del sistema hidrográfico del río Parrita, en la vertiente del Pacífico Central de Costa Rica. Posee una importancia estratégica dentro del equilibrio hídrico regional, al fungir como zona de recarga y regulación natural del flujo hacia los acueductos comunales que abastecen a diversas comunidades rurales de los cantones de Aserrí y Acosta. El río Jorco forma parte del sistema hidrográfico del río Parrita, cuya cuenca mayor se extiende entre las coordenadas planas 163.700–208.000 de latitud norte y 491.200–553.500 de longitud oeste.

La parte alta de la cuenca, donde se desarrolla el presente estudio, se caracteriza por pendientes pronunciadas con un promedio superior al 35 %, suelos derivados de cenizas volcánicas y abundante cobertura boscosa en los sectores de mayor elevación. Este entorno geográfico, además de propiciar la formación de manantiales y quebradas, confiere a la zona un papel esencial en la captación y regulación del recurso hídrico. (MINAET & IMN, 2011). Diversas fuentes utilizadas por las ASADAS de Tarbaca, Vuelta de Jorco y Barrio San Rafael de Tarbaca nacen en esta franja montañosa, especialmente en áreas colindantes con la Zona Protectora Cerros de Escazú (ZPCE), la cual actúa como barrera natural de conservación de las nacientes y como corredor biológico de alto valor ecológico.

El IMN (2023) señala que el régimen climático de la cuenca corresponde al piso tropical húmedo premontano, con una marcada estacionalidad bimodal: una estación lluviosa de mayo a noviembre y una estación seca extendida de diciembre a abril. La precipitación anual promedio varía entre los 1.800 y 2.800 mm, aunque con fuerte variabilidad interanual influenciada por los fenómenos El Niño y La Niña (ENOS). Estos eventos manifiestan una

reducción progresiva de las lluvias continuas y un incremento en la intensidad de los eventos extremos, situación que se traduce en descensos estacionales de los caudales y mayor presión sobre las fuentes comunales.

Según el AyA (2023) aproximadamente el 38 % del área de captación comunal de la cuenca se ubica dentro de zonas protegidas o de conservación, mientras que el restante porcentaje corresponde a sectores con distintos grados de intervención humana. Esta distribución evidencia el delicado equilibrio entre la conservación ecológica y el aprovechamiento del recurso hídrico para consumo humano. Esta distribución evidencia el delicado equilibrio entre la conservación ecológica y el aprovechamiento del agua para consumo humano.

2.1.4. Variabilidad climática y disponibilidad hidrica en Acueductos

Costa Rica enfrenta una crisis hídrica intensificada por el cambio climático que afecta directamente la capacidad de sus sistemas de abastecimiento. Según Angulo Zamora (2022), uno de cada tres costarricenses no tiene suficiente agua para atender sus necesidades durante el año, y el 66% de los acueductos tiene capacidad hídrica reducida, mientras que el 34% (61 de 180 sistemas) ya se encuentran con estrés hídrico.

El Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, 2018) reconoce que las ASADAS son especialmente vulnerables debido a su dependencia de fuentes naturales superficiales y a su limitada capacidad financiera para implementar medidas de adaptación. El Plan Nacional de Adaptación destaca la necesidad de fortalecer sus capacidades técnicas y de gestión, así como de integrar la información climática en la planificación local para reducir su exposición al riesgo climático.

Las condiciones del recurso hídrico presentan un contraste significativo entre disponibilidad física y calidad para el consumo humano. Según Angulo (2022), Costa Rica dispone de cantidades limitadas de agua de excelente calidad y grandes volúmenes de agua no apta para el consumo humano, utilizada en riego, producción y otras actividades, cuyo costo de potabilización es elevado. Esto evidencia que la inversión destinada a mejorar la calidad del recurso ha sido insuficiente, y que el país enfrenta el desafío de destinar mayores recursos para asegurar el acceso a agua potable segura.

2.2. Marco conceptual

En este apartado se explicarán los componentes conceptuales que se relacionan con la disponibilidad de agua de un acueducto comunal, los cuales pueden ser de índole ambiental, operativo, administrativo, financiero, calidad del agua y fortaleza organizacional, y pueden configurar positiva o negativamente el acceso al agua para consumo humano.

2.2.1. Cambio climático

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1992), el cambio climático se define como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables.

Aunado a esto, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2014) sostiene que existe evidencia científica inequívoca de que el cambio climático es una realidad. Los escenarios evaluados proyectan un aumento continuo de la temperatura superficial durante el siglo XXI y variaciones regionales significativas en los patrones de precipitación.

2.2.1.1. Manifestaciones climáticas típicas

Según MINAET e IMN (2011) el clima de Costa Rica se caracteriza por su diversidad regional y su marcada estacionalidad, influenciada por la Zona de Convergencia Intertropical, los vientos alisios y la topografía del territorio. En la vertiente del Pacífico Central predomina un régimen tropical húmedo premontano, con una estación lluviosa que se extiende de mayo a noviembre y una estación seca de diciembre a abril.

En Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, 2022), Costa Rica es vulnerable tanto a eventos meteorológicos extremos de evolución rápida —como sequías, temperaturas extremas, lluvias intensas y huracanes— cuya frecuencia e intensidad han incrementado, como a procesos de manifestación lenta que incluyen el aumento gradual de la temperatura, la degradación de suelos y bosques, la acidificación oceánica y la intrusión salina. Esta clasificación permite comprender la variedad de impactos climáticos que afectan al país y su relación directa con la gestión del recurso hídrico.

2.2.2. Capacidad hídrica y disponibilidad de agua

Según el AyA (2017), la evaluación de la capacidad hídrica constituye una herramienta fundamental que “permite el monitoreo y la evaluación efectiva de la capacidad hídrica y la adaptación de los acueductos comunales” (p. 2). La aplicación sistemática de este instrumento facilita la toma de decisiones informadas y la valoración del impacto de las estrategias de adaptación implementadas. Es importante señalar que esta evaluación debe ser realizada por un profesional especializado en hidrología y forma parte de los estudios técnicos integrales para acueductos comunales.

2.2.2.1. El balance hídrico para Acueductos y sus componentes técnicos

2.2.2.1.1. Balance hídrico

En AyA (2017), el balance hídrico constituye la herramienta principal para evaluar la sostenibilidad del sistema. Los estudios técnicos establecen que "el operador debe llevar el balance de la capacidad del sistema de agua potable, y tomar en cuenta este documento para proceder a la inclusión de la reserva" (p. 5). Esto se calcula con una metodología del balance hídrico operacional permite evaluar la sostenibilidad mediante la fórmula:

$$\text{Balance} = \text{Producción total} - (\text{Consumo facturado} + \text{ANC}) \pm \Delta \text{Almacenamiento}$$

Donde el Agua No Contabilizada (ANC) incluye pérdidas físicas (fugas en tuberías, reboses en tanques), pérdidas comerciales (errores de medición, conexiones no autorizadas) y consumos autorizados no facturados (limpieza de redes, pruebas hidráulicas).

2.2.2.2. Disponibilidad de servicio de agua en Acueductos.

La disponibilidad de agua en acueductos constituye un concepto técnico-administrativo fundamental que determina la capacidad de estos sistemas para brindar servicios sostenibles y expandir su cobertura. En AyA (2023) se define disponibilidad de servicio de agua como "la existencia real y actual, no futura ni potencial, de las obras e infraestructura global necesaria y capacidad hídrica de abastecimiento para solventar las necesidades de servicios de una población" (p. 4).

Además se establece que la disponibilidad de agua se determina mediante la evaluación integrada de tres componentes fundamentales: la capacidad hídrica, la capacidad hidráulica y la capacidad administrativa.

2.2.2.2.1. Capacidad hídrica

Según AyA (2017) la capacidad hídrica se entiende como la condición técnica y administrativa que permite la producción y aprovechamiento del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable. En términos operativos, representa la máxima demanda que el sistema puede cubrir con el recurso disponible, garantizando que el volumen captado satisfaga tanto la demanda actual como la proyectada. Su determinación considera los caudales en época seca y lluviosa, la variabilidad estacional, el cumplimiento del caudal ecológico y las proyecciones de crecimiento de la demanda, así como el impacto de eventos climáticos extremos.

2.2.2.2. Capacidad hidráulica

En AyA (2017) la capacidad hidráulica, por su parte, corresponde a la condición de la infraestructura instalada para captar, conducir, almacenar, tratar y distribuir el agua cumpliendo con los parámetros de cantidad, calidad, continuidad y presión establecidos por la normativa. Un sistema posee capacidad hidráulica suficiente cuando puede abastecer la demanda sin requerir nuevas inversiones en obras mayores. Su evaluación incluye la revisión de la capacidad de captación y conducción, el estado de tanques y redes, las presiones de servicio y la eficiencia de los procesos de tratamiento y desinfección.

2.2.2.2.3. Emisión de constancias o cartas.

De acuerdo con el Reglamento de ASADAS (2020), las organizaciones comunales deben emitir documentos que certifiquen su capacidad para brindar el servicio de agua potable. Entre estos destacan las Constancias de Disponibilidad de Servicios (CDS), las Constancias de Capacidad Hídrica (CCH) y las Constancias de No Disponibilidad.

El AyA (2017) indica que la Constancia de Disponibilidad de Servicios (CDS) acredita la existencia simultánea de capacidad hídrica e hidráulica, tiene una vigencia de dos años y constituye requisito para trámites ante municipalidades y permisos de construcción. La Constancia de Capacidad Hídrica (CCH) se emite cuando el acueducto dispone de agua suficiente pero su infraestructura es limitada; en este caso, el solicitante puede ejecutar obras complementarias bajo supervisión técnica del operador. Finalmente, la Constancia de No Disponibilidad de Servicios de Agua se otorga cuando el sistema no cuenta con condiciones técnicas para brindar el servicio en un inmueble determinado.

Estas constancias tienen un valor jurídico y técnico significativo, pues garantizan la planificación responsable del recurso hídrico y evitan la sobreexplotación de fuentes en zonas con limitaciones. Además, deben estar respaldadas por el balance hídrico del sistema, que integra los datos de oferta y demanda y determina la viabilidad del servicio a futuro.

2.2.2.3. Zonas deficitarias

De acuerdo con el Reglamento para la Prestación de los Servicios de Acueducto y Alcantarillado Sanitario del AyA (2023), cuando un sistema es declarado como zona deficitaria, el operador debe limitar la emisión de constancias de disponibilidad y de capacidad hídrica, así como las nuevas conexiones, hasta que existan condiciones técnicas que permitan superar dicha restricción. El Artículo 10 del reglamento establece que la incorporación de una nueva fuente de producción en un sistema deficitario debe analizar su impacto en el caudal total disponible y que, en estos casos, únicamente podrá destinarse hasta un 50 % del nuevo caudal para atender nuevas constancias de disponibilidad o de capacidad hídrica, reservando el porcentaje restante para mejorar la continuidad y calidad del servicio existente (AyA, 2023).

La identificación oportuna de estas zonas permite a los acueductos comunales priorizar inversiones, definir planes de manejo adaptativo y diseñar estrategias de mejora orientadas a mantener la continuidad del servicio y la estabilidad del recurso hídrico, especialmente en contextos de variabilidad climática y creciente demanda.

2.2.3. Caudal requerido

Según el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, 2021), el caudal requerido se define como “el caudal necesario para satisfacer las necesidades del solicitante de una concesión o inscripción, determinado conforme a las dotaciones establecidas para cada actividad” (art. 3, inc. m). Este concepto integra, además, los elementos establecidos en el Artículo 5 del Reglamento, los cuales consideran:

- Retorno del agua, relativo a si el volumen extraído retorna o no al cuerpo de agua original.
- Fragilidad ambiental, que evalúa la ubicación de la captación respecto a áreas silvestres protegidas o zonas sensibles.
- Tipo de captación, que clasifica la estructura o mecanismo de derivación del agua.

- Porcentaje de caudal aprovechable, definido como “la relación entre el caudal requerido y el promedio de los caudales mínimos registrados en época seca o en el periodo de transición hacia la estación lluviosa” (MINAE, 2021, art. 5).

En MINAE (2021) el caudal ambiental se calcula al aplicar un porcentaje comprendido entre el 10% al 20% del caudal mínimo registrado en el cuerpo de agua, según aforos disponibles de época seca. Se aplica de manera puntual para cada toma indicada en la solicitud de aprovechamiento o inscripción de fuentes; considerando los aprovechamientos existentes aguas arriba y aguas abajo del sitio de toma en análisis, con el resultante de un balance que determina la viabilidad de un nuevo aprovechamiento (anexo, 2021)

2.2.3.1. Tipos de aprovechamientos de agua

Los aprovechamientos de aguas subterráneas comprenden las nacientes o manantiales, que corresponden a afloramientos naturales donde el agua subterránea emerge de manera continua o intermitente, y los pozos, que son obras de captación obtenidas mediante perforación con el propósito de extraer el recurso desde los acuíferos. Estos sistemas representan una fuente estratégica para los acueductos comunales rurales, pues suelen proporcionar agua de buena calidad y con menor necesidad de tratamiento, aunque su disponibilidad depende de la recarga natural y de la protección de las zonas de infiltración.

Por su parte, los aprovechamientos de aguas superficiales incluyen ríos y quebradas, que constituyen corrientes naturales utilizadas para la captación directa del recurso. Los ríos son cauces principales con caudales más estables y extensos, mientras que las quebradas son cursos menores, generalmente intermitentes o de menor caudal, cuya captación requiere especial cuidado para evitar la sobreexplotación y garantizar el mantenimiento del caudal ecológico.

2.2.3.2. Inscripción y concesión de fuentes de agua

De acuerdo con el Reglamento a los Capítulos Primero, Segundo, Tercero, Cuarto y Sexto de la Ley de Aguas N.º 276 emitido por el MINAE (2024), la concesión es el instrumento jurídico mediante el cual el Estado autoriza temporalmente el aprovechamiento del agua a personas físicas o jurídicas, públicas o privadas, bajo condiciones específicas de sostenibilidad y uso responsable. Por su parte, la inscripción corresponde al acto mediante el cual un aprovechamiento de agua se incorpora al Registro Nacional de Concesiones, conforme con lo dispuesto por el artículo 18 de la Ley de Aguas.

En el caso de los acueductos comunales, los procedimientos de inscripción y concesión se tramitan ante la Dirección de Aguas del MINAE, con el acompañamiento técnico del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Dependiendo del tipo de obra de captación, puede requerirse la evaluación de impacto ambiental por parte de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), especialmente cuando las intervenciones afecten zonas de recarga, cauces o ecosistemas sensibles.

La inscripción adecuada de las fuentes resulta fundamental para garantizar la seguridad jurídica del aprovechamiento y la continuidad del servicio, pues las fuentes inscritas otorgan respaldo legal al derecho de uso y permiten su fiscalización por parte de las autoridades competentes. Asimismo, la normativa establece que los acueductos deben respetar el caudal ambiental, entendido como el volumen mínimo que debe permanecer en el ecosistema para mantener sus funciones ecológicas. Solo el caudal remanente, autorizado mediante la concesión, puede destinarse al consumo humano bajo los principios de sostenibilidad definidos por el MINAE (2024).

2.2.4. Regulaciones en la calidad del agua para consumo humano

El marco regulatorio para la calidad del agua potable en Costa Rica está definido por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Ministerio de Salud, Decreto Ejecutivo N° 38924-S del año 2015 y sus actuales reformas, el cual establece los parámetros microbiológicos, físico-químicos y organolépticos requeridos para el agua destinada al consumo humano. La regulación de la calidad constituye un elemento determinante de la disponibilidad efectiva de agua, ya que existen regulaciones y estándares de calidad de agua que garantizan que el agua sea apta consumo humano. Dichas obligatoriedades normativas generan una limitación en cuanto a la disponibilidad de agua desde el punto de vista de los operadores de acueducto comunal, dadas las exigencias en diferentes componentes de calidad, entendiéndose de ese modo, el cumplimiento según la clasificación de sistemas y parámetros de control.

2.2.4.1. Análisis de calidad del agua para consumo humano

El Reglamento para la Calidad del Agua Potable del Ministerio de Salud (2015) establece el control operativo y los cuatro niveles de control de calidad que deben aplicar todos los entes

operadores del país, así como los parámetros físico-químicos y microbiológicos obligatorios. Esta clasificación determina la frecuencia de muestreo según la población abastecida y exige que todos los análisis se realicen en laboratorios con métodos de ensayo acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA). De acuerdo con el artículo 8 del reglamento, los niveles de control son los siguientes:

- Nivel Primero (N1)

Corresponde al programa de control básico mediante inspección sanitaria de la fuente, almacenamiento y distribución del agua potable. Incluye la evaluación de: color aparente, conductividad, pH, olor, sabor, temperatura, turbiedad, coliformes fecales, *Escherichia coli* y cloro residual libre o combinado. La frecuencia de muestreo varía desde semestral (sistemas menores a 5.000 habitantes) hasta diaria (sistemas mayores a 500.000 habitantes).

- Nivel Segundo (N2)

Es un programa ampliado mediante inspección sanitaria que incluye parámetros como: aluminio, calcio, cloruro, cobre, dureza total, fluoruro, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio, sulfato y zinc. La frecuencia de muestreo oscila entre cada tres años (sistemas menores a 5.000 habitantes) y trimestral (sistemas mayores a 500.000 habitantes).

- Nivel Tercero (N3)

Consiste en un programa de control avanzado que incorpora análisis de: amonio, antimonio, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, plomo y selenio. La frecuencia de análisis coincide con la establecida para el N2, con controles más rigurosos según el tamaño del sistema.

- Nivel Cuarto (N4)

Agrupa los controles ocasionales ejecutados en situaciones especiales, emergencias, o cuando la inspección sanitaria del Ministerio de Salud identifica un riesgo inminente de contaminación. La frecuencia y el número de muestras se definen caso a caso mediante resolución técnica del Ministerio de Salud.

2.2.4.2. Controles operativos de calidad de agua para Acueductos.

De acuerdo con el artículo 8 del Reglamento para la Calidad del Agua Potable del Ministerio de Salud (MINSA, 2015), el Control Operativo (CO) es responsabilidad directa de los entes operadores, incluidas todas las ASADAS, quienes deben realizar mediciones periódicas de turbiedad, olor, sabor y cloro residual libre en las fuentes de abastecimiento, tanques de almacenamiento y redes de distribución. Asimismo, deben disponer de equipo básico de laboratorio para efectuar estos análisis en cada fuente o en la mezcla de fuentes, manteniendo una bitácora de control con los resultados obtenidos.

El reglamento establece que la frecuencia de muestreo del CO varía según el tamaño del sistema, iniciando con mediciones diarias en operadores que abastecen a más de 200.000 habitantes, y reduciéndose progresivamente hasta frecuencias mensuales en sistemas que atienden a poblaciones menores a 2.000 habitantes. Los parámetros microbiológicos críticos incluyen ausencia total de coliformes fecales y *Escherichia coli* (no detectable según límite de detección del método), constituyendo indicadores principales de contaminación fecal y parámetros determinantes para la potabilidad del agua. Parámetros complementarios del Nivel Primero incluyen color aparente (valor de alerta menor a 5 U-Pt-Co, máximo admisible 15 U-Pt-Co), temperatura (18°C a 30°C), y conductividad (valor de alerta 400 µS/cm) (MINSA, 2015).

2.2.4.3. Desafíos técnicos y económicos en el cumplimiento de la calidad del agua

El cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable del Ministerio de Salud (2015) representa uno de los principales retos para las ASADAS, particularmente en los acueductos comunales rurales del cantón de Aserrí. Según el diagnóstico elaborado por Zambrano Saborío (2011), únicamente el 48 % de los sistemas evaluados dispone de agua apta para el consumo humano, siendo la desinfección el aspecto más crítico en el cumplimiento de la normativa.

Entre las principales limitaciones técnicas identificadas se encuentran la presencia de equipos de cloración inadecuados o mal mantenidos, la ausencia de laboratorios especializados para realizar los análisis periódicos, la insuficiente capacitación del personal en operación y

mantenimiento, y la existencia de sistemas de tratamiento básicos o inexistentes. Estas deficiencias dificultan mantener los valores de cloro residual libre dentro del rango establecido por la normativa vigente, comprendido entre 0.3 y 0.6 mg/L (MINSA, 2015).

A estas limitaciones se suman restricciones económicas significativas. Muchas ASADAS enfrentan altos costos asociados a la adquisición de reactivos químicos, equipos de medición y servicios de laboratorio externo, así como limitaciones presupuestarias para mejorar o ampliar su infraestructura. Esta situación afecta directamente su capacidad para cumplir con los programas de control de calidad definidos en el reglamento. De acuerdo con Zambrano Saborío (2011), la mayoría de los prestadores del cantón de Aserrí realiza monitoreos de calidad solo dos veces al año (57 %), debido a que dependen del acompañamiento técnico del AyA y no cuentan con los recursos financieros necesarios para cubrir la frecuencia de análisis requerida.

2.2.4.4. Factores climáticos que afectan la calidad del agua

La variabilidad climática profundiza las dificultades para mantener el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua establecidos en la normativa nacional. Durante los períodos lluviosos se producen aumentos súbitos de la turbiedad debido al arrastre de sedimentos, mayor riesgo de contaminación microbiológica por escorrentía superficial, saturación de sistemas de tratamiento básicos y reducción de la eficacia del cloro residual. Por el contrario, en los períodos secos disminuye el caudal, lo que provoca concentración de contaminantes, menor capacidad de dilución, incremento de la temperatura del agua —lo que reduce la eficiencia de la desinfección— y, en zonas costeras, mayor probabilidad de intrusión salina.

Estas condiciones se alinean con lo documentado por el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE, 2022), el cual señala que los cambios en los patrones de precipitación y temperatura afectan la recarga de acuíferos, disminuyen la disponibilidad del recurso hídrico para actividades humanas y productivas, incrementan la demanda de agua debido al aumento de las temperaturas y deterioran la calidad del agua por la mayor concentración de contaminantes y la recurrencia de eventos extremos.

2.2.5. Aspectos económicos y de infraestructura

Las características económicas constituyen uno de los factores más determinantes en la capacidad de las ASADAS para garantizar la disponibilidad sostenible de agua a sus comunidades, así como también la definición de sus limitaciones. Estas limitaciones se manifiestan en múltiples dimensiones que van desde la estructura tarifaria deficiente hasta la falta de recursos para implementar medidas adaptativas ante el cambio climático.

2.2.5.1. Estructura tarifaria en las ASADAS

La estructura tarifaria de las ASADAS presenta particularidades que generan desigualdades económicas significativas entre estas organizaciones. Según el Reglamento de Prestación de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado Sanitario e Hidrantes (ARESEP, 2024), las tarifas aplicadas por los prestadores deben orientarse a la sostenibilidad del servicio, la recuperación de costos y la eficiencia en la operación, considerando además la capacidad de pago de la población servida y las particularidades socioeconómicas de cada comunidad.

La nueva estructura tarifaria homologada por ARESEP en 2025, mediante resolución tarifaria, establece un esquema basado en el principio de que “quien consume más, pagará más”. Esta estructura define categorías diferenciadas —residencial, grandes consumidores, comercio y servicios, industrial, preferencial y grandes consumidores residenciales de bien social— e incorpora por primera vez un subsidio focalizado a favor de personas en condición de pobreza, otorgando un 25 % de beneficio para hogares en pobreza básica y 50 % para hogares en pobreza extrema, aplicado al consumo de los primeros 15 m³ mensuales (ARESEP, 2025).

La cantidad de abonados influye directamente en la sostenibilidad financiera de las ASADAS. Los sistemas con pocos usuarios enfrentan mayores dificultades para generar ingresos suficientes que cubran los costos operativos, administrativos y de mantenimiento, situación que se agrava por la ausencia de economías de escala. Por el contrario, las ASADAS con una mayor base de abonados pueden distribuir mejor los costos fijos, logrando mayor estabilidad presupuestaria y capacidad para invertir en mejoras de infraestructura.

2.2.5.2. Clasificación de acueductos

El AyA (2019) plantea que los acueductos comunales pueden clasificarse atendiendo a tres criterios fundamentales que permiten comprender su funcionamiento y los desafíos asociados a su gestión. En primer lugar, se considera el tamaño poblacional atendido, lo cual permite distinguir entre sistemas pequeños, medianos o grandes según la cantidad de abonados y el nivel de cobertura del servicio. En segundo lugar, el AyA destaca la importancia del origen y tipo de fuente hídrica, ya que los acueductos pueden abastecerse de manantiales, pozos o cauces superficiales como ríos y quebradas, cada uno con un grado diferente de vulnerabilidad y sostenibilidad. Finalmente, el tercer criterio corresponde al régimen de operación, que puede realizarse por gravedad, mediante bombeo o bajo esquemas mixtos, influyendo directamente en los costos, la eficiencia y la continuidad del servicio.

De acuerdo con esta tipología, es posible comparar capacidades, identificar riesgos y establecer medidas de adaptación diferenciadas, reconociendo que la escala del sistema, el tipo de fuente y el régimen operativo condicionan la disponibilidad de agua y la efectividad de la gestión comunitaria frente al cambio climático.

2.2.5.3. Limitaciones económicas de los acueductos comunales.

Las limitaciones económicas de los acueductos comunales responden a factores estructurales que condicionan su operación cotidiana, su capacidad de inversión y su sostenibilidad en el largo plazo. Según Angulo (2022), la base reducida de usuarios en la mayoría de las ASADAS genera ingresos operativos insuficientes, lo que las hace altamente vulnerables a fluctuaciones en la demanda y al comportamiento de pago de la población. Esta estructura financiera restringida limita la posibilidad de generar excedentes y dificulta la reinversión en infraestructura, modernización de equipos y mejora de la calidad del servicio.

A estas restricciones se suma la alta morosidad reportada por diversos operadores comunales, la cual provoca deterioro en el flujo de caja debido a la acumulación de cuentas por cobrar y al incumplimiento en los pagos de los usuarios. Como señala Zambrano Saborío (2011), esta situación afecta directamente la capacidad de cubrir los costos de operación y mantenimiento, especialmente en sistemas pequeños que dependen del ingreso mensual para sostener sus actividades. En este contexto, la efectividad de los programas de cortes, gestión de cobro y recuperación de morosidad resulta determinante para recuperar la estabilidad financiera y asegurar la continuidad del servicio.

A ello se suma la limitada capacidad de autofinanciamiento, ya que muchas ASADAS carecen de estructuras tarifarias que contemplen depreciación, reposición de activos o fondos de inversión, lo cual impide acumular recursos para mantenimiento preventivo o renovación de infraestructura. Esta situación se ve agravada por deficiencias en la gestión financiera y administrativa, tales como registros contables desactualizados, ausencia de planificación presupuestaria y dificultades para acceder a financiamiento externo (Zambrano Saborío, 2011).

Según Angulo (2022), la dependencia del capital propio y el acceso limitado a financiamiento externo restringen la capacidad de inversión en proyectos de expansión, eficiencia o tratamiento avanzado. La rigidez de este modelo financiero, característico del sector comunal, se manifiesta especialmente durante períodos de crisis, cuando las posibilidades de ajuste tarifario o apoyo institucional son mínimas.

En conjunto, estos factores económicos interactúan de manera sistémica, generando un entorno financiero restrictivo que limita la capacidad de las ASADAS para garantizar la disponibilidad y sostenibilidad del recurso hídrico. Comprender estas limitaciones estructurales es esencial para diseñar estrategias integrales de fortalecimiento institucional y financiero que aseguren la continuidad y eficiencia del servicio de agua potable en las comunidades rurales del país.

2.2.6. Medidas de adaptación ante el cambio climático

Los indicadores de adaptación al cambio climático en las ASADAS constituyen métricas específicas que permiten evaluar la capacidad de estas organizaciones para mantener y mejorar la provisión de agua potable bajo condiciones climáticas cambiantes. Estos indicadores reflejan tanto la resiliencia operativa de los sistemas como su contribución efectiva a la seguridad hídrica comunitaria a largo plazo.

2.2.6.1. Reducción de agua no contabilizada

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – Costa Rica (PNUD-Costa Rica) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), en algunos acueductos comunales las pérdidas pueden alcanzar hasta un 60 % del agua producida, lo que implica que por cada litro consumido se desperdicia otro litro sin registro ni

aprovechamiento. Ante este escenario, la implementación de micromedición y macromedición, la detección y control de fugas, la sectorización de redes y la mejora de la infraestructura constituyen medidas de eficiencia hídrica capaces de incrementar la disponibilidad real del recurso sin necesidad de explotar nuevas fuentes.

Asimismo, ARESEP (2025) reconoce categóricamente al agua no contabilizada (ANC) como uno de los principales factores que limita la disponibilidad efectiva, pues incrementa los costos sin generar ingresos. Reducir las pérdidas físicas y comerciales, por tanto, se configura como una medida clave de adaptación climática y de sostenibilidad organizacional en el sector ASADAS.

2.2.6.2. Diversificación de fuentes hídricas

La diversificación de fuentes hídricas en los acueductos comunales constituye una estrategia clave para fortalecer la seguridad hídrica y la resiliencia de los sistemas de abastecimiento. Según Zambrano Saborío (2011), las ASADAS suelen administrar entre 1 y 12 fuentes, siendo más frecuente la operación simultánea de 2–3 y 4–6 fuentes por organización, combinando captaciones superficiales (quebradas y ríos), subsuperficiales (manantiales o nacientes) y subterráneas (pozos), además de alternativas emergentes como la cosecha de agua de lluvia. Esta multiplicidad de fuentes no solo amplía las opciones de abastecimiento, sino que requiere una gestión técnica integrada que involucra la inscripción legal de caudales ante el MINAE, la ejecución de aforos periódicos, la evaluación físico-química y bacteriológica de cada captación y la capacidad operativa para alternar entre fuentes según condiciones de calidad y disponibilidad.

Desde una perspectiva más reciente, Vargas-Azofeifa y Alvarado-Piedra (2024) enfatizan particularmente el papel estratégico de las aguas subterráneas en la diversificación hídrica, destacando que los pozos pueden ofrecer mayor estabilidad durante sequías prolongadas y eventos extremos, gracias a su menor dependencia de la variabilidad inmediata de la precipitación. En este sentido, las aguas subterráneas operan como una “reserva estratégica” que complementa las fuentes superficiales y subsuperficiales, permitiendo sostener la continuidad del servicio y reducir la vulnerabilidad ante escenarios climáticos cambiantes. Esta capacidad de alternar entre fuentes con comportamientos hidrológicos distintos mejora

la disponibilidad total del sistema y contribuye a garantizar la atención de nuevas conexiones y el crecimiento poblacional en un contexto de creciente incertidumbre climática.

2.2.6.3. Monitoreo y gestión de información climática

El monitoreo y la gestión de información climática en los acueductos comunales se consolidan como herramientas estratégicas para mejorar la disponibilidad efectiva del recurso hídrico mediante la anticipación de variaciones hidrometeorológicas y la optimización operativa de los sistemas de abastecimiento. Según el informe de implementación del proyecto desarrollado por la ASADA de Poás y Barrio Corazón de Jesús (2024), la incorporación de estaciones hidrometeorológicas locales, sistemas de transmisión automática de datos y redes comunitarias del clima permite a los acueductos generar información de alta resolución temporal, sobre variables críticas como precipitación, temperatura, humedad, presión barométrica y estado general de la atmósfera.

Este tipo de infraestructura, complementado con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección, facilita la creación de redes comunitarias de monitoreo que integran a operadoras, juntas directivas y comités locales de emergencia, permitiendo interpretar tendencias climáticas y tomar decisiones preventivas. La información generada en tiempo real posibilita anticipar períodos de abundancia o escasez hídrica, implementar esquemas de uso rotativo de fuentes, activar protocolos operativos durante tormentas o sequías, y planificar acciones de conservación antes de que se presenten déficits críticos en la producción de agua.

El informe destaca que esta información, una vez sistematizada, permite a las ASADAS adaptar la operación diaria del sistema ajustando válvulas, alternando captaciones, regulando el uso de tanques y optimizando la distribución según la disponibilidad estacional. Al transformar datos climáticos en decisiones operativas, el monitoreo se convierte en una herramienta de gestión adaptativa, que incrementa la disponibilidad efectiva del agua sin necesidad de explorar nuevas fuentes o intervenir áreas ambientalmente sensibles. De esta manera, la tecnología se articula con la ciencia ciudadana y con la gobernanza comunitaria fortaleciendo la resiliencia de los acueductos frente a la variabilidad climática creciente.

2.2.6.4. Fondos para la resiliencia climática

Los fondos para la resiliencia climática constituyen mecanismos financieros esenciales para fortalecer la disponibilidad hídrica mediante inversiones en infraestructura de adaptación, tecnologías de monitoreo y acciones de conservación. Según la ARESEP (2025), la disponibilidad del agua no debe entenderse únicamente como una condición técnico-hidráulica, sino como un componente económico y ambiental que requiere respaldo financiero para garantizar la sostenibilidad del servicio. Bajo esta visión, la resolución RE-0014-IA-2025 establece la Tarifa para la Protección del Recurso Hídrico (TPRH), destinada a financiar estudios hidrogeológicos, mejorar la macro y micromedición y fortalecer la protección de ecosistemas abastecedores.

Complementariamente, existen instrumentos como el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA), que reconoce económicamente la conservación de cuencas abastecedoras mediante inversiones en bosque, reforestación y manejo de suelos, así como fondos internacionales que apoyan tecnologías de monitoreo climático y capacitación técnica. A estos mecanismos se suma la iniciativa de COOPESANTOS R.L., la cual, según su Reglamento para el Uso de la Reserva para la Protección del Recurso Hídrico (COOPESANTOS, 2024), destina un porcentaje de sus excedentes para la compra, conservación y manejo de terrenos donde se ubican nacientes y zonas de recarga hídrica, además de financiar proyectos de reforestación, mantenimiento de áreas de protección y capacitación sobre gestión del recurso.

Este esquema cooperativo constituye un instrumento financiero complementario que fortalece la resiliencia hídrica regional al respaldar directamente la protección de fuentes abastecedoras, permitiendo que las ASADAS ubicadas dentro del área de concesión accedan a apoyo institucional para conservar sus nacientes. En conjunto, estos mecanismos amplían la capacidad de los acueductos comunales para enfrentar sequías, variabilidad climática y presiones sobre sus fuentes, al ofrecer sostenibilidad financiera para acciones de adaptación y conservación que impactan directamente la disponibilidad del agua.

2.2.6.5. Medidas de adaptación y gestión organizacional comunitaria

Las medidas de adaptación y la gestión organizacional comunitaria constituyen estrategias planificadas que buscan asegurar la disponibilidad hídrica en escenarios de variabilidad climática. Según el Programa Bandera Azul Ecológica (2023), estas acciones combinan herramientas formales, como los Planes de Gestión Integral de Riesgos (GIRA) y los Planes de Seguridad del Agua (PSA), con iniciativas comunitarias orientadas a la protección hídrica, tales como los observatorios ciudadanos y los programas de conservación de cuencas.

Desde esta perspectiva, la gestión organizativa integra aspectos administrativos, operativos y de gobernanza participativa para fortalecer la capacidad de respuesta de los sistemas comunales frente a eventos extremos, sequías, contaminación o fallas en la infraestructura. El énfasis recae en la anticipación, la prevención y la acción colectiva como pilares de la resiliencia hídrica local.

2.2.6.6. Asociatividad y cooperación entre ASADAS como estrategia de adaptación

La asociatividad entre acueductos comunales es una estrategia clave de adaptación al cambio climático. Según CLOCSAS y Fundación Avina (2018) y AyA–PNUD–Avina (2018), la cooperación entre ASADAS permite acceder a economías de escala, compartir costos en tecnologías de monitoreo y tratamiento, y desarrollar capacidades técnicas que serían inalcanzables de manera individual. Asimismo, cuando varias ASADAS comparten una misma unidad hidrográfica, la gestión conjunta de fuentes favorece la protección de recargas acuíferas, la optimización del uso de caudales y la implementación de acciones de conservación coordinadas.

Desde la óptica de la disponibilidad hídrica, la asociatividad incrementa la resiliencia del sistema comunal al reducir vulnerabilidades, mejorar la planificación regional y fortalecer la gobernanza del agua mediante alianzas interinstitucionales y comunitarias.

2.2.7. Síntesis del marco teórico y aplicación al proyecto

El marco teórico desarrollado integra los principales componentes conceptuales, normativos y técnicos que permiten comprender la relación entre cambio climático, capacidad hídrica y gestión comunitaria del agua. La literatura revisada evidencia que las variaciones en los patrones de precipitación y temperatura inciden directamente en los caudales disponibles y, por ende, en la sostenibilidad de los acueductos comunales. Factores como la estructura tarifaria, la eficiencia operativa, la calidad del agua y la diversificación de fuentes determinan la capacidad de adaptación de las ASADAS ante escenarios de escasez o exceso hídrico. Además, la normativa nacional establece los parámetros técnicos, económicos y de calidad que condicionan la emisión de disponibilidades y la continuidad del servicio.

En este contexto, el proyecto aplica este marco conceptual al análisis empírico de tres acueductos comunales ubicados en la zona alta del río Jorco, evaluando su capacidad hídrica, operativa y organizacional frente a la variabilidad climática durante el periodo 2023–2025. A través de instrumentos combinados de análisis documental, entrevistas semiestructuradas y observación directa, se busca contrastar la teoría con la práctica local, identificando las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto, su fuente hídrica y su escala operativa. De esta forma, la aplicación del marco teórico permite no solo interpretar los hallazgos desde una perspectiva integral, sino también generar evidencia útil para fortalecer la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas comunales de agua en contextos de cambio climático.

Los indicadores conceptuales plasmados en la siguiente tabla permiten medir de manera estructurada, los principales factores que inciden en la capacidad hídrica y adaptativa de los acueductos comunales ante el cambio climático. Estos indicadores se agrupan en dimensiones ambientales, técnicas, administrativas, financieras y sociales, y sirven como guía para evaluar el desempeño integral de las ASADAS. En el componente ambiental, se incluyen variables como precipitación, temperatura y caudales aforados, que reflejan la disponibilidad natural del recurso. En el ámbito técnico-operativo, se consideran el balance hídrico, el nivel de Agua No Contabilizada (ANC) y la diversificación de fuentes, los cuales determinan la eficiencia del sistema. Los indicadores administrativos y financieros analizan la capacidad organizacional, la gestión presupuestaria y la respuesta ante emergencias climáticas, mientras que el componente social evalúa la percepción comunitaria y la

participación en las medidas de adaptación. En conjunto, estos indicadores permiten vincular los datos técnicos con las realidades organizacionales, ofreciendo una visión holística sobre la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas comunales de agua.

Tabla 1: Indicadores conceptuales.

OBJETIVO ESPECÍFICO	DIMENSIÓN	CONCEPTO GENERAL	CONCEPTO APLICADO A	INDICADOR PROPUESTO
		ACUEDUCTOS COMUNALES		
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible	Climática	Cambio climático y manifestaciones	Fenómeno que altera precipitación, temperatura y caudales en cuencas.	Variación del caudal promedio mensual (l/s). Número de días de interrupción por escasez hídrica.
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible	Técnica	Capacidad hídrica	Máxima demanda que pueden cubrir las fuentes captadas.	% de cumplimiento del caudal ecológico.
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible	Técnica	Balance hídrico	Diferencia entre producción, consumo, ANC y almacenamiento.	% de Agua No Contabilizada (ANC).
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible	Técnica	Disponibilidad de agua	Condición técnico-administrativa para otorgar nuevas disponibilidades.	Nº de disponibilidades aprobadas/rechazadas por año.
2. Categorizar medidas administrativas, operativas y financieras	Organizacional	Gestión organizacional	Fortalezas en gobernanza, transparencia y	% de juntas directivas capacitadas / grado de participación comunitaria.

			participación comunitaria.	
2. Categorizar medidas administrativas, operativas y financieras	Económica	Gestión económico-financiera	Capacidad para sostenerse con tarifas y financiamiento adecuados.	Tarifa promedio efectiva (₡/m ³). Inversión anual en medidas de adaptación (₡).
2. Categorizar medidas administrativas, operativas y financieras	Técnica	Eficiencia del sistema	Capacidad para reducir pérdidas y optimizar caudales.	% de micromedición / Dotación real per cápita (l/hab/día).
2. Categorizar medidas administrativas, operativas y financieras	Técnica	Gestión de la demanda	Capacidad de atender crecimiento y regular consumos.	Tasa de crecimiento de conexiones / Consumo promedio (m ³ /mes).
3. Demostrar medidas de adaptación más efectivas según tipología	Organizacional/Adaptativa	Medidas de adaptación (GIRA, PSA, BAE, Observatorios)	Estrategias formales y comunitarias para protección hídrica y gestión del riesgo.	Nº de medidas implementadas / grado de cumplimiento (%).
3. Demostrar medidas de adaptación más efectivas según tipología	Organizacional/Adaptativa	Asociatividad	Estrategia colaborativa entre ASADAS de una cuenca.	Nº de proyectos conjuntos ejecutados.
3. Demostrar medidas de adaptación más efectivas según tipología	Técnica	Tipología de acueducto	Clasificación según tamaño, fuente y régimen de operación.	% de ASADAS por tipología y continuidad del servicio.

3. Demostrar medidas de adaptación más efectivas según tipología	Organizacional	Efectividad organizacional	Capacidad integral para continuidad, calidad y sostenibilidad.	Continuidad del servicio (% horas/año). N° de nuevas disponibilidades otorgadas. Balance financiero positivo anual.
---	----------------	----------------------------	--	---

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO III

3.1. Marco metodológico

3.1.1. Definición de tema

Esta tesina aborda el impacto del cambio climático en la capacidad hídrica de acueductos comunales ubicados en la zona alta del río Jorco, específicamente analizando la disponibilidad de agua para nuevas conexiones y la efectividad de las medidas de adaptación organizacional implementadas durante el período 2023-2025. La investigación integra elementos de administración organizacional, gestión ambiental, adaptación financiera e ingeniería de recursos hídricos para abordar la complejidad de los acueductos comunitarios.

El enfoque metodológico adoptado responde a la naturaleza multidimensional del problema de investigación, estructurándose en torno a tres ejes analíticos fundamentales: el técnico-hidrológico para la evaluación cuantitativa del impacto climático sobre el caudal disponible; el organizacional-adaptativo para la sistematización de medidas administrativas, operativas y financieras implementadas; y el evaluativo-comparativo para el análisis de efectividad diferencial según tipología de acueducto y características de fuentes hídricas.

El tipo de investigación es aplicada, descriptiva y explicativa. Es aplicada, porque busca generar insumos prácticos que fortalezcan la gestión comunitaria del agua en la zona alta del río Jorco. Es descriptiva, al caracterizar la situación hídrica y organizacional de los acueductos. Es explicativa, porque pretende identificar relaciones entre la variabilidad climática, la disponibilidad hídrica y las medidas de adaptación implementadas.

La investigación se delimita temporalmente al período 2023-2025 para implementar datos más recientes, geográficamente se localiza en las comunidades de Tarbaca y Vuelta de Jorco y temáticamente al análisis de capacidad de otorgamiento de nuevas disponibilidades hídricas y efectividad de medidas organizacionales de adaptación.

3.1.2. Fuentes de información

La fuente de información es el lugar donde se encuentran los datos requeridos, que posteriormente se pueden convertir en información útil para el investigador. Los datos son todos aquellos fundamentos o antecedentes que se requieren para llegar al conocimiento exacto de un objeto de estudio.

A continuación, se describen las principales fuentes de información

- Primarias: registros de aforo y balances hídricos de ASADAS, encuestas semiestructuradas a juntas directivas, entrevistas a administradores, observación directa de captaciones, registros técnicos e informes oficiales de las ASADAS.
 - Secundarias: normativas (AyA, MINAE, ARESEP), bases de datos (SENARA, AyA, SINIGIRH), literatura académica, datos del Instituto Meteorológico Nacional y otras estaciones meteorológicas.

3.1.3. Objeto de estudio

Según datos de acceso público del Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH) se identifican 5 acueductos comunales ubicados en la cuenca hidrográfica Río Parrita con aprovechamientos inscritos en la zona de Tarbaca, Vuelta de Jorco, San Gabriel y el Tigre, pertenecientes principalmente al cantón de Aserrí.

Ilustración 1: Mapa de fuentes inscritas en la zona alta del Rio Jorco.



Fuente: Elaboración propia con datos del SINIGIRH 2025.

Sin embargo, la población objeto de estudio corresponde a las ASADAS ubicadas en la zona alta del río Jorco. Estas organizaciones comunitarias son las responsables de la

administración de sistemas de abastecimiento en comunidades como Tarbaca, Vuelta de Jorco, y San Rafael de Tarbaca.

Se emplea un muestreo censal, pues la investigación pretende abarcar todas las ASADAS que cumplen con los criterios de inclusión, sin seleccionar una muestra parcial.

Tabla 2: Criterios de selección.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
ASADAS ubicadas en la zona alta del río Jorco (Tarbaca, Aserrí), a más de 1,200 msnm.	Acueductos fuera de la zona y altitud definida.
Legalmente constituidas, con personería jurídica vigente y registro actualizado ante AyA.	Sistemas no constituidos legalmente o en proceso de disolución.
Fuentes propias de abastecimiento (manantial, pozo o fuente superficial), estén inscritas o en proceso de inscripción.	Dependencia exclusiva de compra de agua a terceros.
Atienden entre 50 y 2.000 conexiones (200–8.000 habitantes).	Menos de 50 o más de 2.000 conexiones, o con menos de 3 años de operación.
Operación mínima de 5 años continuos y con infraestructura básica de distribución.	Ausencia de registros técnicos o financieros mínimos, o negativa a participar.
Cuentan con registros técnicos y financieros disponibles para 2023–2025, y disposición para participar.	Sin infraestructura de almacenamiento, sin tratamiento básico o sin estructura tarifaria.
Infraestructura de almacenamiento, desinfección mínima y micromedición parcial.	Sin evidencia de impactos climáticos relevantes ni medidas adaptativas.
Evidencia de impactos climáticos recientes y al menos una medida de adaptación implementada.	Juntas directivas inactivas o conflictivas, o incumplimiento grave de normativa sanitaria.

Junta directiva activa o administración a cargo del Acueducto (cuando no cuenten con personal administrativo).	Casos que generen sobrerepresentación de un solo tipo de sistema, limitando la comparación.
Cumplimiento básico de normativas vigentes.	
Representan diversidad tipológica en tamaño, fuente y nivel organizacional.	

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Métodos de investigación

Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), el método constituye la ruta o camino que siguen las ciencias para alcanzar un fin propuesto, conformado por procedimientos ordenados que permiten establecer el significado de los hechos y fenómenos que se investigan. Desde esta perspectiva, los métodos de investigación se entienden como procedimientos sistemáticos que integran procesos de análisis, síntesis, inducción y deducción, orientados a generar conocimiento válido y verificable.

Los autores distinguen estos métodos de la metodología, la cual representa el conjunto de fundamentos teóricos que estudia, describe y analiza los métodos empleados en la investigación. En consecuencia, el método se configura como una herramienta operativa esencial del quehacer científico, mientras que la metodología constituye el marco que guía su selección y aplicación. Ambos elementos, en conjunto, permiten desarrollar investigaciones rigurosas, ordenadas y empíricas, orientadas a la comprensión de fenómenos específicos.

3.1.5. Tipo de Investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque de métodos mixtos, debido a que integra simultáneamente datos cuantitativos y cualitativos con el propósito de analizar el impacto del cambio climático sobre la capacidad hídrica de los acueductos comunales y la efectividad de las medidas organizacionales de adaptación.

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), los métodos mixtos “representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos que implican la recolección y el

análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio” (p. 546). Esta definición refuerza la pertinencia del enfoque seleccionado, dado que el fenómeno analizado es multidimensional y requiere tanto mediciones objetivas (caudales, balances hídricos, registros climáticos) como la comprensión de percepciones, decisiones y prácticas organizacionales.

La utilización del enfoque mixto permite triangular información, incrementar la validez de los hallazgos y comprender el problema desde una perspectiva integral. Por ello, la investigación articula dos componentes:

1. Componente cuantitativo, basado en el análisis de registros técnicos de aforos, estimaciones de Agua No Contabilizada (ANC), balances hídricos, disponibilidades otorgadas o rechazadas, y series de precipitación y temperatura registradas por estaciones meteorológicas.
2. Componente cualitativo, fundamentado en entrevistas semiestructuradas, observación directa de fuentes y de infraestructura, y revisión documental, expedientes, planes operativos y registros institucionales.

La integración de ambos componentes permite comprender cómo la variabilidad climática incide en la disponibilidad de agua y cómo las medidas administrativas, operativas y financieras adoptadas por las ASADAS influyen en su capacidad adaptativa. Esta aproximación metodológica es consistente con los objetivos del estudio, ya que permite explicar relaciones causales, identificar patrones organizacionales y valorar la efectividad de las acciones implementadas frente a escenarios climáticos recientes.

3.1.6. Técnicas e instrumentos

Las técnicas de recolección de datos constituyen los procedimientos metodológicos mediante los cuales el investigador obtiene información empírica para responder a las preguntas planteadas en el estudio. De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), la recolección de datos es un proceso central tanto en el enfoque cuantitativo como en el cualitativo, aunque con propósitos diferenciados: mientras el enfoque cuantitativo busca medir variables y establecer relaciones mediante procesos estandarizados, el enfoque cualitativo procura

obtener información en profundidad sobre percepciones, experiencias y significados construidos por los participantes.

En coherencia con el enfoque de métodos mixtos adoptado en esta investigación, se integran técnicas cuantitativas y cualitativas para analizar de manera integral el impacto del cambio climático en la capacidad hídrica de los acueductos comunales. La selección de estas técnicas responde a los objetivos específicos del estudio y a la complejidad multidimensional del fenómeno, siguiendo el principio señalado por Hernández Sampieri et al. (2014), quienes afirman que el investigador debe seleccionar sus técnicas en función del alcance y naturaleza del problema de investigación.

Desde esta perspectiva, el enfoque mixto permite triangular información técnica, ambiental y organizacional, fortaleciendo la validez de los resultados. Las técnicas seleccionadas se complementan entre sí, permitiendo contrastar registros históricos con evidencias empíricas de campo y con las percepciones de los actores comunitarios responsables de la gestión del recurso hídrico.

3.1.6.1. Técnica de análisis documental

La técnica de análisis documental consiste en la revisión sistemática y ordenada de documentos escritos que contienen información relevante para el objeto de estudio. Según Hernández Sampieri et al (2014), esta técnica permite examinar datos secundarios ya existentes con el fin de obtener antecedentes teóricos, contextuales y empíricos que fundamentan el proceso investigativo.

En esta investigación, el análisis documental se empleó para revisar registros históricos de aforos, balances hídricos, expedientes técnicos de aprovechamientos de agua, constancias de disponibilidad, estados financieros de las ASADAS y normativa vigente del sector hídrico costarricense. Su aplicación es particularmente útil para el cumplimiento del primer objetivo específico, ya que permite evaluar el impacto del cambio climático mediante el estudio de información técnica producida entre 2023 y 2025.

Entre sus principales ventajas se encuentran el acceso a información histórica no disponible por otras vías, la obtención de datos objetivos no afectados por la presencia del investigador y la posibilidad de triangular la información con otras técnicas del estudio. No obstante, esta técnica también presenta limitaciones, como la variabilidad en la calidad y actualización de los documentos, la posible obsolescencia de la información y la necesidad de verificar su autenticidad y confiabilidad.

3.1.6.2. Técnica de entrevista cualitativa

La entrevista cualitativa es una técnica que permite obtener información profunda sobre percepciones, experiencias y conocimientos de los participantes mediante una conversación guiada. Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), este tipo de entrevista facilita el intercambio de información y la construcción conjunta de significados a través de un proceso de preguntas y respuestas orientado a explorar la perspectiva del entrevistado.

En esta investigación se aplicaron entrevistas semiestructuradas dirigidas a administradores y miembros de juntas directivas de las ASADAS involucradas. Las entrevistas semiestructuradas, de acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), se basan en una guía de temas previamente definida, pero permiten al entrevistador formular preguntas adicionales para aclarar conceptos o profundizar en aspectos relevantes. Esta flexibilidad facilita explorar experiencias concretas sin perder la comparabilidad entre los distintos casos.

La técnica resulta esencial para el segundo y tercer objetivo del estudio, ya que permite identificar las medidas administrativas, operativas y financieras implementadas por los acueductos comunales y evaluar su efectividad según la percepción de los actores locales. Asimismo, brinda acceso a conocimiento tácito, prácticas organizacionales y experiencias que no se encuentran documentadas formalmente, enriqueciendo la comprensión integral del fenómeno analizado.

3.1.6.3. Técnica de observación directa

La observación directa es una técnica que consiste en el registro sistemático y confiable de comportamientos, situaciones y condiciones tal como ocurren en el ambiente natural donde se desarrollan. Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), implica documentar de manera ordenada aquello que es observable mediante categorías previamente definidas, con el fin de obtener información empírica relevante para el estudio.

En esta investigación, la observación directa se empleó para examinar el estado de la infraestructura hidráulica, las prácticas operativas de los acueductos comunales, las condiciones de las fuentes de abastecimiento y las medidas físicas de adaptación implementadas. Esta técnica permite corroborar información proveniente de entrevistas y documentos, identificar elementos no verbalizados por los participantes y comprender el contexto material en el que operan las ASADAS.

Entre sus principales ventajas se encuentran la posibilidad de registrar hechos reales en el momento en que ocurren y de obtener información contextual que enriquece el análisis. Sin embargo, también presenta limitaciones, como la influencia que puede ejercer la presencia del investigador en el comportamiento observado, la subjetividad en la interpretación y la dificultad para captar significados no visibles directamente.

3.1.7. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos son los medios específicos mediante los cuales se aplican y operacionalizan las técnicas seleccionadas, permitiendo organizar y sistematizar la obtención de información empírica. Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), en el enfoque cualitativo el investigador constituye el principal instrumento de recolección, apoyándose en herramientas flexibles que evolucionan conforme avanza el estudio, mientras que en el enfoque cuantitativo se emplean instrumentos estructurados y estandarizados cuya validez y confiabilidad han sido previamente demostradas.

En esta investigación, los instrumentos utilizados incluyen matrices de análisis documental, guías de entrevista semiestructurada, fichas de observación directa, hojas de cálculo para sistematización de datos técnicos y tablas comparativas para el análisis entre acueductos. Cada uno de ellos permite organizar la información de manera coherente con los objetivos

del estudio y facilita la integración de los enfoques cualitativo y cuantitativo que caracterizan el diseño metodológico adoptado.

3.1.7.1. Matriz de análisis documental

La matriz de análisis documental constituye un instrumento estructurado que sistematiza la extracción y organización de información relevante contenida en documentos relacionados con el objeto de estudio. Este instrumento se diseña específicamente para cada tipo de documento analizado, incorporando categorías y variables derivadas del marco teórico y los objetivos de investigación.

Para esta investigación, se diseñan matrices específicas para diferentes tipos de documentos: registros de aforo y caudales, estudios de balance hídrico, expedientes de aprovechamientos de agua, constancias de disponibilidad emitidas, estados financieros y presupuestos, documentos normativos y reglamentos internos, y convenios interinstitucionales. Cada matriz incorpora campos para identificación del documento (fuente, fecha, autor, tipo), variables específicas según el contenido (caudales, inversiones, medidas implementadas), y observaciones metodológicas sobre calidad y confiabilidad de la información.

La matriz facilita la sistematización de grandes volúmenes de información documental, permite la comparación estandarizada entre diferentes fuentes, y proporciona trazabilidad en el proceso de análisis. Además, contribuye a la validez interna de la investigación al garantizar que la extracción de información se realice de manera sistemática y transparente, reduciendo sesgos interpretativos del investigador.

3.1.7.2. Guías de entrevista semiestructurada

Las guías de entrevista semiestructurada son instrumentos que organizan preguntas abiertas por temas, facilitando que el entrevistador profundice en los aspectos que surgen durante la conversación. Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), estas guías “prescriben una estructura general, pero permiten al entrevistador introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener mayor información” (p. 403). Esta

característica brinda flexibilidad sin perder la coherencia temática necesaria para comparar las respuestas entre distintos participantes.

Para esta investigación se elaboraron dos guías específicas: una dirigida a administradores de ASADAS, enfocada en los aspectos técnicos y operativos de las medidas de adaptación implementadas; y otra dirigida a miembros de juntas directivas, orientada a indagar sobre dimensiones institucionales, financieras y de gobernanza comunitaria. Ambas guías integran preguntas relacionadas con la percepción del cambio climático, las acciones ejecutadas, la efectividad observada, los desafíos enfrentados y las recomendaciones para mejorar la gestión adaptativa.

La estructura de las guías se organizó en bloques temáticos alineados con las dimensiones conceptuales del marco teórico: impactos climáticos percibidos, medidas administrativas, operativas y financieras implementadas, y evaluación de resultados. Cada bloque incluye preguntas principales y preguntas de profundización, lo que permite adecuar la entrevista a las particularidades de cada participante manteniendo un orden lógico y analítico.

3.1.7.3. Ficha de observación directa

La ficha de observación directa es un instrumento estructurado que permite sistematizar el registro de información obtenida en campo, organizando los datos según categorías definidas en función de los objetivos de investigación. Este tipo de instrumento, según Hernández Sampieri et al. (2014), “permite el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables” (p. 252), garantizando que la información recolectada sea comparable, ordenada y pertinente para el análisis.

En esta investigación, la ficha se diseñó con secciones específicas que incluyen: identificación del sitio observado (nombre de la ASADA, fecha, ubicación y tipo de fuente), descripción de la infraestructura física (estado de captaciones, tanques, redes de distribución y sistemas de tratamiento), medidas de adaptación visibles (obras de protección, tecnologías instaladas y mejoras operativas) y registro del contexto ambiental (condiciones de la microcuenca, señales de estrés hídrico e impactos climáticos observados).

El instrumento incorpora escalas de valoración para aspectos cuantificables, espacios para descripciones cualitativas y campos destinados al registro fotográfico. Asimismo, contempla un apartado para observaciones metodológicas, donde se documentan limitaciones encontradas durante la visita, elementos no verificables visualmente y aspectos que requieren triangulación con otras fuentes de información.

3.1.7.4. Hojas de Cálculo

Las hojas de cálculo constituyen instrumentos digitales esenciales para organizar, procesar y analizar datos cuantitativos obtenidos mediante distintas técnicas de recolección. Según Hernández Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2014), “actualmente, la codificación se efectúa transfiriendo los valores registrados en los instrumentos aplicados a un archivo/matriz de un programa computarizado” (p. 272), lo que facilita el manejo de grandes volúmenes de datos y la realización de análisis estadísticos preliminares.

En esta investigación, las hojas de cálculo de Microsoft Excel se utilizaron para crear bases de datos específicas que sistematizan información técnica y administrativa relevante. Entre ellas se incluyen: los registros de aforo y caudales históricos del periodo 2023–2025, la matriz de solicitudes y constancias de disponibilidad emitidas, la base de datos de medidas de adaptación implementadas por cada ASADA, los registros de inversiones y gastos asociados a variabilidad climática, y la compilación de indicadores operativos, técnicos y financieros de cada organización. El uso de estos instrumentos permitió organizar la información de manera uniforme y facilitar su análisis comparativo.

3.1.7.5. Tablas comparativas

Las tablas comparativas son instrumentos analíticos esenciales que permiten organizar, contrastar y sintetizar información proveniente de diversas fuentes o casos de estudio de manera sistemática y visual. Según Hernández Sampieri et al. (2014), “la mejor regla para elaborar una tabla es organizarla lógicamente y eliminar la información que pueda confundir al lector” (p. 353), priorizando así la claridad, precisión y coherencia en la presentación de datos.

En esta investigación, las tablas comparativas facilitaron la elaboración de un formato de caracterización institucional que reúne información básica y estructural de cada ASADA participante, permitiendo contextualizar los hallazgos dentro de la diversidad operativa y organizacional del sector. Este instrumento incluye datos como: nombre y ubicación de la organización, año de constitución, población atendida, número de conexiones, tipo y cantidad de fuentes, capacidad de producción, infraestructura de almacenamiento y distribución, características organizativas, personal técnico, certificaciones y variables financieras clave.

La información sistematizada mediante estas tablas permite clasificar a las ASADAS según tipologías relevantes para el análisis, tales como tamaño según población atendida, tipo de fuente hídrica predominante, capacidad financiera y nivel de desarrollo institucional. Esta tipificación resulta fundamental para el tercer objetivo específico del estudio, al permitir comparar la efectividad de las medidas de adaptación en función de las características técnicas y organizacionales de cada sistema comunitario.

Tabla 3: Operacionalización de instrumentos.

OBJETIVO	TÉCNICA	INSTRUMENTO	INDICADOR	JUSTIFICACIÓN
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.	Análisis documental	Matriz de análisis documental, hojas de cálculo, tablas comparativas	Cantidad de caudal aforado por mes del 2023 al 2025	Permite medir con registros técnicos los cambios hídricos (2023–2025)
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.	Análisis documental	Matriz de análisis documental, hojas de cálculo, tablas comparativas	Cantidad de Cartas de disponibilidad aprobadas/rechazadas 2023-2025	Identifica si impacta o no la dotación de disponibilidades de agua.

1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.	Análisis documental	Matriz de análisis documental, hojas de cálculo, tablas comparativas	Porcentaje de ANC vigente	Determina un valor que aumenta o disminuye la capacidad hídrica del Acueducto
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.	Análisis documental	Matriz de análisis documental, hojas de cálculo, tablas comparativas	Cantidad de lluvia y niveles de temperatura mensual 2023-2025	Contrasta con los registros de caudal aforado y los registros de las estaciones meteorológicas regionales.
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua	Análisis documental	Matriz de análisis documental, hojas de cálculo, tablas comparativas	Balance hídrico del Acueducto vrs capacidad hídrica para otorgar nuevos servicios	Demuestra el dato de balance hídrico según capacidad del Acueducto determinado por el Estudio Técnico vigente.

mediante análisis de
registros técnicos
durante 2023-2025.

1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.	Observación directa	Ficha de observación	Reducción o aumento de fuentes disponibles según época del año	Contrasta registros de aforos con evidencia histórica de campo.
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Manifestaciones climáticas que afectan el servicio del acueducto y están relacionadas con la disponibilidad del agua	Verifica interrupciones o afectaciones no documentadas, además de otros elementos relacionados con la opinión y la percepción.

1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Percepción sobre variaciones del clima que afectan directamente al Acueducto	Verifica interrupciones o afectaciones no documentadas, además de otros elementos relacionados con la opinión y la percepción.
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Nivel de impacto percibido para la disponibilidad del agua del Acueducto	Verifica interrupciones o afectaciones no documentadas, además de otros elementos relacionados con la opinión y la percepción.
1. Evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Valora según percepción la continuidad del servicio del Acueducto ante los eventos climáticos extremos del año	Verifica interrupciones o afectaciones no documentadas, además de otros elementos

<p>mediante análisis de registros técnicos durante 2023-2025.</p>	<p>relacionados con la opinión y la percepción.</p>
<p>2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.</p>	<p>Entrevista semiestructurada</p> <p>Guías de entrevista a administradores y/o miembro de junta directiva del Acueducto</p> <p>Tipo de medidas administrativas implementadas para enfrentar las variaciones climáticas del periodo en estudio.</p> <p>Obtiene percepciones y sistematiza experiencias de gestión</p>
<p>2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.</p>	<p>Entrevista semiestructurada</p> <p>Guías de entrevista a administradores y/o miembro de junta directiva del Acueducto</p> <p>Tipo de medidas operativas implementadas para enfrentar las variaciones climáticas (invierno, verano) del periodo en estudio.</p> <p>Obtiene percepciones y sistematiza experiencias de gestión</p>
<p>2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes</p>	<p>Entrevista semiestructurada</p> <p>Guías de entrevista a administradores y/o miembro de junta</p> <p>Medidas operativas implementadas en invierno y frecuencia interrupciones en el sistema</p> <p>Identifica las medidas operativas más frecuentes en el periodo lluvioso y frecuencia de</p>

ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.	directiva del Acueducto	interrupciones en el servicio de agua		
2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.	Entrevista semiestructurada	Guías de entrevista a administradores y/o miembro de junta directiva del Acueducto	Medidas operativas implementadas en verano y frecuencia de interrupciones en el sistema	Identifica las medidas operativas más frecuentes en el periodo seco y frecuencia de interrupciones en el servicio de agua
2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.	Entrevista semiestructurada	Guías de entrevista a administradores y/o miembro de junta directiva del Acueducto	Tipo de medidas financieras implementadas para enfrentar las variaciones climáticas del periodo en estudio.	Obtiene percepciones y sistematiza experiencias de gestión
2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes	Análisis documental	Matriz de análisis documental	Categoriza el acueducto según cantidad de conexiones, población atendida, tarifas aplicadas de ARESEP,	Identifica medidas con datos formales y cuantificables

ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.	promedio de ingresos del Acueducto mensuales/anuales
2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.	Entrevista semiestructurada Matriz de análisis documental Rango de presupuestos o gastos destinados para enfrentar imprevistos por las variaciones climáticas en los climas extremos (invierno, verano) al año Determina los rangos de inversiones o gastos del Acueducto en épocas críticas de variación climática
2. Categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio.	Entrevista semiestructurada Matriz de análisis documental Destino del presupuesto para las variaciones climáticas en los climas extremos (invierno, verano) Identifica finalidades principales de las inversiones o gastos del Acueducto en épocas críticas de variación climática
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente	Entrevista semiestructurada Guía breve de entrevista Percepción del nivel de la eficiencia del Acueducto para reducir el ANC Permite evaluar la percepción del Administrativa y operativa para reducir el ANC

hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.

3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Descripción de las acciones para reducir el porcentaje de ANC del Acueducto	Identifica las medidas administrativas y operativas optadas por el Acueducto para reducir el ANC
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Acceso a fuentes de información meteorológica para la planificación del Acueducto y la adaptabilidad climática	Conoce si existe o no uso de la información meteorológica local

3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Nombra los programas o planes que permiten al Acueducto mejorar su adaptabilidad ante el cambio climático y la disponibilidad de agua local	Conoce los programas o planes ejecutados por el Acueducto que ayudan en la adaptación ante el cambio climático
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Cantidad de grupos y organizaciones como Federación de ASADAS, Observatorios Ciudadanos de Ríos y Cuencas, Organizaciones comunales locales a las que pertenece la ASADA	Permite saber si pertenece o no a grupos externos relacionados con la gestión del agua y la participación comunal, e identifica cuáles son.
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Valoración de la participación comunitaria en la adaptación del cambio climático para el Acueducto y la gestión del recurso hídrico	Percepción de nivel de participación comunitaria local

percepción de
administradores y juntas
directivas.

3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Finalidad de los recursos financieros ejecutados para la adaptación ante el cambio climático desde la perspectiva de la ASADA	Describe los principales recursos para la adaptación ante el Cambio climático de una ASADA y sus finales
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Conoce si la ASADA busca nuevas fuentes y su finalidad, además si están ubicadas en la microcuenca del Rio Jorco o fuera de ésta.	Se explora si la ASADA tiene en sus metas la búsqueda de nuevas fuentes y su finalidad.

3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Percepción de los escenarios futuros respecto a la Disponibilidad de Agua (capacidad hidrica del Acueducto y las constancias de disponibilidad de agua)	Obtiene una opinión de experto sobre escenarios futuros relacionados con la disponibilidad del agua.
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Entrevista semiestructurada	Guía breve de entrevista	Al menos 2 recomendaciones para enfrentar el cambio climático de manera más efectiva desde el punto de vista de cada Acueducto.	Describe las recomendaciones de las ASADAS respecto a la adaptación ante el cambio climático local
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la	Análisis documental	Matriz de análisis documental	Tipo de fuentes utilizadas y cantidad de fuentes inscritas y no inscritas. Fuentes que pertenecen a la microcuenca del Rio Jorco	Identifica medidas con datos formales del MINAE, la ASADA y otras fuentes como el SINIGIRH

percepción de
administradores y juntas
directivas.

3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Observación directa	Ficha de observación	Macromedición instalada en línea de distribución o conducción del acueducto, medidas adaptativas ante el cambio climático	Verifica en campo medidas de eficiencia implementadas
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Observación directa	Ficha de observación	Buen estado de captaciones, rotulación y cuidado de zona de recarga hídrica.	Verifica en campo medidas de eficiencia implementadas

3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Observación directa	Ficha de observación	Buen estado de tanques de almacenamiento	Verifica en campo medidas de eficiencia implementadas
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la percepción de administradores y juntas directivas.	Observación directa	Ficha de observación	Al menos 1 sistema de monitoreo en tiempo real instalado para reducción de ANC y otras medidas adaptativas ante el cambio climático	Verifica en campo medidas de eficiencia implementadas
3. Demostrar las medidas de adaptación más efectivas según el tipo de acueducto y fuente hídrica, considerando la	Tablas comparativas	Formatos comparativos	Resultados por tipología de acueducto	Facilita análisis diferenciado de efectividad, según tipo de acueducto, caudal disponible, lluvia histórica, capacidad

percepción de
administradores y juntas
directivas.

operativa, financiera y
administrativa de cada uno.

Fuente: elaboración propia.

La tabla de operacionalización de los instrumentos sintetiza de forma ordenada la relación entre los objetivos específicos del estudio, las variables analizadas, los indicadores definidos y las técnicas empleadas para la recolección de datos. Este instrumento metodológico garantiza la coherencia interna de la investigación al mostrar cómo cada método, contribuye al cumplimiento de los objetivos planteados. En ella se detallan los tipos de información que cada técnica permite obtener, así como las fuentes de datos y los criterios de validación aplicados. De esta manera, la tabla funciona como un mapa metodológico que vincula el marco teórico con la aplicación práctica, asegurando un abordaje integral que combina evidencia cuantitativa (caudales, balances hídricos, registros climáticos) y cualitativa (percepciones, experiencias y medidas de adaptación), fortaleciendo la validez y confiabilidad de los resultados finales del estudio.

CAPÍTULO IV

4.1. Resultados

El capítulo presenta los resultados de la investigación desarrollada con información que incluye datos desde los años 2023 y 2025 en los acueductos comunales de Tarbaca y Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), ubicados en la microcuenca alta del río Jorco. Los hallazgos se organizaron en torno a tres ejes principales: la variación de la disponibilidad de agua frente al cambio climático, las medidas administrativas, operativas y financieras implementadas por las ASADAS, y las acciones de adaptación vinculadas a su tipología y a la gestión de fuentes hídricas.

En relación con la disponibilidad de agua, se aplicaron instrumentos de análisis documental, entrevistas semiestructuradas y observación directa, que permitieron sistematizar información de caudales, balances hídricos, registros climáticos y percepciones locales. Los datos de la ASADA Tarbaca evidencian un comportamiento altamente estacional, con descensos críticos en los meses de verano y recuperaciones parciales durante la época lluviosa. Se identificaron porcentajes de Agua No Contabilizada cercano al 33 % y a la presión que ejerce la creciente demanda de disponibilidades. Las entrevistas confirmaron la percepción de un impacto significativo del clima en la continuidad del servicio, tanto por la reducción de caudales en verano como por los problemas de turbiedad en invierno. En el caso de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca, si bien los datos técnicos disponibles son más limitados, sus representantes señalaron la sequía como la principal amenaza, en concordancia con los escenarios climáticos observados en la región.

En cuanto a las medidas administrativas, operativas y financieras, el análisis muestra que existen diferencias ligadas a la escala y capacidad económica de cada sistema. La ASADA Tarbaca, con una mayor cantidad de conexiones y un volumen superior de ingresos, ha logrado invertir en proyectos de captación, bombeo y modernización tecnológica, incluyendo macromedición, monitoreo en tiempo real y el uso de estaciones meteorológicas. Por su parte,

la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca concentra sus recursos en obras esenciales de infraestructura y reforestación, operando con márgenes financieros mucho más reducidos. Ambas organizaciones destinan alrededor de un 10 % de sus ingresos a la atención de emergencias climáticas, principalmente en reparaciones, mejoras inmediatas de infraestructura y proyectos puntuales de abastecimiento.

Finalmente, los hallazgos sobre medidas de adaptación señalan que la efectividad de las acciones implementadas depende en gran medida de la tipología de los acueductos, es decir, de su tamaño, cantidad y diversificación de fuentes, así como de sus recursos financieros. Mientras Tarbaca presenta un sistema con mayor complejidad técnica, múltiples fuentes en uso y herramientas modernas de gestión, Barrio San Rafael de Tarbaca depende de un número reducido de nacientes y de la participación comunitaria para sostener su operación. En ambos casos se constató la importancia de proteger las zonas de recarga hídrica y de mantener estrategias de reforestación como parte de los esfuerzos locales frente a la variabilidad climática.

4.1.1. Impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua

Lo que se buscaba en este primer objetivo fue evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para el otorgamiento de nuevas disponibilidades de agua durante 2023–2025, tomando en cuenta variaciones climáticas, registros técnicos y percepciones de los actores locales.

Para este propósito, se aplicaron principalmente tres instrumentos:

- Análisis documental, que permitió sistematizar aforos, balances hídricos, cartas de disponibilidad y datos climáticos (precipitación y temperatura).
- Entrevistas semiestructuradas, que recogieron la percepción de administradores y juntas directivas sobre variaciones del clima, interrupciones y continuidad del servicio.
- Observación directa, que verificó en campo el estado de las fuentes y su comportamiento estacional.

Este abordaje combinado permitió contrastar lo que indican los registros técnicos con la percepción de quienes gestionan los acueductos y con las evidencias observadas en campo, facilitando así validar si las tendencias locales confirman lo planteado en la teoría sobre vulnerabilidad climática en acueductos comunales.

Las entrevistas realizadas permitieron profundizar en la percepción local de los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua en los acueductos comunales. En el caso de la ASADA de Tarbaca, su presidente, Franklin Segura Mora, enfatizó que la sequía afecta de manera significativa las nacientes pequeñas, reduciendo en promedio hasta un 15 % del caudal disponible en temporada seca. Además, señaló que la deforestación y el incremento de la población intensifican esta situación, obligando en ocasiones a limitar la dotación de agua a la mitad de los abonados previstos. Durante la época lluviosa, se experimentan problemas adicionales asociados al arrastre de sedimentos y la turbiedad, lo que genera obstrucciones en tuberías y dificultades en el tratamiento del recurso. En síntesis, identificó una marcada dualidad estacional: en verano, la reducción de caudales compromete la continuidad del servicio, mientras que en invierno los excesos de precipitación ocasionan interrupciones imprevistas.

Por su parte, Estrella Cordero Salazar, presidenta de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), subrayó que el fenómeno de la sequía constituye la principal amenaza local, vinculando esta situación con tendencias globales del calentamiento climático. Señaló que, en los últimos años, la disminución de los caudales en verano ha limitado la capacidad de abastecimiento de la población, al no contarse con caudales suficientes para cubrir la demanda en esa época. Asimismo, advirtió que los escenarios climáticos futuros podrían profundizar estas afectaciones, al generar tanto sequías más prolongadas como lluvias intensas, lo que plantea un desafío permanente para la sostenibilidad del servicio.

Además de describir los efectos observados, se consultó directamente a los representantes de las ASADAS si habían percibido mayores variaciones climáticas en los últimos años (2023–2025). Ambos entrevistados coincidieron en responder afirmativamente, destacando que la variabilidad es evidente tanto en la reducción de caudales en verano como en la intensificación de lluvias en invierno. Asimismo, al aplicar una escala de valoración de 1 a 5

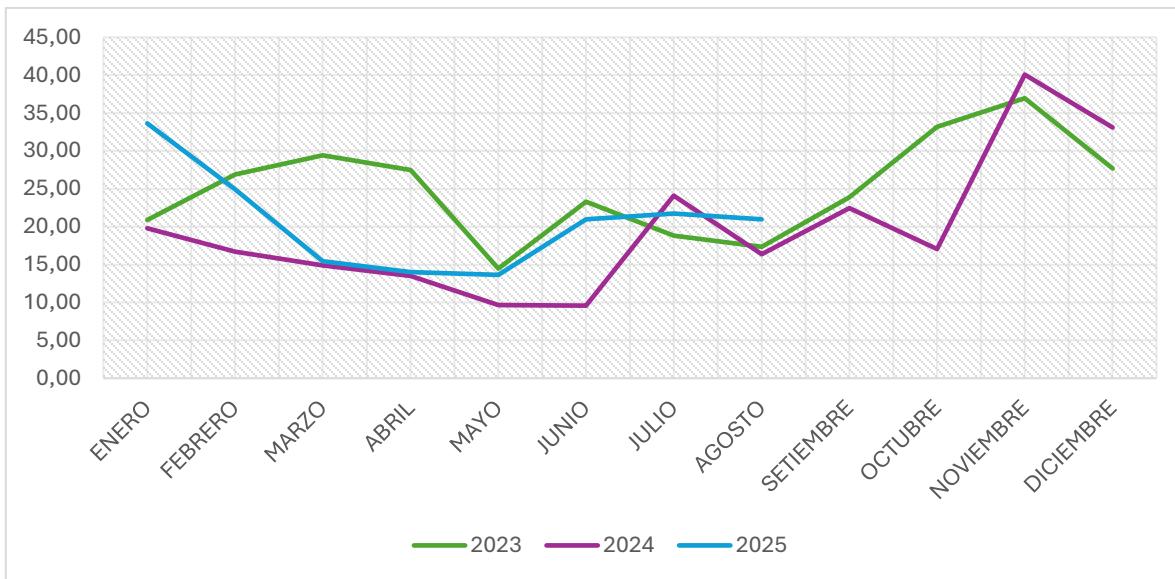
—donde 1 indica poca afectación y 5 una afectación muy alta—, tanto Franklin Segura (ASADA Tarbaca) como Estrella Cordero (ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca) calificaron con “5” el nivel de impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua en sus sistemas. Este resultado confirma que, desde la perspectiva de la gestión comunitaria, el cambio climático no es percibido como un fenómeno lejano, sino como un factor crítico y presente que condiciona la continuidad y sostenibilidad del servicio.

4.1.1.1. Variación de caudales aforados (2023–2025).

La variación en los caudales de las fuentes comunales es uno de los indicadores más sensibles frente a la influencia del cambio climático. Los registros sistemáticos de aforos permiten evidenciar la magnitud de las reducciones durante la estación seca y los aumentos en los períodos lluviosos, que en muchos casos se presentan de forma abrupta. Estos comportamientos responden a la dinámica hidrológica propia de las microcuencas de montaña, donde la recarga depende casi exclusivamente de las precipitaciones locales y se ve rápidamente afectada por su variabilidad interanual. El análisis documental permitió sistematizar los aforos registrados en el período 2023–2025 para la ASADA Tarbaca, constituyéndose en la principal evidencia técnica disponible sobre la dinámica hídrica local. Aunque se previó incluir también a la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) y la ASADA de Vuelta de Jorco, hasta el cierre de este informe no se han obtenido datos oficiales de sus aforos, por lo que los hallazgos expuestos corresponden exclusivamente a Tarbaca.

Respecto a los aforos volumétricos realizados directamente en las captaciones de la ASADA de Tarbaca permiten identificar la variación mensual de los caudales entre enero de 2023 y agosto de 2025. La gráfica muestra una marcada estacionalidad, con descensos notorios en los meses de verano y recuperaciones durante la época lluviosa.

Figura 1 Comportamiento de caudales ASADA Tarbaca Aserri (2023-2025)



Fuente: elaboración propia.

En el año 2023 se registraron los valores más altos en comparación con los dos años siguientes, alcanzando máximos de 36,95 l/s en noviembre y mínimos de 14,48 l/s en mayo. En 2024 se evidenció una reducción generalizada, con mínimos críticos en mayo (9,65 l/s) y junio (9,58 l/s), confirmando la vulnerabilidad del sistema durante la estación seca. Para 2025, los registros hasta setiembre muestran una recuperación parcial en los primeros meses del año (enero con 33,63 l/s), aunque persisten descensos en marzo (15,45 l/s) y abril (14,01 l/s).

La comparación de los registros de aforos volumétricos en la ASADA de Tarbaca evidencia trayectorias diferenciadas en cada uno de los años analizados. En 2023, los caudales presentan valores relativamente altos y sostenidos en la mayoría de los meses, con descensos marcados únicamente hacia mayo (14,48 l/s). Para 2024, se observa un patrón de disminución generalizada en casi todos los meses, alcanzando los valores más bajos de la serie en mayo (9,65 l/s) y junio (9,58 l/s), lo cual resalta la vulnerabilidad de ese periodo frente a la reducción del recurso hídrico. En el caso de 2025, los datos disponibles hasta agosto muestran un comportamiento intermedio: se inicia con valores elevados en enero (33,63 l/s), pero se identifican descensos en marzo y abril (15,45 y 14,01 l/s respectivamente), antes de mostrar cierta recuperación hacia mitad de año. En la siguiente tabla podemos entender dicho

comportamiento marcando con un color más rojo aquellos caudales más reducidos en comparativa con cada año estudiado, así también los colores más verdes aquellos caudales más altos según el mes.

Tabla 4 Registros de caudal en litros por segundo diferenciados por color (2023–2025)

Mes de Registro	2023	2024	2025
Enero	20,91	19,78	33,63
Febrero	26,91	16,73	24,94
Marzo	29,42	14,89	15,45
Abril	27,48	13,50	14,01
Mayo	14,48	9,65	13,64
Junio	23,31	9,58	20,96
Julio	18,81	24,12	21,73
Agosto	17,36	16,37	20,99
Setiembre	23,88	22,47	-
Octubre	33,19	17,05	-
Noviembre	36,95	40,07	-
Diciembre	27,70	33,08	-

Fuente: elaboración propia.

4.1.1.2. Balance hídrico vs. capacidad hídrica.

El balance hídrico constituye un indicador clave para determinar la sostenibilidad real de los acueductos comunales, ya que integra la producción de agua disponible, las pérdidas por Agua No Contabilizada (ANC), el consumo facturado y la capacidad de almacenamiento del sistema. Este análisis permite establecer si existe margen para otorgar nuevas disponibilidades sin comprometer el abastecimiento de los usuarios actuales.

En la ASADA Tarbaca, el balance hídrico presenta un déficit de $-6,36 \text{ L/s}$, lo que significa que la demanda supera la capacidad hídrica disponible. A pesar de contar con un consumo mensual promedio de $12,07 \text{ m}^3$ por abonado y un total de 840 conexiones que abastecen aproximadamente a 2.950 personas, el sistema enfrenta pérdidas equivalentes al 33 % de ANC, porcentaje que representa una reducción significativa en el caudal efectivamente aprovechado. Esta situación implica que, aun cuando el acueducto dispone de nueve fuentes de abastecimiento (cinco inscritas y cuatro en proceso), la disponibilidad neta de agua se

encuentra comprometida, limitando la posibilidad de atender nuevas solicitudes de servicio. La evidencia confirma que, sin medidas de control de fugas y reducción del ANC, la capacidad hídrica del sistema continuará siendo insuficiente para garantizar su sostenibilidad en el mediano plazo.

Por su parte, la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) no cuenta con un balance hídrico validado por estudio técnico, aunque según la presidenta de la junta directiva el criterio otorgado por el AyA señala la necesidad de ampliar la base de fuentes debido a limitaciones en la producción actual. Con 123 conexiones y un estimado de población atendida calculado a partir del factor de hacinamiento rural, el acueducto presenta ingresos mensuales cercanos a ₩1.450.000. La ausencia de datos de aforos y disponibilidades aprobadas impide cuantificar con exactitud el déficit hídrico, aunque la información parcial evidencia que el sistema enfrenta riesgos asociados a la dependencia exclusiva de dos nacientes aún en proceso de inscripción.

4.1.1.1. Agua no contabilizada (ANC).

El Agua No Contabilizada (ANC) constituye un indicador determinante para evaluar la eficiencia operativa de los acueductos comunales, ya que expresa la diferencia entre el agua producida y la efectivamente facturada a los usuarios. Este componente integra tanto pérdidas reales (fugas en las redes de conducción y distribución) como pérdidas aparentes (errores de micromedición, conexiones ilegales o subregistro).

En la ASADA Tarbaca, el estudio técnico vigente reporta un ANC del 33 %, lo que implica que casi un tercio del caudal producido no se traduce en consumo útil ni en ingresos. Este valor, si bien representa un desafío operativo, se encuentra por debajo del promedio nacional, donde distintos diagnósticos (AyA, ARESEP) sitúan las pérdidas en rangos superiores al 40–50 % en los acueductos comunales. Bajo esta perspectiva, Tarbaca puede ser considerada relativamente más eficiente en la gestión del recurso hídrico, aunque el déficit hídrico identificado ($-6,36 \text{ L/s}$) confirma que la reducción del ANC sigue siendo prioritaria como medida de adaptación frente al cambio climático.

En el caso de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) y de la ASADA de Vuelta de Jorco, aún no se dispone de un valor calculado de ANC. La estimación requiere datos mensuales de consumo facturado, almacenamiento y caudales mínimos disponibles. La ausencia de un registro preciso limita la posibilidad de medir con exactitud la eficiencia del sistema y de compararla con el parámetro nacional.

4.1.1.2. Disponibilidades otorgadas o rechazadas.

El análisis de las constancias de disponibilidad de agua emitidas por las ASADAS constituye un insumo clave para comprender la tensión entre la capacidad técnica de los sistemas comunales y la creciente demanda de nuevos servicios. Estos registros permiten dimensionar hasta qué punto las organizaciones pueden sostener la expansión poblacional sin comprometer la continuidad del abastecimiento de los usuarios actuales.

En la ASADA Tarbaca, los datos sistematizados entre 2023 y 2025 evidencian un comportamiento diferenciado en dos etapas. Durante el año 2023, varias disponibilidades fueron otorgadas bajo la figura de excepcionalidad, ya que el estudio técnico elaborado por la organización se encontraba aún en proceso de revisión por parte del AyA. En este contexto, la ASADA no podía negar las solicitudes, lo que generó un margen de otorgamiento condicionado a la espera de la aprobación oficial.

En el año 2023, se aprobaron 60 disponibilidades bajo el régimen de excepcionalidad, debido a que el estudio técnico se encontraba en revisión por parte del AyA. En este contexto, la junta directiva no podía negar formalmente las solicitudes, lo que permitió mantener en curso proyectos de vivienda unifamiliar en su mayoría. Ese mismo año se registraron 2 solicitudes rechazadas o en lista de espera, señalando ya las primeras limitaciones por déficit hídrico.

A partir de 2024, el panorama cambió drásticamente: solo se aprobaron 3 disponibilidades, enfocadas en proyectos sociales como bonos de vivienda y segregaciones. En paralelo, 27 solicitudes quedaron sin resolución en lista de espera, lo que muestra la restricción progresiva del crecimiento habitacional y comercial en el área de influencia del acueducto.

Durante 2025, la tendencia se mantuvo: apenas 4 disponibilidades fueron aprobadas con criterio de la junta directiva, mientras que 15 solicitudes permanecieron pendientes o fueron trasladadas a lista de espera. Esta reducción sostenida en la capacidad de otorgar disponibilidades refleja el impacto del balance hídrico negativo ($-6,36 \text{ L/s}$) y la necesidad de priorizar proyectos de interés social por encima de desarrollos privados.

Tabla 5 Comparativa de disponibilidades-ASADA Tarbaca (2023–2025)

Año	Total solicitudes	Aprobadas	Denegadas / Lista de espera	Motivos	
				de principales de aprobación	principales de rechazo / espera
2023	62	60	2	Excepcionalidad (estudio técnico en revisión AyA)	Déficit hídrico inicial
2024	30	3	27	Bonos de vivienda y segregaciones familiares	Balance hídrico negativo persistente
2025	19	4	15	Casos específicos por acuerdo de junta directiva	Limitaciones estructurales del sistema
Total	111	67	44		

Fuente: Elaboración propia con base en registros de disponibilidades de ASADA Tarbaca (2023–2025).

En contraste, la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) no ha compartido aún los registros de disponibilidades emitidas o rechazadas. Si bien se cuenta con un criterio técnico del AyA que señala restricciones hídricas y la necesidad de nuevas fuentes, la ausencia de datos documentales impide realizar un análisis detallado de este indicador en dicho sistema. Por otro lado, se desconoce si la ASADA de Vuelta de Jorco posee estos registros ya que tampoco develó dicha información.

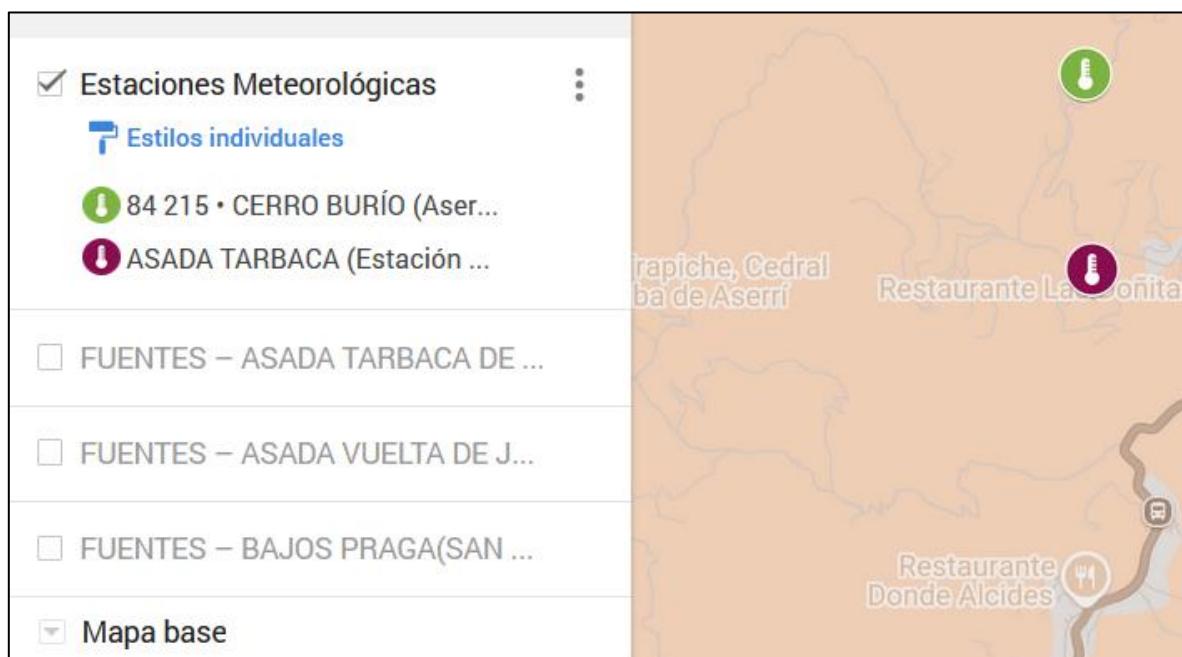
4.1.1.3. Lluvia, temperatura y caudales.

Datos meteorológicos: Las estaciones seleccionadas corresponden a las bases de datos oficiales del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), conforme a la nota IMN-DIM-CM-

218-2025, e incluyen la estación Cerro Burío (84 215, Aserrí, 1811 msnm) desde enero 2023 hasta el 30 de agosto de 2025. Adicionalmente, se incorporan los registros propios de la Estación Meteorológica de la Federación de ASADAS Aserrí desde agosto 2024 al 17 de setiembre del 2025, ubicada a 1730 msnm, los cuales complementan el análisis con datos locales de precipitación y temperatura registrados en tiempo real por el sistema automatizado instalado en 2024.

La estación Cerro Burío permite analizar la evolución de las variables de precipitación y temperatura durante todo el periodo 2023–2025, mientras que la estación de Tarbaca complementa esta información al proporcionar registros locales en tiempo real, capturados mediante sensores automáticos tipo Davis Instruments WeatherLink, ubicados directamente en el tanque “El Japonés” del sistema comunal.

Figura 2 Georreferenciación de las estaciones meteorológicas: Cerro Burío, San Gabriel y ASADA Tarbaca.



Fuente: Elaboración propia en software “My Maps” de Google LLC.

4.1.1.3.1. Lluvia y temperatura

El comportamiento climático registrado por las estaciones Cerro Burío (IMN) y la de Tarbaca (Federación de ASADAS del Cantón de Aserrí) evidencia una marcada estacionalidad

característica de la vertiente del Pacífico Central costarricense, con un período seco de diciembre a abril y una época lluviosa de mayo a noviembre.

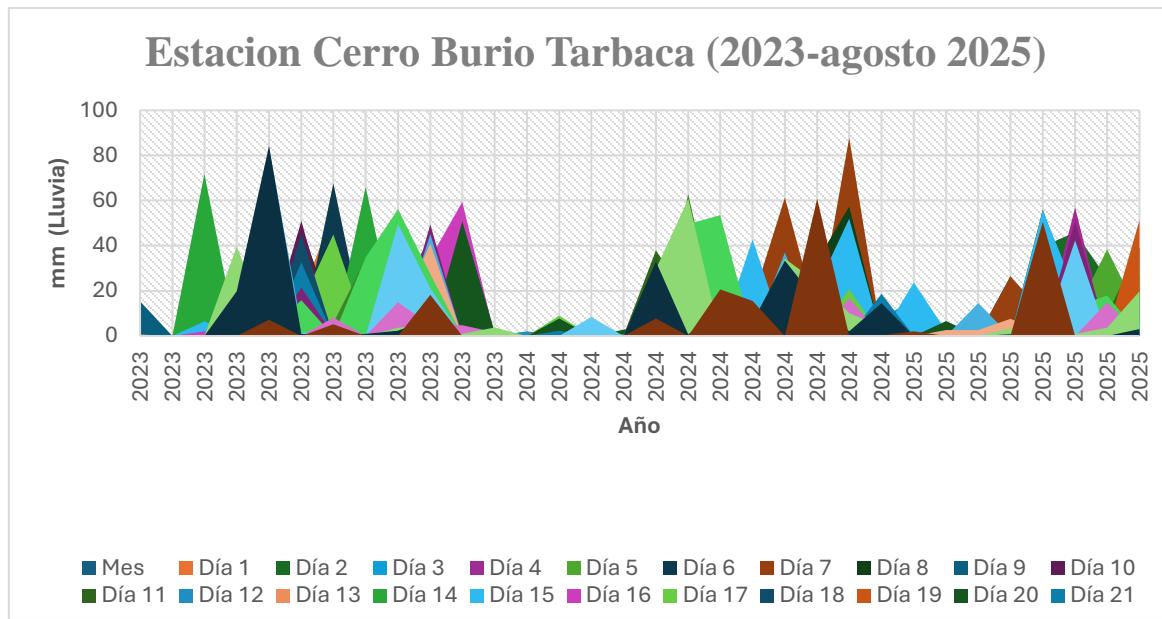
En la estación Cerro Burío, los datos entre enero de 2023 y agosto de 2025 muestran que 2023 fue el año con mayor regularidad en las precipitaciones, destacando el periodo de marzo a noviembre, cuando se mantuvo una continuidad mensual de lluvias significativas. El mes más lluvioso de ese año fue octubre de 2023, con un acumulado de 536 mm, mientras que el más seco fue febrero de 2023, sin registro de precipitación (0 mm).

Durante el 2024 se observó un comportamiento más irregular, con un período seco bien definido entre diciembre de 2023 y abril de 2024, cuando las lluvias mensuales no superaron los 22 mm, siendo enero de 2024 el mes más seco con apenas 2 mm. Posteriormente, el régimen lluvioso se reactivó con fuerza a partir de mayo, alcanzando sus máximos en junio (693 mm) y noviembre (561 mm), lo cual refleja un ciclo de recuperación intensa hacia el final de la estación húmeda.

Por su parte, los registros de la estación ASADA Tarbaca, operativa desde agosto de 2024 hasta septiembre de 2025, confirman esta dinámica con acumulados máximos entre septiembre y noviembre, coincidiendo con los picos de caudal en las fuentes comunales, y con mínimos durante los meses secos del primer cuatrimestre de 2025.

En cuanto a la temperatura, ambas estaciones muestran una variación moderada, con valores medios entre 14 °C y 17 °C, máximos de hasta 27 °C en los meses más secos, y mínimos cercanos a 13 °C durante la temporada lluviosa. En la siguiente grafica se puede observar los picos de registro de lluvia los cuales se acumulan durante varios meses, pero nunca de manera regular entre cada mes ni tampoco entre cada año, en algunos casos abarca más meses con lluvia y en otros menos meses.

Figura 3 Registros Lluvia estación Cerro Burío-Tarbaca (IMN)



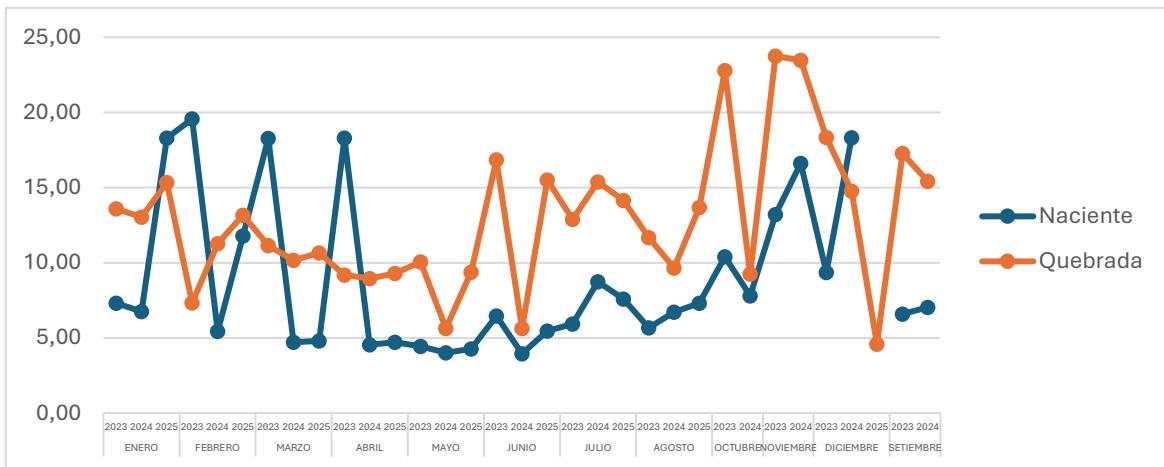
Fuente: Elaboración propia con datos del IMN.

4.1.1.3.2. Comparativa entre lluvia, temperatura y caudales.

El análisis combinado de los datos climáticos de las estaciones del Cerro Burío (IMN) y la de Tarbaca (Federación de ASADAS del Cantón de Aserri) permite identificar una relación directa entre las fluctuaciones de la precipitación mensual y los caudales aforados durante el período enero 2023 – agosto 2025.

Si graficamos los valores promedios anuales de caudal (en L/s) en el Acueducto de Tarbaca, la naciente es más estable (línea azul), con variaciones suaves entre 12 y 33 L/s. y la quebrada (línea anaranjada) con picos marcados, que varía de 25 a 47 L/s dependiendo de la época del año.

Figura 4 Registros aforos de caudal Acueducto Tarbaca según tipo de fuente.



Fuente: Elaboración propia con datos del Acueducto Tarbaca.

Durante los meses enero–abril (periodo seco), las quebradas muestran una disminución más abrupta mientras que las nacientes mantienen un flujo más constante, evidenciando la infiltración y la capacidad de almacenamiento subterráneo que las amortigua frente a la sequía.

La serie climática del Instituto Meteorológico Nacional según registro IMN-DIM-CM-218-2025, muestra que el año 2023 presentó una mayor regularidad de lluvias a lo largo de la estación húmeda (marzo-noviembre), mientras que 2024 registró picos de precipitación más altos, con valores máximos de 693 mm en junio y 561 mm en noviembre, aunque concentrados en menos meses del año. Esta irregularidad anual confirma la variabilidad climática interanual y la ausencia de una estacionalidad perfectamente repetitiva.

El análisis conjunto de las variables climáticas y los caudales aforados de la ASADA de Tarbaca evidencia una relación directa y consistente entre la precipitación y la disponibilidad hídrica, así como una relación inversa entre temperatura y caudal, particularmente durante los períodos más secos.

Durante el año 2023, los datos muestran una mayor estabilidad en los caudales pese a tratarse del periodo seco (enero–abril). Esto se asocia con el hecho de que en 2023 se registraron más meses con lluvia continua, aunque de menor intensidad acumulada que en 2024, lo cual favoreció la recarga progresiva del suelo y el mantenimiento de flujos base en las nacientes. En contraste, 2024 presentó lluvias más concentradas y extremas, con máximos de 692,6 mm en junio, que fueron seguidas de meses con precipitaciones casi nulas; esta irregularidad

afectó la recarga subterránea y provocó caudales más bajos en los primeros cuatro meses del año.

La temperatura máxima promedio mensual refuerza este patrón: los meses con mayores temperaturas (febrero–abril de 2024, con valores entre 27 °C y 28 °C) coincidieron con los caudales más reducidos (10–15 L/s), lo que sugiere un efecto combinado de altas tasas de evaporación y déficit de precipitación. Por el contrario, los meses con temperaturas más bajas y aumento de lluvias (junio–noviembre) muestran incrementos sostenidos de caudal, alcanzando los valores más altos en noviembre de 2023 (37 L/s) y noviembre de 2024 (40 L/s).

En conjunto, los resultados confirman una correlación positiva entre la lluvia y el caudal: el incremento de la precipitación se refleja, con un pequeño desfase temporal, en el aumento de los caudales aforados. Asimismo, existe una correlación negativa entre temperatura y caudal, donde los períodos de calor más intenso y baja precipitación coinciden con los mínimos hídricos.

Tabla 6. Correlaciones más relevantes de lluvia, temperatura y caudal total (2023-2025).

Año	Mes	Lluvia	Temperatura	Caudal	Correlación observada
		total (mm)	máx. (°C)	total (L/s)	
2023	Marzo	182	24	29	Aumento de lluvia genera incremento de caudal; temperatura estable.
	Junio	331	26	23	Recuperación del caudal tras lluvias continuas.
	Septiembre	245	25	33	Lluvias constantes elevan caudal; condiciones térmicas estables.
	Octubre	536	25	37	Coincidencia de picos de lluvia y caudal.

	Febrero	0	24	27	Sin lluvia pero caudal aún alto por recarga del periodo anterior.
2024	Febrero– Abril	<22	27–28	14–17	Sequía prolongada: temperatura alta y descenso de caudal.
	Julio	289	24	24	Lluvias reactivan caudal tras meses secos.
	Octubre	408	24	40	Pico de lluvias coincide con caudal máximo.
	Noviembre	561	23	38	Alta lluvia mantiene caudal elevado y temperatura baja.
	Diciembre	65	23	22	Disminuye lluvia y caudal al inicio del verano.
2025	Enero	66	23	34	Recuperación de caudal por lluvias previas y menor temperatura.
	Febrero	26	24.7	25	Menor lluvia, descenso de caudal y aumento térmico.
	Marzo	18	26.1	15	Periodo seco; máxima temperatura y caudal mínimo.
	Junio	420	25.3	21	Lluvias elevadas comienzan a reflejarse en caudal.
	Julio	121	23.6	22	Estabilización del caudal con lluvias moderadas.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.4. Percepciones de las ASADAS ante las variaciones climáticas extremas.

La percepción complementa los datos técnicos y permite dimensionar cómo se experimenta la variabilidad climática en la gestión diaria del acueducto. De manera recurrente, las entrevistas resaltan que la reducción de caudales en la época seca ha obligado a tomar

medidas extraordinarias, mientras que los eventos extremos en época lluviosa han generado interrupciones inesperadas. Estas percepciones validan la importancia de la gestión comunitaria como espacio de adaptación frente a escenarios cambiantes.

En relación con la continuidad del servicio durante eventos climáticos extremos, los administradores entrevistados mostraron percepciones diferentes. La ASADA de Tarbaca calificó con un 2 la capacidad de mantener la continuidad del servicio en este tipo de escenarios, lo que refleja dificultades recurrentes en condiciones adversas. En contraste, la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) otorgó una valoración de 5, lo que denota que en su experiencia el servicio ha logrado sostenerse aun en presencia de variabilidad climática.

Al consultar sobre la emisión de constancias de disponibilidad de agua, ambos representantes coincidieron en señalar que las variaciones climáticas de los últimos años han afectado este proceso, indicando que los cambios en el régimen hídrico inciden directamente en la decisión de otorgar o no nuevas disponibilidades.

De igual manera, los dos entrevistados señalaron que las variaciones climáticas inciden en la calidad del agua, principalmente a través del aumento de la turbiedad y la presencia de sedimentos durante la temporada lluviosa. Estas respuestas permiten evidenciar cómo, desde la perspectiva de la gestión comunal, el clima se percibe como un factor que afecta de manera simultánea la continuidad del servicio, la posibilidad de atender nuevas solicitudes y la calidad del recurso disponible.

4.1.1.5. Observación directa de fuentes y estacionalidad.

La observación en campo de las captaciones y de los sistemas de almacenamiento confirmó la marcada estacionalidad de las fuentes comunales. En época seca, las reducciones de caudal son visibles y en algunos casos comprometen la calidad del servicio; en época lluviosa, la turbiedad y el arrastre de sedimentos se convierten en los principales problemas. Esta evidencia refuerza la necesidad de mantener un monitoreo constante de las condiciones de las fuentes como parte de la gestión integral del recurso hídrico.

4.1.1.5.1. ASADA de Tarbaca

La ASADA de Tarbaca, al disponer de una planta de tratamiento de agua potable, confiere especial atención a los eventos de sequía que impactan de manera directa la continuidad del servicio. Durante el año 2024 se evidenció un mayor impacto en comparación con los años 2023 y 2025, observándose una disminución crítica en varias de sus fuentes.



En la Imagen 1. Toma artesanal Quebrada Gallera 2 (2024), se aprecia que la captación artesanal, de la cual se conduce agua hacia la estación de bombeo, presenta una reducción significativa en época seca.

De forma similar, la Imagen 2. Toma Quebrada Marcos Hidalgo (2024) muestra cómo esta quebrada, que es una de las de mayor aporte, ubicada en zona montañosa cercana a la Zona Protectora Cerros de Escazú, también disminuye de manera considerable durante los meses de verano.



La reducción conjunta de caudales es evidente en la Imagen 3. Aforo en la entrada a Planta de Tratamiento Embajada de Japón (2024), donde la integración de todas las fuentes en mayo refleja un impacto severo en la disponibilidad de agua. En la Imagen 4. Aforo en la entrada a Planta de Tratamiento



Embajada de Japón (2024), se observa a un fontanero realizando la medición de caudal en el vertido previo al floculador, confirmando la baja disponibilidad.

Por otra parte, la Imagen 5. Captación Naciente Echeverría (2024) evidencia una de las fuentes más importantes del acueducto con un caudal considerablemente reducido. De igual manera, la Imagen 6. Captación Naciente Memo Arguedas (2024) muestra apenas un leve llenado en el tanque, reflejando la gravedad de la disminución durante el periodo seco.



En conjunto, estas observaciones corroboran la marcada estacionalidad de las fuentes comunales: una fuerte reducción de caudales en la estación seca y una recuperación parcial en época lluviosa, aunque acompañada de problemas de turbiedad y



sedimentos. Los hallazgos fotográficos respaldan lo reportado en los aforos y balances hídricos de la ASADA, confirmando su alta vulnerabilidad ante sequías prolongadas y lluvias extremas.

4.1.2. Medidas administrativas, operativas y financieras implementadas

El segundo objetivo buscaba categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto communal en el período de estudio, con el fin de conocer cómo han enfrentado la variabilidad climática.

Para este análisis se recurrió a distintos instrumentos:

- Entrevistas semiestructuradas, en las que los administradores y juntas directivas describieron las acciones implementadas en época seca y lluviosa, así como las medidas financieras adoptadas para sostener la operación.
- Análisis documental, que permitió revisar presupuestos, inversiones en adaptación y datos formales sobre tarifas e ingresos.
- Observación directa, para evaluar el estado de la infraestructura y las intervenciones visibles en campo.

Antes de analizar las medidas administrativas, operativas y financieras aplicadas por los acueductos en estudio, resulta necesario caracterizar su escala de operación y capacidad económica, ya que estos factores condicionan directamente el tipo de decisiones que cada organización puede adoptar frente a la variabilidad climática.

En la ASADA Tarbaca, se contabilizan 840 conexiones activas, que abastecen aproximadamente a 2.950 habitantes. Este sistema aplica las tarifas de ARESEP correspondientes a acueductos con sello regulatorio de calidad en el rango de 301 a 1.000 abonados, con un promedio de ingresos mensuales cercanos a ₡7.800.000, lo que equivale a más de ₡93 millones anuales. Estos ingresos le permiten sostener un esquema de operación con mayor margen de maniobra para proyectos de infraestructura y diversificación de fuentes.

Por su parte, la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) presenta una escala significativamente menor, con 123 conexiones. La población atendida debe estimarse a partir de factores de hacinamiento rural del INEC, dado que no se dispone de un cálculo oficial, aunque ronda los 200 habitantes. Este sistema aplica las tarifas ARESEP para acueductos sin sello regulatorio de calidad en el rango de 101 a 300 abonados, y sus ingresos mensuales promedian ₡1.450.000, equivalentes a unos ₡17,4 millones anuales. Estas cifras reflejan un margen económico muy limitado para invertir en obras de adaptación, dependiendo en gran medida de gestiones externas y apoyo institucional.

Tabla 7. Caracterización de los acueductos en estudio según conexiones, población, tarifas e ingresos

ASADA	Conexiones	Población atendida (aprox.)	Rango tarifario ARESEP	Ingresos mensuales (₡)	Ingresos anuales (₡)
Tarbaca (Aserrí)	840	2.950	Con sello regulatorio (301–1000 abonados)	7.800.000	93.600.000
Barrio San Rafael de Tarbaca (B. Praga)	123	200	Sin sello regulatorio (101–300 abonados)	1.450.000	17.400.000

Fuente: Elaboración propia con datos de las entrevistas.

4.1.2.1. Medidas administrativas frente a la variabilidad climática.

Las entrevistas con los representantes de las ASADAS permitieron identificar diversas acciones administrativas orientadas a enfrentar los impactos del clima en sus comunidades. En el caso de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), su presidenta, Estrella Cordero, recordó que en el año 2019 se vivieron racionamientos extremos de hasta tres o cuatro días sin agua, situación que obligaba a los vecinos a contar únicamente con un par de horas de servicio diario. Ante esta experiencia, la junta directiva decidió promover la construcción de una nueva captación en una fuente adicional, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad frente a periodos de sequía. La entrevistada señaló que el trabajo administrativo actual se orienta a continuar gestionando proyectos para incorporar nuevas fuentes de abastecimiento, considerando que la problemática de escasez se mantendrá en el futuro.

Por su parte, el presidente de la ASADA de Tarbaca, Franklin Segura, indicó que, en años recientes, la organización ha buscado ampliar su cobertura de fuentes de agua como medida administrativa frente a la sequía y al incremento de la demanda. Explicó que, mientras inicialmente se contaba con dos fuentes, actualmente se dispone de entre cinco y seis captaciones para la época seca, aunque reconoció que aún no resultan suficientes para abastecer a toda la población. Asimismo, informó que la junta directiva impulsa un proyecto de perforación de un pozo en una finca de la ASADA, con el propósito de asegurar una fuente más estable y garantizar el suministro continuo de agua durante todo el año.

4.1.2.2. Medidas operativas frente a la variabilidad climática.

En cuanto a las medidas de carácter operativo, los entrevistados señalaron acciones que buscan garantizar la continuidad del servicio en condiciones de presión climática. El presidente de la ASADA de Tarbaca, Franklin Segura, destacó que la junta ha recurrido en diferentes ocasiones a racionamientos programados y a suspensiones temporales del servicio, principalmente asociadas a reparaciones de tuberías. Explicó que la incorporación de nuevas captaciones, en especial aquellas que conducen agua a la planta por medio de bombeo, ha permitido ampliar la capacidad operativa respecto a la situación previa a 2019, cuando no se contaba con estas fuentes adicionales.

Por su parte, la presidenta de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), Estrella Cordero, indicó que una de las principales dificultades operativas ha sido el uso ineficiente del recurso por parte de algunos abonados, quienes presentan consumos elevados en comparación con el promedio de un hogar típico. Ante esta situación, la junta ha optado por realizar visitas y gestiones directas con las familias usuarias para concientizarlas sobre la necesidad de evitar el desperdicio de agua y favorecer la disponibilidad para toda la comunidad. Además, mencionó que se procura administrar de manera más cuidadosa el agua almacenada en los tanques, con el fin de mantener el suministro durante el mayor tiempo posible en épocas secas, aun cuando el sistema enfrenta limitaciones estructurales

En relación con la frecuencia de interrupciones del servicio durante los distintos períodos climáticos, los entrevistados señalaron percepciones diferenciadas. En el caso de la ASADA de Tarbaca, la continuidad del servicio en época lluviosa se calificó con un 1 en la escala de 1 a 5, lo que indica que las interrupciones son muy poco frecuentes durante el invierno. En contraste, la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) asignó un valor de 3, evidenciando que en su caso las suspensiones son más recurrentes en esta temporada.

Al consultar sobre el comportamiento en la época seca, las valoraciones se invirtieron parcialmente: la ASADA de Tarbaca otorgó un 2, mientras que la ASADA Barrio San Rafael calificó con un 1. Esta diferencia se relaciona con las características técnicas de cada sistema, ya que Tarbaca cuenta con una planta de tratamiento que requiere ajustes operativos en verano, mientras que Barrio San Rafael depende exclusivamente de nacientes, lo que le permite mantener una mayor estabilidad en su servicio durante este periodo.

4.1.2.3. Medidas financieras para enfrentar variaciones climáticas.

En cuanto a las medidas financieras implementadas para adaptarse a condiciones climáticas extremas, las entrevistas evidenciaron estrategias diferenciadas entre las organizaciones. El presidente de la ASADA de Tarbaca, Franklin Segura, explicó que en los últimos años se han destinado recursos significativos a proyectos de captación y bombeo. Señaló que, durante la época seca, el acueducto recurre al bombeo de agua desde una quebrada localizada en el río Tarbaca y a otra fuente conocida como “Gallera 2”, cuyas conducciones suman aproximadamente 1,5 kilómetros. La inversión realizada en estos proyectos ronda los 150

millones de colones, monto que, según indicó, ha resultado determinante para garantizar el abastecimiento en los períodos de mayor escasez.

Por su parte, la presidenta de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), Estrella Cordero, señaló que las medidas financieras han implicado recortes drásticos de gastos operativos con el fin de disponer de recursos suficientes para obras prioritarias. Entre ellas, mencionó la construcción de nuevas captaciones, trabajos de filtrado y evaluaciones técnicas de la calidad del agua. Destacó que, en la práctica, los fondos disponibles se han concentrado casi exclusivamente en estas inversiones y en el pago del servicio del fontanero, limitando así la posibilidad de destinar presupuesto a otras áreas del acueducto.

4.1.2.4. Presupuestos e inversiones para variaciones climáticas extremas.

En relación con el rango de presupuestos destinados a enfrentar imprevistos vinculados con variaciones climáticas extremas y otras eventualidades relacionadas con el servicio de agua, tanto la ASADA de Tarbaca como la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) coincidieron en señalar que asignan aproximadamente un 10 % de sus ingresos mensuales a este rubro.

Al consultar sobre las finalidades principales de dichos recursos, ambos entrevistados mencionaron que el presupuesto se utiliza en su totalidad para atender necesidades urgentes del sistema, tales como reparación de fugas en tuberías, mejoras inmediatas de infraestructura, pago de servicios técnicos y de asesoría, así como implementación de sistemas de bombeo.

No obstante, se observaron diferencias en el uso complementario de estos fondos. En el caso de la ASADA de Tarbaca, se indicó que también se destinan recursos para el pago de horas extras a colaboradores y personal operativo adicional, así como para el alquiler de equipo pesado (Retroexcavadora) y movimientos de tierra cuando las condiciones lo requieren. En contraste, la ASADA Barrio San Rafael manifestó que sus recursos se concentran de manera exclusiva en las obras técnicas esenciales y no incluyen este tipo de gastos adicionales.

4.1.3. Medidas de adaptación más efectivas según tipología de acueducto

El tercer objetivo específico consistió en demostrar cuáles medidas de adaptación han resultado más efectivas según el tipo de acueducto y la fuente hídrica utilizada, de manera que se pueda establecer qué factores hacen más resiliente a una ASADA frente al cambio climático.

En este caso, los instrumentos fueron:

- Entrevistas semiestructuradas, que permitieron recoger percepciones sobre reducción del ANC, uso de información meteorológica, programas externos y participación comunitaria.
- Análisis documental, que sistematizó datos sobre fuentes inscritas/no inscritas y proyectos conjuntos.
- Observación directa, que verificó la existencia de sistemas de monitoreo, conservación de recargas y macromedición en campo.
- Tabla comparativa, que organizó la información de todas las ASADAS en función de su tipología (tamaño, fuente, régimen de operación), permitiendo hacer correlaciones y diferencias entre ellas.

Este conjunto de instrumentos facilitó no solo identificar medidas puntuales de adaptación, sino también compararlas entre organizaciones de distinta escala y capacidad, lo que aporta evidencia para comprender cómo las características internas de cada acueducto influyen en la efectividad de sus respuestas adaptativas.

4.1.3.1. Tipología de acueductos.

La tipología de los acueductos rurales de la zona de estudio no solo puede caracterizarse según su tamaño, población abastecida o régimen de operación, sino también a partir de la naturaleza y disponibilidad de las fuentes hídricas inscritas oficialmente. En este sentido, el análisis documental realizado en el Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH) permite observar la distribución de concesiones

otorgadas y en trámite en la microcuenca alta del río Jorco, lo cual brinda un panorama más amplio sobre el aprovechamiento del recurso en un territorio específico.

En total, se localizaron 59 concesiones de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas en el área de estudio. Estas se clasifican en cuatro tipos de fuentes: nacimientos, quebradas, ríos y acuíferos, registradas mediante coordenadas CRTM05. La información muestra que la mayoría de estas concesiones están destinadas al consumo humano, lo cual confirma la alta presión que enfrenta el recurso hídrico en la zona (SINIGIRH, 2025).

En cuanto al tipo de solicitante, los expedientes se agrupan en tres categorías: A (aguas superficiales, solicitados principalmente por privados), P (pozos vinculados a acuíferos) y R (acueductos rurales). Del total de registros, 28 concesiones corresponden a acueductos rurales (47,5 %), mientras que 31 concesiones (52,5 %) se encuentran en manos de usuarios privados o empresariales. Esta relación evidencia que el aprovechamiento de las fuentes no está limitado a las organizaciones comunales, sino que también existe una importante participación de actores privados en la explotación del recurso.

Este hallazgo resulta relevante porque, aunque los acueductos rurales son los principales responsables del abastecimiento a la población, la disponibilidad de fuentes hídricas se ve compartida y en cierta medida limitada por la cantidad de concesiones existentes en un mismo espacio hidrográfico. Asimismo, el registro de fechas recientes de otorgamiento de varias concesiones confirma que la presión sobre las fuentes continúa aumentando, lo que plantea desafíos adicionales para la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas comunales de abastecimiento. En la siguiente tabla podemos visualizar las fuentes inscritas utilizadas por los acueductos comunales en estudio.

Tabla 8 Concesiones registradas en el SINIGIRH pertenecientes a Acueductos.

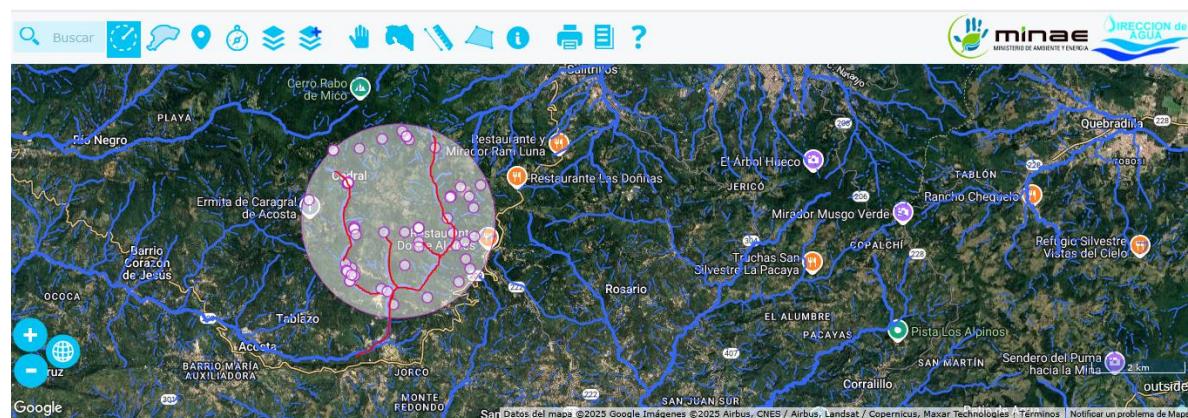
Acueducto	Tipo de fuente	Cantidad de tomas registradas	Observaciones

ASADA	Nacient	8	nacientes	Registros N-1 a N-3 Jiménez, N-5 Saborío, N-6
Vuelta	de	es	+	+
				1 a N-8 Suizo, N-9 Charla, N-10 Quillo; además
Jorco	quebrad	quebrada	captación	directa en el río Jorco. Alta
	a	(Río Jorco)		diversificación.
ASADA	Nacient	5		Registros NAC Echeverría, NAC 2 Arguedas,
Tarbaca	es			NAC 3 López, NAC 5 Hidalgo Q1, NAC
				Gallega Q2. Todas fuentes superficiales de
				manantial.
ASADA	Nacient	3		Registros en trámite: Naciente N°1 Valverde y
Barrio	San	es		nacientes N°2-3 Sánchez. Dependencia
Rafael (Bajos				exclusiva de manantiales.
de Praga)				

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, la siguiente imagen (Figura 1) presenta la representación cartográfica del área seleccionada en el SINIGIRH, en la que se aprecian los cauces de agua y la ubicación de las concesiones registradas, permitiendo visualizar de manera espacial la distribución de los aprovechamientos hídricos en la zona alta del río Jorco.

Figura 1 Concesiones de aprovechamiento hídrico en la zona alta del río Jorco



Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINIGIRH (2025).

La caracterización de los acueductos comunales en estudio muestra que ambos dependen principalmente de nacientes y quebradas como fuentes de abastecimiento, lo que confirma su fuerte dependencia de la recarga hídrica local y de las condiciones ambientales de la microcuenca. La naturaleza y cantidad de fuentes disponibles determinan no solo la capacidad hídrica de cada sistema, sino también su nivel de seguridad jurídica, dado que la inscripción oficial en el SINIGIRH constituye un requisito para garantizar el uso sostenible y regulado del recurso.

En la ASADA Tarbaca, se identificaron nueve fuentes de agua en total. De estas, cinco se encuentran inscritas en el SINIGIRH (Gallera 1, Echeverría, Patrocinio López, Marcos Hidalgo, entre otras), mientras que cuatro permanecen en proceso de inscripción (Catarata, Río Tarbaca, Carlos Castro y Gallera 2). Todas estas fuentes están localizadas dentro de la microcuenca del río Jorco, lo que sitúa al sistema en una relación directa de dependencia con esta unidad hidrográfica.

Por su parte, la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) depende exclusivamente de dos nacientes, ambas en proceso de inscripción ante el SINIGIRH (Naciente 1 Valverde y Naciente 2 Sánchez). Al igual que en el caso de Tarbaca, las captaciones se localizan dentro de la microcuenca alta del río Jorco, lo que implica que cualquier variación en la disponibilidad hídrica de este territorio impacta de manera inmediata su capacidad de abastecimiento.

La ASADA de Vuelta de Jorco de Aserrí administra un sistema de abastecimiento que depende de ocho fuentes naturales, clasificadas como nacimientos y quebradas según el registro del SINIGIRH. Estas fuentes se consideran formalmente inscritas, y constituyen la base del suministro comunal en la parte media-alta de la microcuenca del río Jorco. La presencia de múltiples nacimientos dentro de esta zona indica una disponibilidad natural de caudales.

Tabla 9. Clasificación de fuentes utilizadas en la microcuenca alta del río Jorco

ASADA	Tipo de Fuentes fuentes utilizadas	Fuentes inscritas (SINIGIRH)	Fuentes no inscritas / en trámite	Localización en microcuenca del río Jorco
-------	------------------------------------	------------------------------	-----------------------------------	---

Tarbaca	Nacientes y quebradas	5	4	Sí (todas)
Barrio San Rafael de Tarbaca (B. Praga)	Nacientes	0	2	Sí (todas)
Vuelta de Jorco	Nacimientos y quebradas	8	Se desconoce	Si (Zona media-alta)

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SINIGIRH y registros de ASADAS (2025).

4.1.3.2. Reducción de ANC y mejoras de eficiencia.

En relación con la eficiencia para reducir fugas y pérdidas de agua, los entrevistados asignaron valoraciones distintas en la escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a poca eficiencia y 5 a muy eficiente. La ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) calificó con un 3, indicando un nivel de eficiencia intermedio. Su presidenta, Estrella Cordero, explicó que esta valoración se debe al estado de las tuberías y medidores, muchos de los cuales han sobrepasado su vida útil. Señaló que las fisuras y reventaduras en la red de distribución son recurrentes y, al estar enterradas a profundidades considerables, no siempre se detectan con facilidad. Además, destacó la ausencia de micromedidores más modernos que permitan un control más preciso, lo que limita la capacidad de identificar fugas en tramos específicos de la red.

Por su parte, la ASADA de Tarbaca otorgó una calificación de 4, considerando que la atención de fugas en su sistema es relativamente eficiente. El presidente, Franklin Segura, indicó que las reparaciones suelen realizarse el mismo día o a más tardar al día siguiente de ser reportadas, salvo en casos de emergencias nocturnas que requieren esperar al ingreso del personal en la mañana. Señaló también que existe disposición del equipo operativo para dar respuesta inmediata siempre que sea posible, lo que permite mantener controlados los tiempos de atención a fugas y evitar pérdidas prolongadas de agua.

Respecto a las acciones implementadas para reducir el agua no contabilizada, los administradores señalaron medidas de control y monitoreo en sus respectivos sistemas. La presidenta de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), Estrella Cordero, indicó que se trabaja con un presupuesto de consumo por cliente, lo que permite identificar cuando un usuario presenta consumos excesivos. En estos casos, se contacta directamente a la familia para recomendar la revisión de tanques de servicio y conexiones internas, mientras que desde la ASADA se revisan tramos de tuberías, especialmente aquellas que se encuentran externas. Además, explicó que los medidores se cambian de manera periódica, particularmente cuando superan los 3000 metros cúbicos registrados, como estrategia para mejorar la precisión en el control del consumo.

En el caso de la ASADA de Tarbaca, su presidente, Franklin Segura, mencionó que el reemplazo de medidores con vida útil agotada constituye una de las principales acciones para reducir pérdidas. Añadió que en ciertos sectores se han instalado macromedidores para evaluar consumos específicos y detectar posibles fugas mediante la comparación de registros. Señaló también que esta práctica se complementa con un análisis continuo de los datos para identificar irregularidades y tomar decisiones sobre la localización de fugas o la necesidad de intervenciones en la red.

4.1.3.3. Estado de infraestructura observada en campo.

La observación de la infraestructura de los acueductos comunales permitió identificar avances y limitaciones en las medidas operativas de adaptación frente al cambio climático. En la ASADA de Tarbaca, se constató la existencia de infraestructura consolidada que evidencia esfuerzos en modernización y mantenimiento preventivo: tanques de almacenamiento en buen estado estructural, presencia de macromedidores en líneas principales y la incorporación de sistemas de monitoreo remoto para el control de caudales y pérdidas. Estas medidas constituyen evidencias tangibles de adaptación, ya que facilitan la gestión eficiente del recurso hídrico durante períodos de sequía y exceso de lluvia.

4.1.3.3.1. ASADA Tarbaca de Aserri: captaciones y fuentes.



Fuente: ASADA Tarbaca Aserrí, año 2024.

quebradas, que son conducidas por gravedad o mediante sistemas de impulsión hasta la planta de tratamiento. Asimismo, se evidencia la presencia de un subsistema dependiente de una naciente pequeña, lo que refleja la necesidad de diversificar fuentes para

La evaluación en campo de la infraestructura de la ASADA de Tarbaca permitió constatar tanto su complejidad como sus limitaciones frente a escenarios de cambio climático. El Croquis del sistema del Acueducto Tarbaca (Imagen 7) muestra la existencia de un entramado de múltiples

captaciones,

principalmente de



afrontar la época seca. No obstante, gran parte de estas captaciones tienen un carácter artesanal y requieren seguimiento constante, lo que las hace vulnerables, en especial considerando que varias de ellas aún no se encuentran inscritas oficialmente en el MINAE.

Una de las fuentes más representativas es la Captación Gallería 1 (Imagen 8), inscrita formalmente y considerada estratégica por la ASADA. Esta captación, con más de 20 años de existencia, muestra signos de vulnerabilidad: durante episodios de lluvias intensas la caja de reunión se satura rápidamente. En la Imagen 9. Captación Gallería 1 (parte superior) se observa la cobertura con sarán utilizada para



mitigar la entrada de sedimentos y escorrentía en temporada lluviosa, mientras que la Imagen 10. Ingreso a Captación Gallería 1 evidencia las dificultades de acceso, requiriendo que el personal operativo utilice cuerdas en pendientes de hasta 4 metros para su mantenimiento.





11

Otras captaciones de carácter artesanal también reflejan la necesidad de intervenciones de mejora. La Captación en quebrada Tarbaca (Imagen 11), construida con sacos de arena y piedra, desaparece casi por completo luego de las lluvias, obligando al personal a reinstalarla antes del inicio de la estación seca para garantizar el abastecimiento. En contraste, la Captación en quebrada Marcos Hidalgo (Imagen 12) presenta un diseño más robusto, con un sistema que retiene sedimentos y una cobertura con sarán para reducir la entrada de materia orgánica.



12

La Captación de la naciente Memo Arguedas (Imagen 13) destaca por contar con un diseño más consolidado: estructura de cerámica cubierta y malla de protección perimetral que limita el acceso de personas externas. No obstante, pese a su buen estado constructivo, esta naciente es una de las de menor caudal en la ASADA, y en verano presenta una marcada vulnerabilidad por la reducción significativa de su aporte hídrico.



13

4.1.3.3.2. ASADA Tarbaca de Aserrí: tanques de almacenamiento y otros.

La evaluación de los tanques de almacenamiento de la ASADA de Tarbaca permitió constatar un estado general favorable, con estructuras que, pese a su antigüedad, se mantienen funcionales y con capacidad suficiente para sostener la operación del sistema.

En la Imagen 14. Tanque Quiebragradiente “A Cedral”, se observa una estructura recubierta con cerámica, hermetizada y en buenas condiciones, lo que garantiza la protección del recurso frente a filtraciones externas o contaminación superficial. Este tanque, con una capacidad aproximada de 400 m³, es el más grande del acueducto y, a pesar de haber sido construido en el año 2002, continúa cumpliendo satisfactoriamente su función de almacenamiento y regulación de caudales.



14

Por su parte, los tanques de El Torno (Imagen 15) y el tanque Japonés (Imagen 16), ambos de concreto, presentan un estado aceptable, aunque con algunas fisuras menores en las paredes de El Torno que requieren seguimiento preventivo para evitar filtraciones o deterioro estructural a mediano plazo. El tanque Japonés, considerado estratégico por su ubicación y porque abastece al mayor número de abonados de la ASADA, mantiene condiciones adecuadas para la operación, aunque su antigüedad sugiere la necesidad de establecer planes de mantenimiento periódico más rigurosos. Se identificó que la ASADA de Tarbaca cuenta con más de 20 quiebragradientes distribuidos en distintos



puntos del sistema de conducción. Estas estructuras cumplen funciones claves de regulación hidráulica, ya que en algunos casos integran válvulas de control de presión, mientras que en otros operan como pequeños reservorios con controles de boya que permiten manejar caudales intermitentes.

El adecuado funcionamiento de los quiebragradientes representa una ventaja operativa, dado que disminuye la presión en las tuberías, reduce el riesgo de reventaduras y, en los casos en que se acumula agua, actúa como un punto de almacenamiento intermedio que brinda cierta flexibilidad en la operación. Sin embargo, su gran número y la diversidad de diseños implican un desafío adicional en cuanto a mantenimiento preventivo, inspección periódica y estandarización de materiales.

En conjunto, la presencia de este número significativo de quiebragradientes confirma la complejidad técnica del sistema de Tarbaca y aporta evidencia de las medidas implementadas para regular el servicio en un terreno montañoso. No obstante, la heterogeneidad en su estado y diseño señala la necesidad de avanzar hacia planes de modernización y homogenización que garanticen su efectividad como medida de adaptación ante escenarios de mayor variabilidad climática.

4.1.3.4. Implementación de sistemas de monitoreo y reducción de ANC y tecnologías para la adaptabilidad climática.

La implementación de sistemas de monitoreo y tecnologías de control constituye una de las estrategias más relevantes para mejorar la eficiencia en el uso del agua en acueductos comunales y, al mismo tiempo, fortalecer su capacidad de adaptación frente al cambio climático. La reducción del Agua No Contabilizada (ANC), el seguimiento continuo de caudales y la vigilancia de tanques y plantas en tiempo real son medidas que permiten a las organizaciones anticipar escenarios críticos, ya sea por sequías prolongadas o lluvias extremas, y tomar decisiones oportunas para mantener la continuidad del servicio.

En este sentido, la observación en campo permitió identificar diferencias notables entre las ASADAS estudiadas: mientras Tarbaca ha incorporado tecnologías modernas como macromedición ultrasónica, monitoreo remoto y estaciones meteorológicas.

4.1.3.4.1. ASADA DE TARBACA: macromedición.



17

En la ASADA de Tarbaca se verificó la implementación de tecnologías que representan avances significativos en la gestión de la eficiencia operativa y en la capacidad de adaptación frente a la variabilidad climática. Actualmente, el sistema cuenta con cuatro macromedidores instalados en puntos estratégicos de la red de conducción y almacenamiento, lo que permite un control detallado del caudal producido y distribuido. En la Imagen 17. Macromedidor de 6 pulgadas a la salida del Tanque Japonés, se observa un macromedidor ultrasónico de alta precisión que registra



18



19

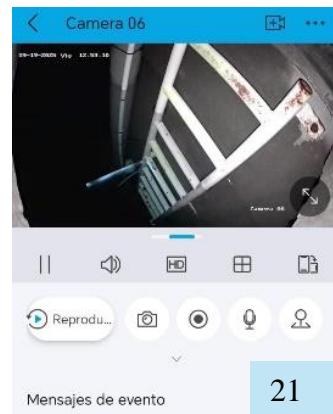
mensualmente los niveles de Agua No Contabilizada (ANC), facilitando la toma de decisiones técnicas y administrativas sobre fugas o pérdidas en el sistema. En la Imagen 18 “Macromedidor 2 pulgadas ramal de Calle al Altavista”, y en la Imagen 19 “Macromedidor 4 pulgadas ramal de Calle Tarbaca Centro” se muestran las ubicaciones y la infraestructura para colocar los macromedidores en diferentes partes del Acueducto.

4.1.3.4.2. ASADA DE TARBACA: monitoreo remoto.



20

La modernización tecnológica también se extiende al área de vigilancia remota. En la Imagen 20. Cámaras en tiempo real en la Planta de Tratamiento, se aprecia el sistema de monitoreo digital que permite a los fontaneros, al administrador y a la junta directiva visualizar desde sus teléfonos celulares el estado actual de la planta, incluyendo condiciones de lluvia y eventos que puedan afectar la operación. Esta herramienta se complementa con el seguimiento del almacenamiento: en la Imagen 21. Cámara en tiempo real del nivel del Tanque Japonés, se observa cómo se controla de manera continua el nivel de agua. Este mecanismo se convierte en un insumo crucial durante la época seca, ya que permite anticipar decisiones como la programación de cierres o la comunicación preventiva a la población sobre cambios en el abastecimiento.



21

4.1.3.4.3. ASADA Tarbaca de Aserri: monitoreo climático.



22

Adicionalmente, la ASADA cuenta con una estación meteorológica propia (Imagen 22), cuyos registros se visualizan en la Imagen 23. Datos de la estación meteorológica (ASADAS). Este dispositivo proporciona variables como lluvia, temperatura y presión barométrica, que son claves para anticipar cambios en la turbiedad y programar ajustes en la operación de la planta. El acceso remoto a esta información, disponible incluso en teléfonos móviles, ha permitido a la ASADA mejorar su capacidad de planificación y control operativo, particularmente en lo referente al manejo de piletas de sedimentación y válvulas de ingreso de agua en condiciones de alta turbiedad.



23

4.1.3.5. Diversificación de fuentes hídricas.

Al consultar a los representantes de las ASADAS sobre la búsqueda de nuevas fuentes de agua, ambos confirmaron que mantienen proyectos orientados a ampliar su disponibilidad dentro de la microcuenca del río Jorco. El presidente de la ASADA de Tarbaca, Franklin Segura, indicó que la organización se encuentra valorando principalmente la perforación de pozos como alternativa para complementar el sistema actual que depende de la quebrada Río Tarbaca. Señaló que esta decisión responde a la presión creciente sobre los recursos hídricos de la zona, dado que otros cantones cercanos también aprovechan caudales de la misma cuenca.

Por su parte, la presidenta de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), Estrella Cordero, explicó que la estrategia en curso consiste en captar nuevas nacientes y reforzar acciones de reforestación, con el objetivo de prolongar al máximo la disponibilidad del recurso en su área de influencia. Añadió que estas medidas se desarrollan en la misma zona de la microcuenca del río Jorco, lo que garantiza la continuidad territorial de sus fuentes actuales.

4.1.3.6. Acceso y uso de información meteorológica.

El acceso a información climática local se traduce en una mejor planificación de las operaciones. Los sistemas que utilizan datos de estaciones cercanas logran anticipar racionamientos o reforzar medidas de tratamiento en función de las proyecciones de lluvia y temperatura, confirmando que la información científica es un insumo clave para la gestión adaptativa.

En cuanto a la disponibilidad de información climática para apoyar la gestión operativa, se consultó a los representantes de las ASADAS si cuentan con acceso a los datos generados por la estación meteorológica de su zona. Tanto la ASADA de Tarbaca como la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) respondieron afirmativamente, indicando que sí disponen de estos registros. Este acceso constituye un insumo para la planificación de

acciones relacionadas con la operación del acueducto y la toma de decisiones frente a escenarios de variabilidad climática.

4.1.3.7. Planes y programas de adaptación (GIRA, PSA, BAE, Observatorios).

La incorporación de planes de gestión integral de riesgos y participación en iniciativas comunitarias como Bandera Azul o los observatorios de cuencas, fortalece la capacidad institucional de las ASADAS y amplía su margen de respuesta ante escenarios climáticos extremos.

La consulta sobre la participación en programas y la implementación de planes de adaptación permitió identificar diferencias entre las ASADAS entrevistadas. Tanto la ASADA de Tarbaca como la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) señalaron estar inscritas en el Programa Sello de Calidad Sanitaria de la ARESEP. Sin embargo, únicamente la ASADA de Tarbaca indicó formar parte de iniciativas adicionales, entre ellas el Programa Bandera Azul Ecológica y el Sello de Calidad Sanitaria del AyA.

Asimismo, la ASADA de Tarbaca reportó contar con un Plan de Gestión Integral de Riesgos en Acueductos (GIRA) y un Plan de Reducción de Agua No Contabilizada (PRANC), mientras que la ASADA Barrio San Rafael no mencionó la existencia de planes de este tipo. Cabe destacar que ninguna de las dos organizaciones cuenta con un Plan de Seguridad del Agua (PSA), lo que evidencia la ausencia de este instrumento específico en el ámbito comunal evaluado.

4.1.3.8. Participación en organizaciones asociativas.

La participación de las comunidades en estructuras asociativas o programas de voluntariado constituye un elemento que incide en la capacidad de los acueductos comunales para fortalecer sus estrategias de conservación y adaptación. Al consultar a las ASADAS entrevistadas sobre su pertenencia a organizaciones de este tipo, tanto la ASADA de Tarbaca como la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) manifestaron que forman parte de la Federación de ASADAS de Aserrí. Esta afiliación representa un espacio de

integración entre sistemas comunitarios que permite compartir experiencias, coordinar acciones y canalizar apoyos técnicos relacionados con la gestión del recurso hídrico.

4.1.3.9. Participación comunitaria en la gestión hídrica.

En cuanto al impacto de la participación comunitaria en los procesos de adaptación ante el cambio climático, se solicitó a los entrevistados valorar este aspecto en una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a un impacto casi nulo y 5 a un impacto relevante. La ASADA de



ámbito.

Tarbaca otorgó una calificación de 1, señalando que la participación comunitaria ha tenido un papel reducido en la gestión de la adaptación. Por su parte, la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) asignó un valor de 3, lo que refleja una percepción de impacto intermedio en este

En la imagen 24, Campaña de reforestación finca de la ASADA Tarbaca (2024), se registra una modalidad de participación comunitaria que en este Acueducto se da de manera muy ocasional, aquí en esta ubicación se siembran árboles autóctonos con la organización Asociación Amigos por la Naturaleza (ASANA) y algunos vecinos de Tarbaca, en la finca protegida de dicho Acueducto.

4.1.3.10. Presupuestos e inversiones para la adaptación ante el cambio climático.

Respecto a la ejecución de recursos financieros orientados a la adaptación frente al cambio climático durante el periodo 2023–2025, las entrevistas permitieron identificar diferentes finalidades. La ASADA de Tarbaca indicó que dispone de un pequeño presupuesto destinado a actividades de educación ambiental, particularmente mediante charlas dirigidas a escuelas

de la comunidad, como parte de los esfuerzos para sensibilizar a la población infantil en temas de uso racional del agua y protección de fuentes.

Por su parte, la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) señaló que sus recursos se han dirigido principalmente a mejoras en infraestructura de conducción, debido a que cuentan con un tramo de aproximadamente dos kilómetros de tubería de PVC expuesta que resulta vulnerable a daños durante las lluvias intensas. En este sentido, se ha planificado la sustitución completa de dicha tubería como medida preventiva. Además, mencionaron actividades de siembra de árboles en coordinación con la escuela local, donde los niños participan en jornadas de reforestación con apoyo logístico de la ASADA.

4.1.3.11. Percepción de la disponibilidad de agua futura.

Ante la consulta sobre cómo perciben el escenario futuro respecto a la disponibilidad de agua y la emisión de constancias, los miembros de junta expresaron preocupaciones relacionadas con el cambio climático y la presión creciente sobre los recursos. La presidenta de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), Estrella Cordero, manifestó que, de mantenerse las condiciones actuales, se espera contar con menos agua disponible en los próximos años, debido no solo a la variabilidad climática sino también al desperdicio del recurso, la falta de concientización comunitaria y el crecimiento poblacional.

Por su parte, el presidente de la ASADA de Tarbaca, Franklin Segura, explicó que el escenario futuro depende en gran medida de la capacidad de las juntas directivas para contar con recursos financieros suficientes que permitan realizar inversiones en nuevas fuentes, principalmente perforación de pozos. Señaló que este tipo de proyectos resultan altamente costosos y conllevan riesgos de fracaso, ya que no existe garantía de caudales productivos en cada exploración. Añadió que, según los pronósticos percibidos a nivel local, se espera que las sequías sean cada vez más frecuentes e intensas, lo que dificultará aún más la disponibilidad de agua para consumo humano y la posibilidad de otorgar nuevas constancias de disponibilidad.

Con el fin de conocer la opinión de los administradores respecto a la emisión de constancias de disponibilidad de agua, se consultó si estas deberían incorporar explícitamente al cambio

climático como un factor que incide en la calidad y continuidad del servicio a futuro. Tanto la ASADA de Tarbaca como la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga) respondieron afirmativamente, señalando que las variaciones climáticas locales deben ser reconocidas en estos documentos.

Los entrevistados destacaron que la vigencia de las constancias, que actualmente oscila entre 12 y 24 meses, transcurre en un contexto donde las condiciones climáticas pueden cambiar de manera significativa en periodos relativamente cortos. Esta situación, según expresaron, puede afectar directamente la capacidad real de los sistemas comunales para sostener el abastecimiento proyectado en dichas constancias.

4.1.3.12. Recomendaciones de las ASADAS para enfrentar el cambio climático

El presidente de la ASADA de Tarbaca, Franklin Segura, enfatizó la importancia de proteger las zonas de recarga de las nacientes, evitando su contaminación y promoviendo la reforestación como medida de largo plazo. Señaló que este tipo de acciones requieren tiempo para mostrar resultados, pero constituyen una inversión necesaria para garantizar la sostenibilidad del recurso. También destacó la necesidad de fomentar la conciencia en el consumo racional del agua, evitando el desperdicio y priorizando el uso esencial del recurso.

Por su parte, la presidenta de la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca (Bajos de Praga), Estrella Cordero, subrayó que la reforestación debe realizarse con especies específicas e idóneas para garantizar que contribuyan efectivamente a la recarga hídrica. Añadió que la prevención de la contaminación en áreas cercanas a las fuentes es fundamental, ya que actividades agrícolas o industriales ubicadas incluso a un kilómetro de distancia pueden afectar la calidad del agua que llega a las captaciones comunales.

4.1.3.13. Comparaciones entre ASADAS

La comparación sistemática de las dimensiones analizadas revela que las diferencias en escala operativa y capacidad económica generan brechas significativas en resiliencia climática entre acueductos comunales, incluso cuando comparten el mismo territorio hidrográfico y enfrentan presiones climáticas similares. La ASADA Tarbaca, con ingresos

5,4 veces superiores y 6,8 veces más conexiones que Barrio San Rafael, ha logrado desarrollar un sistema de abastecimiento con mayor complejidad técnica, diversificación de fuentes (9 vs 2), tecnologías avanzadas de monitoreo y capacidad de respuesta más ágil ante emergencias. Esta ventaja se traduce en indicadores concretos: 67 disponibilidades otorgadas en el período estudiado (aunque en descenso), eficiencia de 4/5 en control de fugas, y participación en 6 programas institucionales de fortalecimiento.

Tabla 10 Comparación integral de hallazgos por ASADA estudiada

DIMENSIÓN	FACTOR	ASADA TARBACA	ASADA (BAJOS DE PRAGA)	BARRIO RAFAEL
CARACTERIZACIÓN BÁSICA	Conexiones activas	840	123	
	Población atendida	2.950 habitantes (aprox.)	200 habitantes	
	Ingresos mensuales	₡7.800.000 promedio	₡1.450.000	
	Ingresos anuales	₡93.600.000 estimados	₡17.400.000	
	Rango tarifario	Con sello regulatorio ARESEP	Sin sello regulatorio (301-1000 abonados)	
DISPONIBILIDAD HÍDRICA	Caudal promedio aforado (2023-2025)	Variable: 9,58- 36,95 L/s	9,58- 36,95 L/s	No disponible
	Balance hídrico	Déficit: -6,36 L/s	Sin estudio técnico validado	
	% Agua No Contabilizada (ANC)	33%	Sin dato calculado	
	Meses críticos identificados	Mayo-junio (época seca)	Época seca en general	
	Total de fuentes	9	2	

FUENTES DE ABASTECIMIENTO	Fuentes inscritas	5	0 (ambas en trámite)
	SINIGIRH		
	Fuentes en trámite	4	2
	Tipos de fuentes	Nacientes y quebradas	Nacientes exclusivamente
	Ubicación en microcuenca Jorco	Todas dentro	Todas dentro
DISPONIBILIDADES OTORGADAS (2023-2025)	Total solicitudes	111	No disponible
	Aprobadas	67 (60% del total)	No disponible
	Rechazadas/en espera	44 (40% del total)	No disponible
	Resoluciones administrativas	En Lista de espera sin fecha definida.	En restricciones hasta finalizar proyectos de nuevas fuentes en Apertura de gestión. solicitudes para bono de vivienda.
IMPACTO CLIMÁTICO	Valoración de impacto (escala 1-5)	5 (impacto muy alto)	5 (impacto muy alto)
PERCIBIDO	Principal amenaza identificada	Sequía prolongada más turbiedad en invierno	Sequía exclusivamente
	Continuidad en época lluviosa (1-5)	1 (pocas interrupciones)	3 (interrupciones moderadas)
	Continuidad en época seca (1-5)	2 (interrupciones ocasionales)	1 (baja interrupción)
MEDIDAS OPERATIVAS	Eficiencia reducción ANC (1-5)	4 (alta eficiencia)	3 (eficiencia media)
	Acciones principales	Macromedición, reparaciones	Control presupuestario por abonado, cambio de medidores

			rápidas, monitoreo remoto	
	Tiempo respuesta a fugas	Mismo día o siguiente	Variable (limitado por recursos)	
INFRAESTRUCTURA OBSERVADA	Estado de tanques	Bueno (cerámicos, hermetizados)	Básico funcional	
	Macromedición instalada	Sí macromedidores)	(4	No
	Monitoreo en tiempo real	Sí (cámaras en planta y tanques)	No	
	Quiebragradientes en sistema	Más de 20 estructuras	Sin dato	
	Estado general captaciones	Variable (artesanales vulnerables más consolidadas)	Básico, vulnerabilidad	con
TECNOLOGÍA ADAPTACIÓN	Y Estación meteorológica	Sí (operativa desde 2024)	(operativa desde 2024)	No
	Acceso a datos climáticos	Sí	Sí	
MEDIDAS FINANCIERAS	% ingresos destinado a emergencias climáticas	10%	10%	
	Destino principal recursos	Bombeo, captaciones, maquinaria, horas extra	Obras básicas, reforestación, fontanero	
	Capacidad de inversión para la adaptación	Alta	Baja	

PLANES PROGRAMAS	Y	Plan GIRA	Sí	No
		Plan PRANC	Sí	No
		Plan PSA	No	No
	Bandera	Azul	Sí	No
	Ecológica			
	Sello	Calidad	Sí	Sí
		ARESEP		
		Sello Calidad AyA	Sí	No
PARTICIPACIÓN ASOCIATIVIDAD	Y	Pertenece a una Federación	Sí	Sí
		ASADAS		
		Otras organizaciones	ASANA (reforestación ocasional)	Coordinación con escuela local
		Impacto de participación comunitaria (1-5)	1 (baja)	3 (media)
PROYECCIÓN FUTURA	Búsqueda nuevas fuentes	Sí (perforación de pozo)	Sí (nuevas nacientes)	
	Percepción disponibilidad futura	Pesimista (sequías más frecuentes)	Pesimista (menos agua disponible)	
	Cambio climático en constancias	Debe incluirse explícitamente	Debe incluirse explícitamente	
RECOMENDACIONES PRINCIPALES	Estrategias sugeridas	Protección zonas recarga, reforestación, conciencia en consumo	Reforestación con especies idóneas, prevención	

Fuente: Elaboración propia.

El análisis comparativo integral confirma que la capacidad de adaptación ante el cambio climático en acueductos comunales está fuertemente condicionada por la escala operativa y

los recursos económicos disponibles, aunque no exclusivamente. La ASADA Tarbaca, con ingresos 5,4 veces superiores a Barrio San Rafael, demuestra mayor resiliencia mediante diversificación de fuentes (9 vs 2), tecnologías avanzadas de monitoreo y eficiencia operativa superior (4/5 vs 3/5 en reducción de ANC). Sin embargo, ambos sistemas comparten vulnerabilidades estructurales críticas: ausencia de Planes de Seguridad del Agua, dependencia exclusiva de ingresos tarifarios, percepción pesimista unánime sobre disponibilidad futura, y convicción de que las constancias deben incorporar explícitamente el factor climático.

La coincidencia en destinar aproximadamente 10% de ingresos a emergencias climáticas sugiere un umbral mínimo reconocido de inversión adaptativa, aunque con alcances diferenciados: macromedición ultrasónica y estaciones meteorológicas en Tarbaca versus obras básicas de supervivencia en Barrio San Rafael. Paradójicamente, este último mantiene mayor participación comunitaria (3/5 vs 1/5) y menos interrupciones en época seca, evidenciando que efectividad adaptativa trasciende recursos económicos e integra factores organizacionales y de gestión comunitaria. La ausencia de datos de la ASADA de Vuelta de Jorco refleja debilidades generalizadas en sistematización de información operativa, barrera invisible pero determinante para la gestión adaptativa efectiva.

En conjunto, las comparaciones realizadas permiten observar que, aunque ambas ASADAS enfrentan un contexto común de variabilidad climática, su capacidad de respuesta y adaptación es diferente. La ASADA de Tarbaca, con mayor escala de operación, recursos económicos más amplios y acceso a tecnologías avanzadas, presenta mejores condiciones para sostener medidas de adaptación a largo plazo. Por el contrario, la ASADA Barrio San Rafael depende en gran medida de la gestión comunitaria y de recursos externos, lo que limita su margen de maniobra y la hace más vulnerable frente a escenarios de sequía prolongada o lluvias extremas.

Los hallazgos obtenidos también muestran que la variabilidad climática de los últimos años ha generado impactos diferenciales en la disponibilidad hídrica de los acueductos comunales estudiados, evidenciando la importancia de fortalecer las capacidades técnicas y organizativas de las ASADAS. Estos resultados se alinean con los instrumentos nacionales

de adaptación, particularmente con el Plan Nacional de Adaptación ante el Cambio Climático (PNACC), que enfatiza la necesidad de integrar la información climática en la planificación local, y con la Tarifa de Protección del Recurso Hídrico (TPRH), que busca financiar medidas de eficiencia hídrica y conservación de zonas de recarga. Asimismo, las acciones observadas en las ASADAS coinciden con los enfoques promovidos por los Planes de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRA) y los Programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), los cuales resaltan la protección del bosque y la diversificación de fuentes como estrategias clave de resiliencia. De esta manera, la discusión de resultados confirma que la adaptación en acueductos comunitarios debe abordarse desde un enfoque integrado técnico–ambiental–organizacional, articulado con las políticas públicas vigentes.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

La presente investigación logró cumplir satisfactoriamente con el objetivo general de evaluar el impacto del cambio climático en la capacidad hídrica de acueductos comunales con aprovechamientos en la zona alta de la cuenca del río Jorco durante 2023-2025, analizando la disponibilidad de caudal para nuevas conexiones y la efectividad de medidas de adaptación implementadas por estas organizaciones de base comunal. Este cumplimiento del objetivo general se materializó mediante el desarrollo exitoso de los tres objetivos específicos planteados, cada uno de los cuales aportó dimensiones complementarias de análisis que permitieron construir una comprensión integral del fenómeno estudiado.

El desarrollo metodológico de la investigación enfrentó desafíos significativos relacionados con la disponibilidad y sistematización de información en los acueductos comunales seleccionados, desafíos que revelan limitaciones estructurales del modelo de gestión comunitaria en materia de documentación técnica y transparencia informativa. La ASADA de Vuelta de Jorco, aunque constituye un sistema más grande y complejo con personal operativo y administrativo formalmente contratado, determinó mediante comunicación oficial brindar la información solicitada sin establecer plazos definidos y con restricciones explícitas por considerar ciertos datos como "sensibles", situación que imposibilitó su incorporación sustantiva en el análisis comparativo pese a haber sido incluida inicialmente en el diseño muestral.

La ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca mostró disposición para colaborar mediante la apertura de espacios de diálogo y la realización de entrevistas y observación en campo, lo que permitió obtener información útil sobre las estrategias de adaptación aplicadas por un sistema pequeño con recursos limitados. Sin embargo, los registros técnicos solicitados no fueron entregados en los plazos establecidos. Esta situación genera dudas sobre si la ausencia de datos responde a limitaciones en la organización y actualización de información operativa, aspecto frecuente en acueductos de menor escala, o si se relaciona con la capacidad

administrativa disponible, ya que la ASADA no cuenta con personal dedicado exclusivamente a estas tareas.

En contraste, la ASADA Tarbaca entregó de manera completa la información solicitada, incluyendo registros históricos de aforos, balances hídricos, disponibilidades emitidas, estados financieros y documentación técnica sistematizada. Además, facilitó entrevistas con su junta directiva y permitió la observación directa de la infraestructura y de las fuentes de abastecimiento. A esto se sumó el acceso a los datos de la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional en Cerro Burío y de la estación instalada por la Federación de ASADAS del Cantón de Aserrí en sus instalaciones, lo que permitió correlacionar variables climáticas locales con los registros de caudal más recientes. Esta disponibilidad de información fue determinante para cumplir los objetivos del estudio y evidencia que la colaboración efectiva entre investigadores y organizaciones comunitarias se fortalece cuando existen capacidades institucionales para organizar datos operativos y una cultura organizacional orientada a la transparencia.

1) Conclusión de los hallazgos dilucidados para el primer objetivo.

En relación con el primer objetivo específico, centrado en evaluar el impacto del cambio climático en el caudal disponible para otorgar nuevas disponibilidades durante el período 2023–2025, los resultados muestran evidencia clara de que la variabilidad climática provoca reducciones significativas en la disponibilidad hídrica, afectando directamente la capacidad de los acueductos para sostener la expansión del servicio. Los 33 meses de registros de aforos en la ASADA Tarbaca evidencian fluctuaciones importantes, con valores que van desde 9,58 L/s en junio de 2024 hasta 36,95 L/s en noviembre de 2023. Estas variaciones superan los rangos estacionales habituales y se relacionan con patrones de precipitación irregular y temperaturas elevadas registradas en las estaciones meteorológicas de la zona. El déficit hídrico de -6,36 L/s se refleja en la disminución de disponibilidades aprobadas a partir de 2024, lo que confirma que el impacto climático no solo afecta la operación cotidiana del acueducto, sino que también limita el desarrollo territorial y el acceso al agua en las comunidades rurales.

La correlación observada entre precipitación mensual, temperatura máxima y caudales aforados confirma relaciones esperadas teóricamente, pero poco documentadas con datos empíricos en acueductos comunales de Costa Rica. Los registros muestran que acumulados de precipitación superiores a 400 mm mensuales generan aumentos sostenidos en los caudales, con un desfase aproximado de uno a dos meses, lo que resalta la importancia de una recarga subterránea continua. En contraste, los períodos con temperaturas máximas superiores a 27 °C se asocian de manera consistente con caudales mínimos por debajo de 15 L/s, reflejando el efecto combinado de la evapotranspiración y la falta de lluvia.

La contribución de los datos técnicos objetivos y percepciones cualitativas de miembros de junta directiva fortalece significativamente la validez de estos hallazgos sobre impacto climático. La valoración unánime de 5/5 en impacto muy alto otorgada por representantes de ambas ASADAS entrevistadas coincide plenamente con evidencia cuantitativa de reducción de caudales y restricciones en disponibilidades, demostrando que gestores locales poseen conocimiento y experiencia muy precisa sobre magnitud del fenómeno climático que se traduce en percepciones alineadas con mediciones técnicas. Esta triangulación resulta especialmente significativa porque valida la confiabilidad del conocimiento local como fuente de información sobre cambios ambientales en contextos donde sistematización de registros técnicos es limitada.

2) Conclusión de los hallazgos dilucidados para el segundo objetivo.

Respecto al segundo objetivo específico, orientado a categorizar las medidas administrativas, operativas y financieras más relevantes ejecutadas por cada acueducto durante el período de estudio, los hallazgos revelan diferencias sustanciales condicionadas por escala operativa y capacidad económica institucional. La ASADA Tarbaca, con ingresos anuales de ₡93,6 millones que quintuplican los de Barrio San Rafael, ejecutó inversiones estratégicas de alto impacto incluyendo infraestructura compleja de captación y bombeo valorada en ₡150 millones, implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo con 4 macromedidores digitales y sistema de vigilancia remota con cámaras en tiempo real, diversificación mediante 9 captaciones operativas, y capacidad de respuesta inmediata a emergencias con recursos propios para alquiler de maquinaria especializada y contratación de servicios técnicos. En

contraste, la ASADA Barrio San Rafael con ₩17,4 millones anuales concentra recursos en medidas esenciales de supervivencia operativa: obras básicas como sustitución de 2 km de tubería expuesta, actividades de reforestación comunitaria de bajo costo mediante coordinación con escuelas locales, y gestión reactiva ante emergencias sin margen para inversiones preventivas significativas.

La coincidencia de ambos sistemas en destinar aproximadamente 10% de ingresos mensuales a atención de contingencias climáticas resulta particularmente reveladora porque sugiere existencia de un umbral mínimo percibido de inversión en adaptación que acueductos comunales reconocen como indispensable independientemente de su tamaño. Este criterio empírico compartido, que representa aproximadamente ₩780.000 mensuales para Tarbaca y ₩145.000 para Barrio San Rafael, emerge de experiencia acumulada más que de lineamientos técnicos formales o recomendaciones institucionales externas, evidenciando que gestores comunitarios han desarrollado conocimiento tácito sobre niveles mínimos de recursos necesarios para mantener operatividad ante variabilidad climática. Sin embargo, la traducción de este porcentaje similar en capacidades adaptativas sustancialmente diferentes confirma que equidad en asignación presupuestaria relativa no genera equidad en resiliencia absoluta cuando bases económicas son radicalmente desiguales.

Las medidas operativas implementadas también revelan diferencias significativas de efectividad según capacidad técnica instalada. La ASADA Tarbaca calificó con 4/5 su eficiencia para controlar fugas, respaldada por macromedición que permite identificación más precisa de las pérdidas de agua y capacidad de respuesta en menos de 24 horas mediante personal operativo permanente, mientras la ASADA Barrio San Rafael asignó 3/5, señalando limitaciones por tuberías antiguas y ausencia de micromedidores modernos que impiden detección temprana de fugas subterráneas. Esta brecha en eficiencia operativa se amplifica durante períodos de disminución hídrica, cuando sistemas con tecnologías avanzadas pueden optimizar uso del recurso escaso mediante gestión predictiva y control hidráulico preciso, mientras sistemas con infraestructura básica deben recurrir a medidas reactivas como racionamientos generalizados que afectan equitativamente a toda la población sin discriminar entre usuarios eficientes e ineficientes.

3) Conclusión de los hallazgos dilucidados para el tercer objetivo.

En cuanto al tercer objetivo específico, orientado a demostrar las medidas de adaptación más efectivas según tipo de acueducto y fuente hídrica considerando percepción de administradores y juntas directivas, los hallazgos confirman que efectividad adaptativa resulta de interacción compleja entre factores estructurales que incluyen escala poblacional, diversificación de fuentes, régimen de operación, capacidad económica y nivel tecnológico alcanzado. La ASADA Tarbaca ejemplifica que la combinación estratégica de 9 captaciones incluyendo nacientes con flujo base estable y quebradas con aportes estacionales variables, complementadas con bombeo desde río Tarbaca que garantiza suministro en períodos críticos, infraestructura de almacenamiento robusta y participación en programas institucionales como GIRA, PRANC, Bandera Azul y Sellos de Calidad que proporcionan acceso a recursos técnicos y reconocimiento formal.

Sin embargo, el análisis también revela que gestión comunitaria intensiva puede compensar parcialmente limitaciones estructurales mediante movilización de capital social y participación. La ASADA Barrio San Rafael, pese a restricciones financieras severas y dependencia de apenas 2 nacientes no inscritas, mantiene participación comunitaria valorada en 3/5 versus 1/5 en Tarbaca, manifestada en jornadas de reforestación con escuelas, visitas domiciliarias para concientización en uso racional y movilización de trabajo voluntario para mantenimiento preventivo. Esta mayor intensidad participativa sugiere que sistemas pequeños desarrollan estrategias adaptativas basadas en cohesión comunitaria que complementan inversiones técnicas formales, generando resiliencia mediante vías alternativas al financiamiento institucional.

La constatación de que ambas ASADAS perciben el futuro con pesimismo unánime pese a diferencias sustanciales en recursos y capacidades revela una percepción compartida de vulnerabilidad creciente que trasciende diferencias objetivas de capacidad adaptativa. Esta convergencia en expectativas negativas puede generar consecuencias operativas concretas incluyendo desmotivación de liderazgos comunitarios, dificultades para planificación a mediano plazo y reluctancia para invertir recursos limitados en medidas adaptativas cuyos resultados se perciben como insuficientes frente a magnitud del desafío climático anticipado.

Los gestores entrevistados coinciden en que constancias de disponibilidad deberían incorporar explícitamente el factor climático como variable que incide en calidad y continuidad del servicio a futuro, reconociendo que vigencia actual de 12-24 meses y el uso de agua transcurre en contexto donde condiciones climáticas pueden cambiar significativamente en períodos cortos, sugiriendo necesidad de reformas normativas que actualicen instrumentos administrativos para reflejar nueva realidad de incertidumbre climática en gestión del agua.

Los resultados evidencian que la efectividad de las medidas de adaptación implementadas por las ASADAS está estrechamente vinculada con su tipología técnica e hidrológica, particularmente con el tipo de fuente predominante (naciente o quebrada) y su grado de vulnerabilidad ante la variabilidad climática. En la microcuenca alta del río Jorco, se constató una alta densidad de aprovechamientos hídricos, tanto inscritos como en trámite ante la Dirección de Aguas del MINAE, según los registros del SINIGIRH (2025). Esta concentración de concesiones confirma que el territorio se encuentra altamente explotado y en proceso de sobreasignación, lo que representa un riesgo para la sostenibilidad de las fuentes comunales en el mediano plazo.

Asimismo, el análisis climático demuestra que la zona es susceptible a los cambios de precipitación y temperatura, presentando lluvias cada vez más intensas, pero menos regulares, lo cual reduce la recarga subterránea y afecta la estabilidad de las nacientes, que constituyen la principal fuente de abastecimiento para los acueductos comunales. Esta tendencia compromete particularmente a las ASADAS que dependen exclusivamente de fuentes de manantial, como la ASADA Barrio San Rafael de Tarbaca, donde la alta turbiedad durante eventos de lluvia intensa dificulta la operación y contamina las captaciones.

Por contraste, la ASADA Tarbaca posee una infraestructura más robusta, con planta potabilizadora y sistemas de tratamiento que le permiten reducir los impactos de la turbiedad durante la época lluviosa. Sin embargo, su dependencia de nacientes y quebradas superficiales la hace más vulnerable durante los veranos prolongados, cuando los caudales disminuyen considerablemente. En respuesta, esta organización ha comenzado a explorar

alternativas subterráneas mediante proyectos de perforación de pozos, en busca de fuentes más estables frente al estrés hídrico estacional.

En conjunto, los hallazgos permiten concluir que la zona alta de la cuenca del río Jorco presenta un comportamiento climático cada vez más nocivo, con impactos directos en acueductos comunales que ya operan bajo condiciones de alta sensibilidad. La combinación de veranos prolongados, reducción de caudales, eventos de lluvia extrema que afectan la calidad del agua y una demanda poblacional en crecimiento genera un escenario de presión creciente sobre los sistemas de abastecimiento. Esta investigación marca un precedente al visibilizar, con datos técnicos y evidencia empírica, que la abundancia aparente de agua en un territorio no garantiza su disponibilidad para consumo humano. La sostenibilidad hídrica depende de factores ambientales, económicos, técnicos y sociales que condicionan la capacidad de cada acueducto para soportar la variabilidad climática.

Finalmente, a pesar de las adversidades identificadas, las ASADAS estudiadas demuestran capacidad de adaptación y resiliencia. Su capacidad para organizarse, gestionar emergencias, innovar en la medida de sus posibilidades y mantener un compromiso comunitario activo evidencia que los acueductos comunales continúan siendo actores fundamentales en la gestión hídrica rural de Costa Rica. El fortalecimiento de estas organizaciones resulta indispensable para enfrentar los desafíos climáticos presentes y futuros, garantizando la continuidad del servicio y el derecho humano al agua para las generaciones

CAPÍTULO VI

6.1. Recomendaciones

La disponibilidad de agua en los acueductos comunales es una condición dinámica y multifactorial. No depende únicamente del volumen físico existente, sino de la interacción permanente entre la variabilidad climática, la capacidad técnica instalada, la eficiencia operativa, la estructura organizacional y el uso del suelo en el territorio. En el actual contexto de cambio climático, la planificación hídrica debe ser adaptativa, preventiva y basada en evidencia.

1. Recomendaciones de corto plazo (0–1 año)

1.1. Para las ASADAS

- 1.1.1. Integrar herramientas digitales sencillas (hojas de cálculo, registros electrónicos, tableros de control) para sistematizar datos de caudales, consumo, fugas y eventos climáticos como precipitación y temperatura mensual.
- 1.1.2. Fortalecer protocolos de monitoreo básico mediante aforos periódicos, inspección de infraestructura y control de pérdidas.
- 1.1.3. Crear comités internos de adaptación o comisiones ambientales responsables de vigilar el funcionamiento del sistema durante eventos extremos.
- 1.1.4. Mantener comunicación técnica regular con AyA, ARESEP, comités municipales y federaciones de ASADAS para recibir apoyo oportuno.
- 1.1.5. La investigación ha demostrado que la adaptación efectiva al cambio climático en ASADAS requiere, como precondición fundamental, una comprensión precisa de las variaciones climáticas locales y su correlación con la disponibilidad de caudales. Sin embargo, el análisis de campo reveló que ninguna de las tres ASADAS estudiadas contaba con un sistema integrado para registrar esta información de manera consistente.

Como resultado de esta brecha, se propone un **Machote de Registro Integrado de Variaciones Climáticas y Agua No Contabilizada** (Excel) disponible en anexos, diseñado específicamente para ASADAS que operan en contextos de cuencas vulnerables. El instrumento integra: Registro mensual de variaciones climáticas locales, medición de 15 fuentes de captación, cuantificación de agua no contabilizada en 3 niveles operativos, análisis integrado para decisiones adaptativas

1.2. Para instituciones rectoras y reguladoras

1.2.1. AyA

1.2.1.1. Brindar acompañamiento técnico preventivo inmediato para mejorar el mantenimiento básico, el control de pérdidas y la gestión de riesgos climáticos.

1.2.1.2. Proveer guías simplificadas para sistematización de datos dirigidas a ASADAS con baja capacidad administrativa.

1.2.2. ARESEP

1.2.2.1. Diseñar lineamientos iniciales para un eventual Sello de Calidad Regulatoria asociado a la adaptación al cambio climático.

1.2.3. Municipalidades

1.2.3.1. Revisar permisos de uso de suelo en zonas sensibles, especialmente cerca de nacientes y laderas inestables, evitando asentamientos que reduzcan la disponibilidad local del agua.

1.3. Para la gestión territorial y comunitaria

1.3.1. Promover campañas comunitarias de protección de nacientes, reforestación y uso racional del agua.

1.3.2. Organizar redes locales de apoyo entre ASADAS cercanas para compartir datos, herramientas y experiencias.

1.4. Propuesta de actualización de la Constancia de Disponibilidad de Servicios de Agua (CDSA)

1.4.1. Incluir en la CDSA una cláusula de adaptación climática que advierta sobre la influencia del clima en la continuidad y calidad del servicio. Definir la disponibilidad como la interacción de cuatro componentes:

Capacidad hídrica, capacidad hidráulica, capacidad de saneamiento, capacidad de adaptación ante al cambio climático

Sugerencia del texto a agregar:

La Asociación Administradora del Acueducto Comunal (ASADA) informa que la presente Constancia de Disponibilidad de Servicios de Agua (CDSA) se emite con base en las condiciones técnicas, hídricas e hidráulicas vigentes al momento de su elaboración, y bajo los registros actualizados de balance hídrico y capacidad del sistema. No obstante, se hace constar que la disponibilidad del recurso hídrico está sujeta a la variabilidad climática y a los efectos del cambio climático, los cuales pueden influir en la continuidad, cantidad o calidad del servicio en el futuro.

La ASADA mantiene el compromiso de implementar medidas de adaptación, monitoreo y gestión regenerativa que fortalezcan la resiliencia del sistema, y exhorta al interesado(a) a colaborar en la protección de las zonas de recarga, el uso racional del agua y la adopción de buenas prácticas ambientales.

En consecuencia, la presente constancia constituye una garantía técnica condicionada al comportamiento climático y a la sostenibilidad de las fuentes hídricas, manteniendo su vigencia conforme al plazo establecido por la normativa aplicable.

Se incorpora a estas recomendaciones un documento llamado **Machote Carta Disponibilidad Agua Con CambioClimatico** (Word) para utilizar como base para las redacciones de cartas de disponibilidad de servicio de agua.

2. Recomendaciones de mediano plazo (2–3 años)

2.1. Para las ASADAS

- 2.1.1.** Incorporar prácticas de adaptación regenerativa, promoviendo restauración de ecosistemas, conservación de zonas de recarga y manejo sostenible del suelo.
- 2.1.2.** Implementar sistemas comunitarios de monitoreo participativo (indicadores climáticos, ecológicos y de infraestructura).

- 2.1.3.** Integrar el enfoque del Plan de Seguridad del Agua en la planificación operativa y presupuestaria.

2.2. Para instituciones rectoras y reguladoras

2.2.1. AyA

- 2.2.1.1.** Desarrollar programas de capacitación continua en planificación hidrológica, gestión de riesgos y adaptación climática para ASADAS.

2.2.2. ARESEP

- 2.2.2.1.** Evaluar mecanismos tarifarios que permitan financiar infraestructura preventiva y acciones de adaptación climática.

2.2.3. Municipalidades, MAG, Ministerio de Salud

- 2.2.3.1.** Impulsar campañas interinstitucionales que promuevan prácticas agrícolas sostenibles, reducción de agroquímicos y protección del suelo en zonas de recarga.

2.2.4. Para la gestión territorial y comunitaria

- 2.2.4.1.** Promover proyectos conjuntos entre ASADAS para instalar estaciones meteorológicas, compartir datos y elaborar balances hídricos comunales.

- 2.2.4.2.** Crear observatorios ciudadanos del agua y comités intercomunales de cuenca que integren actores locales, agricultores, escuelas y organizaciones ambientales.

2.3. Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

- 2.3.1.** Restaurar bosques de recarga y establecer franjas de protección en zonas vulnerables con el fin de reducir contaminantes de origen antropogénico y animal, de 15–30 metros alrededor de quebradas y nacientes.

- 2.3.2.** Manejar la cobertura vegetal para reducir erosión, mejorar infiltración y estabilizar los caudales base.

3. Recomendaciones de largo plazo (4–5 años)

3.1. Para las ASADAS

- 3.1.1.** Evaluar la diversificación estructural de fuentes hídricas, incluyendo exploración de pozos, captaciones alternativas y proyectos de almacenamiento de mayor escala.

- 3.1.2.** Desarrollar planes estratégicos de sostenibilidad hídrica con objetivos a 10–15 años.

3.2. Para instituciones rectoras y reguladoras

3.2.1. AyA / MINAE / Dirección de Aguas

- 3.2.1.1.** Implementar sistemas regionales de monitoreo hidrológico continuo para prevenir sobreasignación y mejorar la gestión de cuencas.

3.2.2. ARESEP

- 3.2.2.1.** Institucionalizar un sello regulatorio de resiliencia climática que otorgue incentivos financieros y reconocimiento público a ASADAS con buenas prácticas.

3.3. Gestión territorial y comunitaria

- 3.3.1.** Establecer corredores de restauración ecológica en zonas altas de cuenca, articulados con programas como PSA y GIRA.
- 3.3.2.** Consolidar alianzas inter-ASADAS para la defensa del agua, la planificación hidrológica y la restauración de quebradas.

3.4. Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

- 3.4.1.** Implementar infraestructura verde de recarga: zanjas de infiltración, cosecha de agua de lluvia en terrazas de almacenamiento.
- 3.4.2.** Promover sistemas agroforestales en fincas aguas arriba para estabilizar microclimas locales y proteger la recarga.

3.5. Disponibilidad hídrica como concepto integral

- 3.5.1.** Adoptar un enfoque integral de disponibilidad hídrica que considere factores ambientales, hidráulicos, sanitarios, tecnológicos y climáticos para garantizar sostenibilidad a largo plazo.

4. Recomendaciones para investigaciones futuras

- 4.1.** Desarrollar estudios interdisciplinarios que aborden la disponibilidad de agua como un fenómeno que integra clima, suelo, ecosistemas, infraestructura y gobernanza local.
- 4.2.** Establecer monitoreos hidrometeorológicos permanentes en otras ASADAS de la cuenca y compararlas con regiones con condiciones climáticas similares.

4.3. Profundizar en el análisis del costo económico del cambio climático sobre los acueductos comunales.

4.4. Fortalecer la alianza con universidades públicas y privadas para visibilizar la problemática creciente y producir conocimiento aplicado.

La zona alta de la cuenca del río Jorco enfrenta un escenario climático cada vez más desafiante, donde la disminución de caudales en época seca, la variabilidad extrema de las lluvias y la expansión de la población rural generan presiones crecientes sobre los acueductos comunales. Aunque el territorio aparenta abundancia hídrica, esta investigación evidencia que la disponibilidad real depende de factores ambientales, económicos, técnicos y sociales que condicionan el equilibrio del sistema. A pesar de las limitaciones identificadas, las ASADAS estudiadas demuestran resiliencia, creatividad organizativa y compromiso comunitario, elementos que las convierten en actores esenciales para la sostenibilidad del agua en Costa Rica. Fortalecerlas es, en última instancia, fortalecer el derecho humano al agua en un país que deberá adaptarse con inteligencia y solidaridad a los desafíos climáticos que ya están en marcha

CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFIA

7.1. Bibliografía de referencia

Angulo Zamora, F. (2021). *Uso, manejo y gestión del agua en Costa Rica*. Programa Estado de la Nación, CONARE.

Angulo Zamora, F. (2022). *Patrones e impactos del uso de agua y la energía en Costa Rica*. Programa Estado de la Nación, CONARE.

Araya, F., Carvajal, V., Godínez, J., Navarro, A., Estrada, M., Herrera, J., Moreira, C., & Pérez, D. (2010). Análisis de la gestión ambiental en los acueductos rurales de la Zona Norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 23(4), 74–85.

Arguedas, M. (2023). Análisis del abordaje del recurso hídrico en Costa Rica: elementos que influyen en su gestión integral. *Ambientico*, 285, 23–33.

Arroyo, A. (2022). *Plan de seguridad del agua con enfoque regenerativo para la ASADA de Desamparaditos de Puriscal* [Tesis de maestría, Universidad para la Cooperación Internacional].

ASADA de Poás y Barrio Corazón de Jesús. (2024). *Informe narrativo final: Potenciando capacidades técnicas en adaptación y resiliencia ante el cambio climático en acueductos de la Federación de ASADAS de Aserrí*. FILACC – Expertise France – Climate Lead Group.

Asociación Administradora del Acueducto de Vuelta de Jorco (ASADA Vuelta de Jorco). (2025, 16 de septiembre). *Oficio N.º 16-2025: Información sobre fuentes de abastecimiento y gestión hídrica del acueducto comunal*.

Astorga, A. (2016). Agua y saneamiento en Costa Rica: análisis con base en los objetivos de desarrollo del milenio. *Revista Geográfica de América Central*, 2(57), 139–167.

Astorga, A. (2019). Seguridad hídrica: gestión del agua en comunidades rurales del Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(63), 25–52.

Astorga, Y. (2016). *Ánalisis de la gestión integral de los recursos hídricos en Costa Rica*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). (2021). *Metodología tarifaria y Guía para la Tarifa de Protección del Recurso Hídrico (TPRH)*. (Resolución RE0213JD2018, Guía 2021).

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). (2022, 14 de febrero). *ARESEP aprueba tarifa de protección del recurso hídrico a ASADA Río Blanco*.

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). (2024, 6 de febrero). *ASADA Río Celeste protegerá naciente de agua gracias a tarifa de protección del recurso hídrico*.

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2024). *Resolución RE-0034-IA-2024. Estudio Tarifario de oficio para ASADAS que cumplen con la resolución RE-011-IA-2024*. Intendencia de Agua.

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (2025). *Resolución RE-0014-IA-2025. Estudio tarifario de oficio para las ASADAS del país y fortalecimiento de la protección del recurso hídrico*. Intendencia de Agua.

AVINA, Universidad Técnica Nacional, & Fundación Suwo DI. (2020). *Asociatividad de la gestión comunitaria del agua en Costa Rica 2020: Estado de las Federaciones, Ligas y Uniones (FLUs)*. Fundación AVINA.

Calvo-Brenes, G., & Salazar-Céspedes, M. (2023). Monitoreo hídrico comunitario en la microcuenca del río Jorco: Correlación entre deforestación y disponibilidad hídrica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(2), 45–67.

Centro de Cambio Climático, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2023). *Financiamiento de Iniciativas Locales para la Adaptación al Cambio Climático (FILACC)*.

Defensoría de los Habitantes. (2024). *Informe sobre la situación del derecho humano al agua potable en el cantón de Aserrí* [DHR-098-2024].

Dirección de Cambio Climático; Ministerio de Ambiente y Energía. (2022). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Costa Rica, 2022–2026*. San José, Costa Rica.

Entrevista personal: Estrella [Miembro Junta Directiva ASADA]. (2025, 13 de septiembre). *Prácticas de reforestación, protección de nacientes y adaptación comunitaria*. Entrevista no publicada.

Entrevista personal: Franklin [Administrador ASADA]. (2025, 19 de septiembre). *Percepciones sobre la gestión hídrica y recomendaciones frente al cambio climático*. Entrevista no publicada.

Federación de ASADAS del Cantón de Aserrí. (2025). *Registros meteorológicos de la Estación ASADA Tarbaca (agosto 2024–septiembre 2025)*. Sistema WeatherLink – Davis Instruments.

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). (2025). *Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA)*.

García, T., & Carazo, E. (2020). Ambigüedad institucional y normativa en la gestión y garantía del derecho humano al agua en Costa Rica: ¿agua para quién? *Agua y Territorio*, 15, 13–20.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Hidalgo, H. G., Alfaro, E. J., Pérez-Briceño, P. M., Calderón-Solera, B., & Naranjo, V. (2024). Proyecciones de cambio climático en eventos extremos para el cantón Dota. *Ambientico*, 290, 34.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2017). *Estudios técnicos para ASADAS: capacidad hídrica e hidráulica*. AyA.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2020). *Reglamento de las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales* [Decreto Ejecutivo N.º 42582-S-MINAE].

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2021). *Reglamento para la prestación de servicios de Acueductos y Alcantarillados* [Modificación integral]. Versión de la norma 14 del 09/06/2025.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, PNUD, & Fundación Avina. (2018). *Unidades de Servicios de Desarrollo (USEDES): Sistematización de experiencias en federaciones y ligas de ASADAS.*

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2019). *Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura de acueductos administrados por ASADAS.* AyA.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2023). *Sistematización sobre fuentes de agua y cuencas hidrográficas captadas para abastecimiento poblacional en la Zona Protectora Cerros de Escazú.* UEN Gestión Ambiental.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2011). *Atlas de cuencas hidrográficas de Costa Rica.* IMN.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2023). *Atlas climatológico de Costa Rica.* IMN.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2023). *Regionalización climática de Costa Rica y análisis de variabilidad climática.* IMN.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2023). *Perspectiva climática anual 2023 (actualización).*

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2025, 2 de octubre). *Oficio IMN-DIM-CM-218-2025: Información meteorológica de estaciones Cerro Burío y ASADA San Gabriel.*

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2011). *Estimaciones y proyecciones de población por sexo y edad 2011-2025*.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.

MINAE. (2017). *Política Hídrica Nacional*. Ministerio de Ambiente y Energía.

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2021). *Reglamento de caudal ambiental* [Decreto N.º 43242-MINAE].

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2022). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022–2026*.

Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones & Instituto Meteorológico Nacional. (2011). *Estudio de cuencas hidrográficas de Costa Rica: Cuenca del río Parrita*.

Ministerio de Salud. (2015). *Reglamento para la calidad del agua potable* [Decreto Ejecutivo N.º 38924-S].

Müller, E. (s.f.). *Desarrollo regenerativo: Integración de la naturaleza, la cultura y la tecnología en la planificación territorial*. Universidad para la Cooperación Internacional.

Naswa, P., Traerup, S., Bouroncle, C., Medellín, C., Imbach, P., Louman, B., & Spensley, J. (2015). *Buenas prácticas para el diseño e implementación de sistemas nacionales de monitoreo para la adaptación al cambio climático*. CTCN–PNUMA–CATIE.

Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. (2014). *Quinto Informe de Evaluación (AR5) – Informe de síntesis*.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Instituto Meteorológico Nacional (IMN) & Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET).

(2011). *Estudio de las cuencas hidrográficas de Costa Rica.* IMN. <https://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/estudio-de-las-cuencas-hidrograficas-de-costa-rica/>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2024). *Informe sobre Desarrollo Humano 2024: Equidad, sostenibilidad y resiliencia.*

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo & Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). *Guía básica para la reducción de agua no contabilizada.* PNUD–AyA.

Programa Estado de la Nación. (2024). *Estado de la Nación en desarrollo humano sostenible 2024.* CONARE.

Rodríguez, J. J. (2018). *Análisis de la gestión de los eventos de sequía ante el cambio climático en los sectores agropecuario e hídrico del cantón de Hojancha* [Tesis de maestría, CATIE].

Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH). (2025). *Datos de concesiones en la zona alta de la microcuenca del río Jorco.*

Vargas, M., & Mora, R. (1999). Hidrogeoquímica y producción de manantiales en las formaciones Pacacua y Peña Negra. *Revista Geológica de América Central*, 22, 101–111.

Zambrano Saborío, N. (2011). *Informe final del proyecto SERSA: Caracterización de las ASADAS del cantón de Aserrí.* Ministerio de Salud.

CAPÍTULO VIII

8.1. Anexos

Anexo 1: Carpeta de recolección de datos: Datos recolectados, grabación de entrevistas, fotografías y videos.

https://drive.google.com/drive/folders/1Tc9lQIew7TD9JmrnwOOeKxOPTtrhcbCXiw3rIw8zqYi9Kz3AkO-fQGHARw4sfyHUDfEFsG7?usp=drive_link

Anexo 2: Carpeta de cartas por solicitud de información a organizaciones.

https://drive.google.com/drive/folders/1Iw_MbuJzOH6W0ALnnwUbd7LQV5MMeHZ?usp=drive_link

Anexo 3: Carpeta de archivos tablas, capas, datos importantes utilizados:

https://drive.google.com/drive/folders/1Flx1dKPq-FhuZscguF4kgx1WmiBWRZdG?usp=drive_link

Anexo 4: Carpeta de documentos de formalización, evaluación y aprobación de tesina:

https://drive.google.com/drive/folders/11DrUDT4jQBMdk2_YLq6xA62q-zMCdyGd?usp=sharing

Anexo 5: Machote integrado clima y ANC documento Excel:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1CilPSnfNMpiTfmNxtcodjNfcPPlc9tk/edit?usp=sharing&ouid=114240834930122311706&rtpof=true&sd=true> o bien solicítelo al correo brya3rac@gmail.com

Anexo 6: Machote Carta de Disponibilidad de Agua agregado cambio climático Word:

https://docs.google.com/document/d/1oqeROFmjGfD96dsAY-Hu_9SEPHS84E9y/edit?usp=sharing&ouid=114240834930122311706&rtpof=true&sd=true o bien solicítelo al correo brya3rac@gmail.com