

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial
Departamento de Obras Civiles

DESEMPEÑO Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INOCUIDAD DEL AGUA PARA LA PRODUCCIÓN DE LAS PLANTAS DE TALTAL DE AGUAS ANTOFAGASTA S.A.

Paula Sabina Garcés Saavedra
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA
AGOSTO 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título ☒ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Desempeño y eficiencia del sistema de gestión de inocuidad del agua para la producción de las plantas de Taltal de Aguas Antofagasta S.A.

Nombre del candidato(a): Paula Sabina Garcés Saavedra

Carrera / Grado: Magíster en Gestión del Agua – Master of Water Management

Campus: Vitacura **Departamento:** Ingeniería Comercial /Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **Marcelo Bravo Fortune**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 19-10-2026 Firma:

Estudiante o Candidato(a)

Fecha: 19-10-2026 Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA
MWM MASTER OF WATER MANAGEMENT

Departamento de Ingeniería Comercial
Departamento de Obras Civiles

DESEMPEÑO Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INOCUIDAD DEL AGUA PARA LA PRODUCCIÓN DE LAS PLANTAS DE TALTAL DE AGUAS ANTOFAGASTA S.A.

Tesis de magister presentada por
Paula Sabina Garcés Saavedra
Como requisito para optar al Grado de
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA

Director de Tesis:
Mg. Marcelo Bravo Fortune.
Agosto 2026

TITULO DE TESIS:

Desempeño y eficiencia del sistema de gestión de inocuidad del agua para la producción de las plantas de Taltal de Aguas Antofagasta S.A.

AUTOR:

PAULA SABINA GARCÉS SAAVEDRA

TRABAJO DE TESIS, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA – MASTER OF WATER MANAGEMENT de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Observaciones:

_____

_____

Mg. Marcelo Bravo Fortune.
Director de Tesis

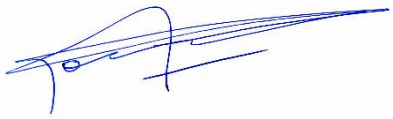
Dra. Vivian Aranda Núñez.
Correferente Interno

Mg. Gonzalo Murillo Vargas.
Correferente Externo

Santiago, Agosto 2026

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre : Paula Sabina Garcés Saavedra

Firma : 

Fecha : Santiago, agosto de 2026

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por todas las oportunidades que me ha presentado en mi formación profesional y personal, especialmente por permitirme llegar al final de este proceso.

Agradezco a mi familia:

• A mis padres, por ser una fuente constante de motivación y apoyo en cada una de mis metas.

• A mis hijos, Cristián y Javiera, por su comprensión frente a los momentos que, involuntariamente, debí postergar para avanzar en este desafío. Por cada palabra de aliento y su permanente preocupación.

• A mi querido Jean Paul, por su comprensión y respaldo incondicional, por los viajes postergados y por cada reprogramación que este proceso implicó.

De manera especial, agradezco al profesor Patricio Rubio, quien desde el primer día nos motivó y nos mostró las implicancias del camino de la tesis. Su visión sobre cómo, desde nuestra formación como ingenieros, podíamos culminar esta etapa fue fundamental, aun cuando no siempre seguimos fielmente sus consejos. Es, sin duda, un gran motivador.

Agradezco también al profesor Marcelo Bravo, cuya mirada sistémica y experiencia fueron un apoyo constante en cada una de las clases.

De igual forma extiendo mi reconocimiento a todos los profesores del Magíster, verdaderos referentes que enriquecieron este proceso académico.

Gracias infinitas a todos ustedes por acompañarme en este camino.

RESUMEN EJECUTIVO

La producción de agua potable segura en zonas áridas enfrenta desafíos derivados de la escasez hídrica, la variabilidad del agua cruda, la desalinización y el cumplimiento sanitario. En este contexto, el Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA), basado en la norma NCh-ISO 22000:2018 y complementado con los Planes de Seguridad del Agua, permite gestionar preventivamente los riesgos para la inocuidad y continuidad del abastecimiento. Sin embargo, su evaluación carece de metodologías que integren aspectos normativos, operacionales y de eficiencia.

Esta investigación evaluó el desempeño y la eficiencia del SGIA de la Planta Desaladora de Taltal y la Planta de Filtros O'Higgins, de Aguas Antofagasta S.A., en condiciones de operación normales y críticas. Para ello, se diseñó un Modelo Integrado de Evaluación, basado en indicadores y criterios de desempeño, que transformó un sistema cualitativo en una herramienta medible y comparable.

La metodología comprendió cinco fases: revisión normativa, diseño del modelo, caracterización operacional, aplicación de herramientas analíticas e integración de resultados. Se utilizaron análisis estadístico descriptivo, indicadores operacionales, verificación de la norma NCh 409/1 Of2005 y de los requerimientos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, análisis de riesgos según ISO 22000:2018, evaluación de eficacia, análisis FODA y Data Envelopment Analysis (DEA) para estimar la eficiencia relativa de los procesos.

Los resultados mostraron estabilidad microbiológica y química, con cumplimiento sostenido de los requisitos regulatorios e indicadores sanitarios. El análisis estadístico confirmó la estabilidad de los parámetros críticos, mientras que el DEA identificó diferencias de eficiencia y oportunidades de mejora en el control operacional, la gestión documental y la estandarización preventiva. El análisis de brechas permitió priorizar acciones para fortalecer la respuesta del SGIA ante condiciones críticas.

El principal aporte es un modelo integrado y replicable para plantas de tratamiento y desalinización, que combina indicadores normativos, estadísticos, operacionales y de eficiencia. La propuesta apoya la toma de decisiones y la gestión preventiva de riesgos en contextos de vulnerabilidad hídrica.

ABSTRACT

Safe drinking-water production in arid zones is challenged by water scarcity, variable raw-water quality, desalination technologies, and continuous sanitary compliance. A Water Safety Management System (WSMS), based on NCh-ISO 22000:2018 and Water Safety Plan principles, enables proactive management of risks to supply safety and continuity. However, performance assessment remains difficult because integrated regulatory, operational, and efficiency methodologies are limited. This research evaluated the WSMS implemented at the Taltal Desalination Plant (PDTT) and the O'Higgins Filter Plant (PFOH) of Aguas Antofagasta S.A. under normal and critical operating conditions. An integrated model using dimensions, variables, indicators, and performance criteria was developed to make the system measurable and comparable.

The methodology comprised five phases: regulatory and conceptual review, model design, plant characterization, analytical assessment, and result integration. It included descriptive statistics, operational indicators, verification of compliance with NCh 409/1.Of2005 and Superintendency of Sanitary Services (SISS) requirements, ISO 22000:2018 risk analysis, WSMS effectiveness assessment, SWOT analysis, and output-oriented Data Envelopment Analysis (DEA) to determine relative process efficiency.

Both plants maintained high microbiological and chemical stability, with sustained compliance with regulatory requirements and SISS sanitary indicators. Statistical analysis confirmed stable critical parameters, while DEA identified efficiency differences and optimization opportunities in operational control, document management, and preventive-process standardization. Gap analysis supported prioritizing actions to strengthen WSMS resilience under critical conditions.

The main contribution is an integrated, replicable model for drinking-water treatment and desalination plants that combines regulatory, statistical, operational, and efficiency indicators. It supports decision-making, continuous improvement, proactive risk management, and safer, more reliable drinking-water supply amid increasing water vulnerability.

Contenido

CAPITULO I **12**
1. INTRODUCCIÓN 12
CAPITULO II **15**
2. ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO 15
2.1 ORIGEN Y PROPÓSITO DE ESTUDIO 15
2.2 ALCANCE DEL ESTUDIO 16
2.2.1 Límites del estudio 19
2.2.2 Alcance científico del estudio 19
CAPITULO III **23**
3. OBJETIVOS 23
CAPITULO IV **26**
4. ESTADO DEL ARTE 26
4.1 ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE 26
4.2 CONCEPTOS Y TÉRMINOS CLAVES 31
4.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL ESTADO DEL ARTE 37
4.3.1 Qué sabe la ciencia del tema investigado 37
4.3.2 Estado del tema investigado 39
4.4 SUJETO DE ESTUDIO 42
4.4.1 Contexto territorial de Taltal 43
4.4.2 Planta de filtros 45
4.4.3 Planta desaladora 46
4.5 MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE 48
CAPITULO V **52**
5. PROPUESTA METODOLÓGICA DE TRABAJO 52
5.1 DENOMINACIÓN, DESCRIPCIÓN Y TIEMPO DE CADA FASE 52
5.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN E INDICADORES DE DESEMPEÑO 57
5.3 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DEA 60
CAPITULO VI **64**
6. APLICACIÓN METODOLÓGICA 64
6.1 ALCANCE Y ENFOQUE METODOLÓGICO 64
6.1.1 Fase 1: Fundamentación normativa, técnica y conceptual 65
6.1.2 Fase 2: Caracterización del sujeto de estudio 67
6.1.3 Fase 3: Diseño metodológico y construcción de indicadores 73
6.1.4 Fase 4: Aplicación del modelo de evaluación 74

6.1.5 Fase 5: Resultados, brechas y recomendaciones 78
6.3 SÍNTESIS EVALUATIVA DEL ENFOQUE METODOLÓGICO 79
CAPITULO VII 80
7. RESULTADOS 80
7.1 DESCRIPCIÓN, COBERTURA Y VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS 80
7.2 CUMPLIMIENTO NORMATIVO Y OPERACIONAL 80
7.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE CALIDAD DE AGUA 81
7.4 ESTABILIDAD QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL SISTEMA 84
7.5 INDICADORES DE DESEMPEÑO DEL SGIA 85
7.6 RESULTADOS DEL MODELO DEA-BCC 86
7.7 BRECHAS DETECTADAS Y PRIORIZACIÓN 87
7.8 SÍNTESIS FINAL DEL DESEMPEÑO Y EFICIENCIA DEL SGIA 88
CAPITULO VIII 90
8. CONCLUSIONES 90
CAPITULO IX 93
9. RECOMENDACIONES APLICADAS/PROFESIONALES 93
CAPITULO X 95
10. BIBLIOGRAFÍA 95
CAPITULO XI 98
11. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS 98
ANEXOS 100
Anexo 1: Orden de Ideas. 100
Anexo 2: Fichas Bibliográficas 103
Anexo 3: Preauditoria. 229
Anexo 4: Objetivos SGIA 2026 235
Anexo 5: Política SGIA 236
Anexo 6: Diploma participación curso Interpretación y Análisis de la Norma ISO 22000: 2018 237
Anexo 7: Formulación Matemática Detallada del Modelo DEA-BCC - PDTT 238
Anexo 8: Formulación Matemática Detallada del Modelo DEA-BCC - PFOH 247
Anexo 9: Plan de Seguridad del Agua 254

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Relación entre los enfoques del alcance y las etapas del estudio..... 22
Tabla N°2: Revisión Bibliográfica. 27
Tabla N°3: Comparativa internacional de los temas de estudio. 30
Tabla N°4: Vinculación de Tesis con asignaturas MWM..... 31
Tabla N°5: Sistematización de la información. 32
Tabla N°6: Resultados Evaluación de cumplimiento por Sanitaria..... 40
Tabla N°7: Dimensión del modelo de evaluación del SGIA. 50
Tabla N°8: Matriz de trazabilidad metodológica..... 56
Tabla N°9: Criterios de evaluación del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua..... 57
Tabla N°10: Escala cualitativa para interpretar el desempeño del SGIA. 58
Tabla N°11: Indicadores propuestos para evaluar desempeño, eficacia y eficiencia del SGIA. 59
Tabla N°12: Estructura propuesta para un Índice Integrado de Desempeño del SGIA. ... 60
Tabla N°13: Etapas para la preparación y análisis de la base de datos. 61
Tabla N°14: Variables referenciales para el análisis DEA-BCC. 62
Tabla N°15: Criterios de interpretación de resultados DEA. 63
Tabla N°16: Enfoque de evaluación por sistema productivo. 65
Tabla N°17: Fundamentación normativa y técnica. 66
Tabla N°18: Revisión del Funcionamiento del SGIA. 68
Tabla N°19: Control de calidad; parámetros críticos en proceso PFOH..... 71
Tabla N°20: Control de parámetros operacionales en proceso PFOH. 71
Tabla N°21: Síntesis integrada de caracterización de las plantas, peligros y riesgos. 72
Tabla N°22: Dimensiones utilizadas para evaluar el SGIA. 74
Tabla N°23: Interpretación resultados de análisis DEA. 76
Tabla N°24: Tipos de Brechas..... 79
Tabla N°25: Estadísticos descriptivos y cumplimiento de parámetros en PFOH..... 82
Tabla N°26: Estadísticos descriptivos de parámetros y estabilidad química en PDTT..... 83
Tabla N°27: Síntesis de la clasificación operacional aplicada a los días evaluados. 84
Tabla N°28: Indicadores internos de desempeño del SGIA y evidencia disponible. 85
Tabla N°29: Resultados resumidos del modelo DEA-BCC por planta. 86
Tabla N°30: Matriz sintética de brechas detectadas y estado de la evidencia. 87

Tabla N°31: Criterios de priorización utilizados para presentar las brechas. 87
Tabla N°32: Síntesis final del desempeño y eficiencia del SGIA. 88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Situación geográfica y Taltal. 43
Figura N°2: Modelo del marco teórico. 51
Figura N°3: Carta Gantt. 52
Figura N°4: Caracterización comparativa del SGIA por planta. 68
Figura N°5: Diagrama de flujo; proceso productivo PFOH. 69
Figura N°6: Diagrama de flujo; proceso productivo PDTT. 70
Figura N°7: Análisis Estadístico Descriptivo del Control Operacional por Planta. 75
Figura N°8: Evaluación de la Eficacia del SGIA. 76
Figura N°9: Evaluación de la Eficiencia Relativa Mediante DEA-BCC. 77
Figura N°10: Cumplimiento de parámetros seleccionados en PFOH. 82
Figura N°11: Rango observado del Índice de Saturación de Langelier en PDTT. 83
Figura N°12: Cumplimiento de parámetros seleccionados en PDTT. 84
Figura N°13: Evolución anual de la eficiencia promedio DEA-BCC. 86

CAPITULO I
1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para el desarrollo de la vida. Por este motivo, asegurar el acceso seguro al agua potable, constituye uno de los pilares fundamentales para la salud pública y para el desarrollo sostenible de las comunidades. Su disponibilidad determina la calidad de vida de la población y permite garantizar condiciones mínimas de bienestar. En este sentido, la calidad del agua de consumo es un aspecto importante en la salud pública, donde la normativa, la vigilancia y el control preventivo cumplen un rol fundamental para asegurar que el agua distribuida sea apta para el consumo humano (Gómez-Gutiérrez et al., 2016).

De esta manera, los sistemas de producción y distribución de agua potable han debido evolucionar desde una mirada centrada únicamente en el cumplimiento normativo hacia enfoques más integrales, donde la gestión preventiva y el control del riesgo adquieren un rol principal. Bajo esta lógica, los Planes de Seguridad del Agua se han consolidado como herramientas relevantes, ya que permiten abordar la calidad del agua de forma continua, desde la captación hasta la entrega final al usuario, incorporando el análisis de peligros, la identificación de puntos críticos y la definición de medidas de control (Gunnarsdottir, Gardarsson & Bartram, 2015; Collivignarelli et al., 2017).

Sin embargo, en las últimas décadas han surgido nuevas presiones que afectan directamente a los sistemas de producción de agua potable. La escasez hídrica, el cambio climático y la ocurrencia cada vez más frecuente de eventos extremos han complejizado la operación de estos sistemas. Sequías prolongadas, lluvias intensas, crecidas y variaciones bruscas en la calidad del agua cruda generan dificultades tanto en la captación como en el tratamiento y la distribución, aumentando la vulnerabilidad sanitaria y operacional. Al respecto, Khan et al. (2015) señala que los eventos climáticos extremos pueden afectar las cuencas, los embalses, los procesos de tratamiento y la integridad de los sistemas de

distribución, modificando los perfiles de riesgo que deben ser gestionados por los sistemas de agua potable.

En zonas áridas y semiáridas, como en el norte de Chile, han debido incorporar fuentes no convencionales, entre ellas la desalación de agua de mar, como una solución estratégica para mantener la continuidad del abastecimiento. La desalación, mediante ósmosis inversa, permite producir agua de alta pureza; sin embargo, este proceso elimina gran parte de los minerales presentes naturalmente en el agua, generando un producto con baja alcalinidad, escasa dureza y mayor agresividad química. Diversos autores han advertido que el agua desalinizada no estabilizada puede presentar problemas de corrosividad, baja capacidad tampón y efectos sobre la estabilidad del agua en redes de distribución (Birnhack, Penn & Lahav, 2008; Lesimple, Ahmed & Hilal, 2020).

Estas características no solo afectan la estabilidad del agua en los sistemas de distribución, favoreciendo procesos no deseados como la corrosión y la liberación de metales desde las tuberías, sino que también pueden tener implicancias en la salud humana debido a la reducción de minerales esenciales como calcio y magnesio. En este sentido, la remineralización se vuelve una etapa crítica dentro del postratamiento, orientada a restituir condiciones fisicoquímicas adecuadas para la distribución y el consumo. Duranceau, et al (2012) destacan que el postratamiento del permeado desalinizando constituye una práctica esencial para ajustar pH, alcalinidad, desinfección y estabilidad antes de su ingreso a los sistemas de distribución.

Adicionalmente, la estabilidad del agua desalinizada no depende únicamente de su composición química, sino también de factores asociados a la infraestructura. Los materiales de las redes de distribución pueden influir significativamente en la calidad final del agua, promoviendo procesos de corrosión, liberación de compuestos, variabilidad de metales y desarrollo microbiológico. Estudios recientes han demostrado que el tipo de tubería y las condiciones de la red pueden modificar la estabilidad química y biológica del agua desalinizada durante su transporte, lo

que evidencia la necesidad de evaluar la calidad del agua desde una perspectiva sistémica e integrada (Kabir et al., 2018; Cai et al., 2023).

En este sentido, los Sistemas de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA) representan una herramienta útil para ordenar, evaluar y fortalecer la gestión de los riesgos asociados a la producción de agua potable. Su aplicación permite identificar peligros, establecer puntos de control, evaluar brechas, definir medidas preventivas y mejorar la capacidad de respuesta frente a escenarios operacionales complejos. Desde una perspectiva de gestión, la incorporación de metodologías preventivas como HACCP, ISO 22000 y Planes de Seguridad del Agua permite fortalecer la trazabilidad, el control operacional y la mejora continua de los procesos asociados a la inocuidad del agua (Soman & Raman, 2016; Escanciano et al, 2014).

La localidad de Taltal presenta un escenario particular para este tipo de análisis, ya que su abastecimiento de agua potable depende de dos sistemas de producción distintos e independientes; una planta desaladora y una planta de filtros. Ambas instalaciones operan bajo condiciones que pueden verse afectadas por variables climáticas, cambios en la calidad del agua de entrada y exigencias propias de la continuidad del servicio. Esta condición hace de Taltal un caso de interés para evaluar cómo responde un sistema de gestión frente a distintas condiciones de operación. En este contexto, cualquier variación en la calidad del agua, en la eficiencia del tratamiento o en la confiabilidad del proceso puede traducirse rápidamente en riesgos sanitarios y operacionales que deben ser gestionados con criterio técnico, oportunidad y enfoque preventivo.

En función de lo anterior, este estudio se orienta a evaluar el desempeño y la eficiencia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua, en la operación de las plantas de filtros y desaladoras de la ciudad de Taltal de ADASA para los últimos 3 años (2023-2026). El propósito es generar antecedentes técnicos que permitan identificar brechas, fortalecer la gestión del sistema, mejorar la capacidad de respuesta operacional y contribuir a una toma de decisiones más robusta, especialmente en un contexto de alta exigencia sanitaria, dependencia de fuentes no convencionales y creciente incertidumbre en las condiciones de abastecimiento.

CAPITULO II
2. ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO

En este capítulo se aborda el origen, propósito y los alcances del estudio, asociado al desempeño y eficiencia de un sistema de gestión de inocuidad del agua implementado en las plantas de agua potable de una localidad del norte de Chile.

2.1 ORIGEN Y PROPÓSITO DE ESTUDIO

La zona norte de Chile presenta una aridez extrema, con una limitada disponibilidad de agua, lo que conlleva, a una alta dependencia en los acuíferos subterráneos y fuentes no convencionales. La minería y el incremento de la población han agudizado el aumento de la demanda hídrica, por lo que la Dirección General de Aguas (DGA) ha declarado esta zona, como zona de escasez hídrica, en reiteradas ocasiones.

La comuna de Taltal refleja la realidad de una localidad, con un desarrollo condicionado por la falta de agua continental. Constituye un caso único en Aguas Antofagasta para abastecer a su población de agua potable, al ser una localidad que cuenta simultáneamente con procesos productivos distinta a través de una planta de filtros y una planta desaladora.

Ambos procesos, sometidos a condiciones operacionales exigentes y a una problemática de escasez hídrica en el periodo estival, con condiciones climáticas variables que afectan la calidad del agua. Y que, en el contexto, Taltal se convierte en un lugar ideal para evaluar el desempeño del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA) implementado bajo la norma ISO 22000:2018 que busca asegurar la inocuidad del agua producida en cada uno de sus procesos productivos.

El propósito central del estudio es evaluar la eficiencia del SGIA en Taltal, considerando su capacidad para asegurar la inocuidad del agua, mantener la estabilidad operacional y responder adecuadamente frente a escenarios críticos de abastecimiento. Esta evaluación se realizará mediante un análisis estadístico de datos reales, revisión de indicadores, identificación de brechas y caracterización de los procesos productivos. De esta forma, se busca comprender cómo el sistema

contribuye a fortalecer la eficiencia productiva y la continuidad operacional del servicio frente a modificaciones en las fuentes de abastecimiento de las plantas de agua, derivadas de cambios en las condiciones climáticas, como el invierno altiplánico.

Este estudio se basa en una doble motivación profesional y personal. Desde la experiencia en el control de calidad del agua potable y sus procesos, he observado que la eficiencia de los procesos, la planificación y el control de riesgos son determinantes para garantizar un servicio seguro y continuo. De esta forma, la gestión del agua en lugares vulnerables requiere sistemas robustos, eficientes y capaces de responder frente a cambios en las condiciones operacionales. Esta necesidad se vuelve aún más evidente en un contexto donde el personal operativo suele ser limitado y con formación técnica insuficiente, lo que refuerza la importancia de contar con herramientas de gestión que permitan decisiones basadas en datos y no solo en la experiencia individual.

2.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

El estudio tiene por alcance el Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA) implementado en las plantas productoras de agua potable de Taltal, pertenecientes a Aguas Antofagasta. Operacionalmente contempla las diferentes etapas del proceso productivo desde el ingreso de agua cruda hasta la salida de agua potable de cada planta.

Este alcance también explora la identificación inicial de brechas hasta la comprensión de los factores que condicionan la eficiencia en las plantas productivas de Taltal bajo la mirada del SGIA, durante un periodo de análisis de tres años. Para ello, se evaluará el desempeño del sistema mediante el análisis de datos históricos de calidad de agua, registros operacionales, cumplimiento de indicadores, comportamiento de parámetros críticos y revisión de brechas asociadas al monitoreo, control, trazabilidad, verificación y respuesta ante contingencias. Este enfoque se relaciona con la necesidad de que los sistemas de agua potable no solo cumplan parámetros finales de calidad, sino que integren una gestión preventiva y de los riesgos asociados al abastecimiento (Gómez-Gutiérrez et al., 2016).

Desde la perspectiva sanitaria y operacional, el SGIA será entendido como una herramienta de gestión preventiva orientada a identificar peligros, establecer controles, verificar el cumplimiento de criterios de calidad, anticipar desviaciones y fortalecer la toma de decisiones en planta. Este enfoque es coherente con los principios de los Planes de Seguridad del Agua, los cuales promueven una mirada integral y preventiva de la calidad del agua, basada en la identificación de peligros y el control de riesgos desde la fuente hasta el consumidor. No obstante, para efectos de este estudio, dicho principio se aplicará exclusivamente al tramo bajo control productivo de planta: ingreso de agua cruda – salida de agua potable (Taghipour et al., 2025).

El estudio considerará tanto condiciones normales como extraordinarias de operación que se hubiesen presentado en el tiempo de estudio. En condiciones normales, se analizará la estabilidad del sistema, la regularidad de los controles, el cumplimiento de parámetros de calidad y la capacidad de las plantas para mantener una producción segura y continua. En distintas condiciones, se evaluará la respuesta del SGIA frente a variaciones en la calidad del agua cruda, cambios operacionales, restricciones de abastecimiento, eventos asociados al invierno altiplánico, aumento de turbiedad, alteraciones químicas o microbiológicas y contingencias que puedan afectar la inocuidad del agua producida. La literatura especializada advierte que los eventos extremos, tales como lluvias intensas, sequías, inundaciones u otros fenómenos climáticos, pueden afectar la calidad del agua potable al modificar las condiciones de las fuentes, los procesos de tratamiento y la continuidad operacional de los sistemas de abastecimiento (Khan et al., 2015).

En el caso de Taltal, el alcance adquiere especial relevancia debido a que la localidad cuenta con sistemas productivos distintos, entre ellos planta desaladora y planta de filtros, los cuales presentan procesos, riesgos y controles específicos. Esta condición convierte al territorio en un caso adecuado para evaluar cómo responde un SGIA frente a escenarios de alta exigencia operacional, variabilidad en la calidad del agua de entrada y necesidad de asegurar continuidad del servicio. En este contexto, cualquier desviación en la calidad del agua cruda, en la eficiencia del

tratamiento, en la dosificación química, en la desinfección o en el postratamiento puede transformarse en una brecha sanitaria u operacional que debe ser identificada, evaluada y gestionada oportunamente.

El análisis técnico incorporará parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y operacionales asociados a la inocuidad del agua, tales como turbiedad, pH, conductividad, cloro residual, hierro, cumplimiento normativo y otros indicadores definidos por la operación. En sistemas con desalación o aguas de baja mineralización, el postratamiento tiene especial importancia, ya que el agua desalinizada puede presentar baja capacidad tampón, bajo contenido mineral y tendencia corrosiva, por lo que requiere acondicionamiento posterior antes de su entrega como agua potable (Duranceau et al., 2012).

Metodológicamente, el estudio tendrá un alcance descriptivo, analítico y evaluativo. Será descriptivo, porque caracterizará el SGIA implementado en las plantas productivas de Taltal, sus procesos, controles, registros e indicadores. Será analítico, porque relacionará los datos históricos de los últimos tres años con el comportamiento de las plantas en distintas condiciones. Será evaluativo, porque permitirá determinar el nivel de eficiencia del SGIA a partir del cumplimiento de indicadores, la identificación de brechas, la capacidad de respuesta ante contingencias y la consistencia entre el control operacional y la calidad del agua potable producida.

El valor aplicado de este estudio permitirá generar evidencia empírica para apoyar la mejora continua del SGIA. A partir del análisis de brechas en monitoreo, control, trazabilidad, documentación, verificación y respuesta ante contingencias, el estudio podrá proponer oportunidades de mejora orientadas a optimizar el uso del recurso, mejorar la eficiencia de las plantas, fortalecer la gestión operacional y contribuir a garantizar un abastecimiento seguro, continuo y sostenible. Este enfoque resulta pertinente considerando que la calidad sanitaria del agua requiere no solo cumplimiento normativo, sino también información confiable, vigilancia, control operacional y capacidad de anticipación frente a riesgos emergentes o condiciones críticas (Gómez-Gutiérrez et al., 2016; Khan et al., 2015).

Para efectos de esta investigación, el alcance principal del estudio corresponde al proceso productivo comprendido entre el ingreso de agua cruda y la salida de agua potable de cada planta. No obstante, cuando resulte técnicamente pertinente, se utilizarán antecedentes complementarios de agua distribuida como evidencia de apoyo para analizar la estabilidad química, microbiológica y operacional del agua producida. Esta información será considerada únicamente como referencia complementaria para interpretar el desempeño del SGIA, sin extender el alcance operacional del estudio a toda la red de distribución.

2.2.1 Límites del estudio

El estudio se desarrollará en la comuna de Taltal, delimitando el análisis a las plantas productivas de Aguas Antofagasta y a su comportamiento durante los últimos tres años. Para ello, se realizará un levantamiento detallado de cada una de las plantas productivas desde el ingreso a planta de agua cruda hasta la salida de planta de agua potable. Considerando una evaluación de la infraestructura, los procesos productivos, las condiciones operacionales, los riesgos asociados y el análisis de datos reales. Esta aproximación permitirá caracterizar el desempeño del SGIA desde una perspectiva integral, considerando la estabilidad química y microbiológica del agua, la eficacia del postratamiento y la resiliencia del sistema frente a variaciones extremas de calidad y disponibilidad del recurso.

2.2.2 Alcance científico del estudio

Esta investigación se estructura articulando enfoques de tipo: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo, los cuales se integran de manera secuencial y complementaria para abordar el problema de estudio. Su descripción específica se indica a continuación, y en la Tabla N°1 la relación entre los enfoques.

1. **Enfoque exploratorio**: Tiene como propósito es reconocer, organizar y comprender el problema de investigación, considerando la evaluación de eficiencia del sistema de gestión de inocuidad del agua aplicado a plantas de producción de agua potable.

En esta etapa se revisan antecedentes técnicos, normativos y científicos, como:

- Sistemas de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA). Objetivos y políticas del SGIA en Anexo 4 y 5 respectivamente.
- Planes de Seguridad del Agua.
- ISO 22000 y metodología HACCP.
- Calidad de agua desalinizada.
- Postratamiento, remineralización, corrosividad y estabilidad del agua.
- Eventos climáticos extremos y cambios en los perfiles de riesgo.
- Experiencias internacionales aplicadas a sistemas de agua potable.

Este enfoque permite identificar las principales variables que podrían afectar la eficiencia del sistema, tales como calidad del agua cruda, cumplimiento normativo, control operacional, puntos críticos, monitoreo, acciones correctivas, continuidad del servicio y capacidad de respuesta frente a cambio de las condiciones normales de operación.

La experiencia internacional muestra que los planes de seguridad del agua (PSA) se basan en una lógica preventiva, orientada a identificar y reducir riesgos químicos, físicos, microbiológicos y radiológicos desde la captación hasta el consumidor. En el caso de Italia, la integración entre PSA, HACCP e ISO 22000 permitió abordar el sistema completo de abastecimiento y detectar sus criticidades principales.

2. **Enfoque descriptivo:** Permite caracterizar el estado actual del sistema de gestión y del agua producida y distribuida en Taltal. En esta fase, se busca ordenar y describir el comportamiento del sistema mediante datos objetivos.

Considera:

- Descripción de las plantas productoras de agua potable.
- Identificación de procesos unitarios relevantes.
- Caracterización de parámetros de calidad de agua.
- Revisión de registros operacionales y analíticos.
- Identificación de brechas documentales, operacionales y de control.
- Evaluación del cumplimiento de indicadores del sistema.
- Descripción de desviaciones, recurrencias y tendencias.

Para el caso de aguas desaladas, la literatura destaca que el postratamiento es fundamental, ya que el agua desalinizada puede presentar baja mineralización, baja capacidad tampón y tendencia corrosiva, por lo que debe ajustarse pH, alcalinidad, dureza y estabilidad antes de su ingreso a la red. Esta evidencia permite justificar que el estudio describa no solo la calidad final del agua, sino también las condiciones de estabilidad química y control operacional asociadas al sistema.

3. **Enfoque correlacional:** Busca establecer relaciones entre variables del sistema, permitiendo analizar si determinados factores se asocian con variaciones en la eficiencia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua.

Se pueden relacionar, por ejemplo:

- Calidad del agua cruda versus calidad del agua tratada.
- Eventos climáticos o condiciones extraordinarias versus desviaciones operacionales.
- Parámetros fisicoquímicos versus cumplimiento normativo.
- Cambios en pH, alcalinidad, dureza o cloro residual versus estabilidad del agua.
- Frecuencia de no conformidades versus eficacia de acciones correctivas.
- Indicadores de operación versus continuidad del servicio.
- Desempeño de puntos críticos de control versus resultados de calidad final.

Este enfoque permite lograr una comprensión más técnica del sistema y de sus patrones de comportamiento.

En el caso de Taltal, el análisis correlacional permitiría evaluar si los cambios en las condiciones de abastecimiento, como el invierno altiplánico o cambios en la calidad de las fuentes, se relacionan con aumentos de riesgo, incumplimientos, ajustes de tratamiento o pérdida de eficiencia del sistema.

4. **Enfoque explicativo:** Su objetivo es determinar por qué ocurren determinadas brechas, desviaciones o pérdidas de eficiencia en el sistema de gestión.

Se busca explicar:

- ¿Qué factores inciden más directamente en la eficiencia del sistema?
- ¿Por qué se generan ciertas desviaciones de calidad?
- ¿Cómo influyen los puntos críticos, prerrequisitos operacionales y medidas de control?
- ¿Por qué ciertas variables operacionales o ambientales afectan la continuidad o calidad del servicio?
- ¿Qué ajustes podrían mejorar la eficacia del SGIA?

Tabla N°1: Relación entre los enfoques del alcance y las etapas del estudio

Enfoque	Etapa	Pregunta Orientadora	Resultado Esperado
Exploratorio	Revisión bibliográfica y normativa	¿Qué se sabe sobre gestión de inocuidad, agua desalinizada, riesgos y experiencias internacionales?	Base conceptual, antecedentes y variables relevantes
Descriptivo	Caracterización del sistema de Taltal	¿Cómo funciona actualmente el sistema y cuáles son sus indicadores de desempeño?	Diagnóstico técnico-operacional
Correlacional	Análisis de datos e indicadores	¿Qué variables se relacionan con el cumplimiento, desviaciones o eficiencia del sistema?	Identificación de tendencias, asociaciones y patrones
Explicativo	Evaluación de brechas y causas	¿Por qué se producen las brechas y qué factores explican la eficiencia o ineficiencia del sistema?	Interpretación causal y propuesta de mejora

Fuente: *Elaboración propia.*

Estos enfoques permiten que la investigación no se limite a verificar cumplimiento normativo, sino que aporte una mirada preventiva y de gestión del riesgo, coherente con las tendencias internacionales en agua potable. La experiencia de otros países demuestra que los sistemas más robustos son aquellos que integran inocuidad, control operacional, evaluación de riesgos, adaptación climática, gestión de puntos críticos y mejora continua.

CAPITULO III
3. OBJETIVOS

A continuación, se presenta el objetivo general de la investigación, y los 17 objetivos específicos, que representan los pasos de la evaluación metodológica del estudio, asociados a la recopilación de información, su procesamiento, análisis y aplicación de metodologías estadísticas que permiten aportar evidencia técnica para optimizar la producción de agua potable y evaluar el desempeño sistema de gestión de inocuidad del agua implementado por aguas Antofagasta en la comuna de Taltal.

- **Objetivo General**

Evaluar la eficiencia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua implementado en las plantas productoras de agua potable de Taltal de Aguas Antofagasta, aplicando análisis estadístico de datos, indicadores de cumplimiento, identificación de brechas, para proponer mejoras que fortalezcan la inocuidad, la continuidad operacional y la producción de agua potable frente a distintas condiciones de abastecimiento.

- **Objetivos Específicos**

A continuación, se indican los distintos objetivos específicos vinculados a las distintas fases metodológicas de la investigación.

- **Antecedentes del estado del arte**

1. Conocer y analizar la documentación y requisitos normativos del sistema gestión de inocuidad del agua implementados en plantas productivas agua potable.
2. Identificar los principales temas explicados en el magister de gestión del agua, relacionados con la eficiencia de los sistemas.
3. Realizar un curso en Interpretación de la norma ISO 22000: “Sistema De Gestión De Inocuidad “

- **Sujeto de estudio**

4. Caracterizar el Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua de Aguas Antofagasta en la comuna de Taltal, considerando sus procesos, infraestructura, condiciones operacionales y contexto territorial.

- **Marco teórico**

5. Estructurar un marco teórico que sustente la evaluación de la eficiencia del SGIA, integrando enfoques de gestión del riesgo, estabilidad del agua, resiliencia operacional y mejora continua.

- **Propuesta metodológica**

6. Establecer una base de datos histórica para el control de los procesos de cada planta productiva de Taltal.
7. Diseñar el procedimiento de recopilación, validación, sistematización y análisis de la información histórica y operativa del sistema.
8. Definir un modelo de evaluación, basada en indicadores de desempeño, análisis estadístico, criterios de cumplimiento y determinación de brechas.

- **Aplicación metodológica**

9. Evaluar la eficacia de los procesos de postratamiento y remineralización en la estabilidad química del agua producida y distribuida.
10. Calcular la estabilidad microbiológica del sistema y la capacidad del SGIA para prevenir y controlar riesgos que afecten la inocuidad del agua.
11. Aplicar el modelo de evaluación para caracterizar los parámetros operacionales y de calidad del agua, en distintas condiciones de abastecimiento.

- **Resultados**

12. Evidenciar el nivel de cumplimiento de los indicadores de calidad de agua, operacionales y normativos aplicables al sistema de abastecimiento en Taltal.
13. Determinar la eficiencia del SGIA en función de la relación entre desempeño operacional, calidad del agua y continuidad del servicio.

- **Conclusiones**

14. Jerarquizar las principales brechas del SGIA en monitoreo, control, trazabilidad, verificación y respuesta ante contingencias.
15. Establecer como evidencia empírica los diferentes grados de desempeño del sistema.

- **Recomendaciones**

16. Identificar e interpretar los factores que favorecen o limitan la eficiencia del SGIA.
17. Generar recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión de inocuidad del agua, optimizar la producción y mejorar la continuidad del servicio (ver Anexo 1).

CAPITULO IV
4. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se establecen las bases para la construcción del marco teórico del estudio, dado que permite sistematizar y analizar el conocimiento disponible a nivel nacional e internacional. Su propósito es reunir la información bibliográfica proveniente de repositorios científicos, documentos técnicos y literatura especializada, con el fin de identificar los enfoques, conceptos y desarrollos más relevantes para la comprensión del objeto de estudio. A partir de esta revisión, se articulan los antecedentes con el sujeto de estudio y se establecen los fundamentos metodológicos que orientan la selección y aplicación de las técnicas de investigación adecuadas para abordar el problema planteado, tal como se desarrolla en las secciones siguientes.

4.1 ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE

En el proceso de recopilación de antecedentes se revisaron repositorios digitales especializados, webgrafías y los contenidos abordados en el Magíster en Gestión del Agua, incluyendo clases, estudios de caso y trabajos aplicados de cada módulo, con el fin de estudiar todas las variables asociadas al sujeto estudiado. De esta forma, a continuación, se presentan este proceso estructurado en tres secciones: revisión bibliográfica, comparación internacional y vinculación con los ejes formativos del magíster.

- **Revisión bibliográfica**

En la Tabla N°2 se indica un resumen de la bibliografía investigada y la información obtenida a nivel nacional e internacional, 39 lecturas, clasificadas en lecturas específicas (14), fundamentales (18) y complementarias (7). El detalle de cada ficha citada puede ser revisado en el Anexo 2 del documento.

Tabla N°2: Revisión Bibliográfica.

LECTURAS ESPECÍFICAS			
N° Ficha	**Cita Bibliográfica**	**Descriptor**	**Titulo**
1	Kabir, F., Chowdhury, S., Mazumder, M.A.J., Zahir, M.H., Alhooshani, K. (2018).	La temperatura, el pH ligeramente ácido y la presencia de cloro residual favorecen procesos de corrosión y liberación de metales. PD	Efectos de las instalaciones de plomería en las ocurrencias y variabilidad de metales pesados en agua del grifo desalada y mezclada.
2	Duranceau, S. J., Wilder, R. J., & Douglas, S. S. (2012).	Una adecuada alcalinidad (50-150 mg/L como $CaCO_3$) es clave para asegurar estabilidad química y evitar liberación de metales en agua desalinizada.	Impacto de los materiales de las tuberías en la estabilidad de la calidad del agua de mar desalinizada en la red de tuberías.
5	Pronk, W., Ding, A., Morgenroth, E., Derlon, N., Desmond, P., Burkhardt, M., Wu, B., & Fane, A. (2019	"El permeado de ósmosis inversa típicamente tiene un contenido mineral y alcalinidad muy bajos." "Se requiere remineralización para estabilizar el agua antes de su distribución."	Remineralización del agua potable producida por ósmosis inversa: Impacto del postratamiento en la corrosión y la formación de biofilm.
7	Duranceau, S. J., Wilder, R. J., & Douglas, S. S. (2012).	La desinfección primaria generalmente se lograba mediante la adición de cloro, aunque varias instalaciones informaron utilizar cloraminas para la desinfección secundaria. Y Una adecuada alcalinidad (50-150 mg/L como $CaCO_3$) es clave para asegurar estabilidad química y	Una encuesta sobre las prácticas de postratamiento del permeado desalinizado.
12	Teunis, P. F. M., Medema, G., & Kruithof, J. C.	"La evaluación cuantitativa del riesgo microbiano proporciona un marco para estimar el riesgo de infección por patógenos en el agua potable." "La contaminación microbiana de las fuentes de agua potable representa una amenaza importante para la salud pública."	Evaluación Cuantitativa de Riesgos Microbianos para las Amenazas del Consumo de Agua Potable.
16	Chuiprasert, J., Boonprasop, S., Sopawanit, K., Intraluk, T., Taithipmathukon, N., Takkawatakarn, T., & Chaiwat, W. (2026).	«Sistema de flujo continuo» «Coagulantes híbridos»	Diseño y optimización de procesos de una unidad integrada de eliminación de turbidez en un sistema de flujo continuo a escala piloto que utiliza coagulantes híbridos para el tratamiento descentralizado del agua
19	Soman, R., & Raman, M. (2016).	Un enfoque sistemático para la seguridad alimentaria. El análisis de riesgos es muy importante.	Sistema HACCP y análisis y evaluación de peligros, basado en la metodología ISO 22000:2005. Alimentación"
20	Quezada-Quezada, J. C., Flores-García, E., Bautista-López, J., & Quezada-Aguilar, V. (2014).	"La HMI se interconecta con un controlador lógico programable (PLC)" "Permiten apoyar a los operadores en la interpretación de los procesos y en la detección de fallas y la pronta solución de problemas en el sistema"	Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable.
26	Fernandez-Ortega, J., Ulloa-Cedamanos, F., Barbera, J. A., Batiot-Guilhe, C., Jourde, H., & Andreo, B. (2024).	Los recursos hídricos kársticos, tradicionalmente utilizados en todo el mundo para consumo humano, son altamente vulnerables a la contaminación.» «Los sistemas de alerta temprana (EWS) se presentan como una estrategia eficaz de protección a escala de resorte para la identificación en tiempo real de episodios de contaminación en los puntos de captación de agua potable.»	Un marco común para el desarrollo de un sistema de alerta temprana de contaminación de aguas termales en zonas kársticas del Mediterráneo occidental: emplazamientos españoles y Franceses.
29	Olmedo Vázquez, V. M., Minjares Lugo, J. L., Camacho Poyato, E., Hernández Hernández, M. L., & Rodríguez Díaz, J. A. (2017).	"Se evalúa la eficiencia de riego en los módulos de riego, usando la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA)."	Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México).
31	Maza Ávila, F. J., Navarro España, J. L., & Puello Payares, J. G. (2012).	"El DEA mostró el margen de mejora para cada municipio ineficiente para lograr la frontera de eficiencia."	¿Fue eficiente la asignación de recursos en el suministro de agua potable en el departamento de Bolívar - Colombia en el periodo 2007-2008?.
34	Liu, D., Chen, J., Li, S., & Cui, W. (2018).	Este marco integral optimiza la recopilación y el análisis de datos, la emisión de alertas y el apoyo a la toma de decisiones en una plataforma integrada. El prototipo del sistema puede evaluar automáticamente el estado estructural de las tuberías de desviación de agua y emitir las alertas correspondientes a los profesionales pertinentes. El marco propuesto optimiza todo el proceso de gestión y mejora la eficiencia de la respuesta ante emergencias.	Un marco de visualización integrado para respaldar la gestión integral del proceso de seguridad de las tuberías de agua.
38	Molinos-Senante, M., Muñoz, S., & Chamorro, A. (2019).	. «En entornos rurales, la presencia de infraestructura de abastecimiento de agua no garantiza el acceso de la población a agua potable fiable y de alta calidad».«Adoptamos un enfoque innovador para evaluar la calidad del servicio de los sistemas de abastecimiento de agua potable rurales (RDWSS) mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP) y simulaciones de Monte Carlo».«La información proporcionada por el indicador sintético sería muy útil para apoyar a los responsables de la toma de decisiones a la hora de priorizar las inversiones en sistemas de abastecimiento de agua potable en entornos rurales».	Evaluación de la calidad del servicio de suministro de agua potable en entornos rurales: un enfoque basado en índices sintéticos.
39	Vilarinho, H., Pereira, M. A., D'Inverno, G., Nóvoa, H., & Camanho, A. S. (2024	Perspectiva centrada en el cliente. Confiable, seguro, inclusivo, transparente y receptivo.	Índice de Calidad del Servicio de Agua: Un enfoque centrado en el cliente para evaluar la calidad del servicio en el sector del agua.

LECTURAS FUNDAMENTALES			
N° Ficha	**Cita Bibliográfica**	**Descriptor**	**Titulo**
3	Birnhack, L., Penn, R., & Lahav, O. (2008).	"El agua desalinizada no estabilizada puede ser corrosiva para los sistemas de distribución de agua."	Criterios de calidad para agua desalinizada e introducción de un proceso de postratamiento novedoso, rentable y ventajoso.
4	Lesimple, A., Ahmed, F. E., & Hilal, N. (2020).	"El agua desalinizada no es adecuada para su uso directo ya que es propensa a la corrosión y tiene efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente."	Remineralización del agua desalada: Métodos e impacto ambiental.
8	WHO – World Health Organization. (2017).	El enfoque de Planes de Seguridad del Agua (Water Safety Plans) constituye una herramienta clave para mejorar la gestión del recurso hídrico, ya que permite integrar monitoreo, evaluación de riesgos y control operativo en la gestión del agua potable.	Gestión del agua potable: Desafíos y estrategias de adaptación en las comunidades costeras de Bangladesh afectadas por la salinización.
10	Rosborg, I., & Kozisek, F. (2019).	El consumo a largo plazo de agua que carece de minerales esenciales puede contribuir a un desequilibrio de electrolitos.El magnesio y el calcio son electrolitos esenciales para la salud humana.	Efectos sobre la salud del agua desalinizada: papel de las alteraciones electrolíticas en los sistemas biológicos."
11	Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012).	El arsénico, el cadmio, el plomo y el mercurio están entre los metales pesados más tóxicos que afectan la salud humana.	Toxicidad de los metales pesados y el medio ambiente.
14	Gómez-Gutiérrez, A., Miralles, M. J., Corbella, I., García, S., Navarro, S., & Llebaria, X. (2016).	"Las normativas en materia de agua de consumo están destinadas a garantizar que la calidad sanitaria del agua es la adecuada para su consumo."	La calidad sanitaria del agua de consumo.
15	Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Sorlini, S., Damiani, S., & Crotti, B. M. (2018).	El modelo del Plan de Seguridad del Agua (PSA) proporciona un enfoque completamente nuevo, transversal y multidisciplinario para la evaluación del riesgo de contaminación del agua potable." 2. "Debido a sus características, el PSA se integra perfectamente con el sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC)."	De la aplicación del Plan de Seguridad del Agua al logro de la norma ISO 22000:2005: Un estudio de caso.
17	Rodriguez-Alvarez, M. S., Morana, L. B., Salusso, M. M., & Seghezzo, L. (2017).	"Las fuentes sin tratamiento no cumplieron con los requerimientos bacteriológicos en forma permanente"	Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta.
24	Gunnarsdottir, M. J., Gardarsson, S. M., & Bartram, J. (2015).	El agua potable segura es uno de los pilares fundamentales de la sociedad, y la experiencia ha demostrado que se necesita un marco nacional integral para su suministro eficaz».«Los requisitos legales de protección, junto con una vigilancia eficaz de la calidad del agua potable y el desempeño de las empresas de agua, así como una gestión preventiva sistemática del suministro de agua, son elementos clave de dicho marco».	Desarrollo de un marco nacional para el agua potable segura: estudio de caso de Islandia.
25	Gunnarsdottir, M. J., Gardarsson, S. M., Schultz, A. C., Albrechtsen, H.-J., Hansen, L. T., Bergkvist, K. S. G., Rossi, P. M., Kløve, B., Myrmel, M., Persson, K. M., Eriksson, M., & Bartram, J. (2020).	. «El suministro fiable de agua potable es un pilar de la sociedad y fundamental para la salud pública».«Los pequeños sistemas de abastecimiento de agua cumplen menos con la normativa de seguridad hídrica».	Estado del enfoque basado en el riesgo y del marco nacional para el agua potable segura en los pequeños sistemas de abastecimiento de agua del sector hídrico nórdico.
27	McLellan, N., Croll, H. C., Adelman, M. J., Pernitsky, D., & Jacangelo, J. G. (2024).	Se ha desarrollado un marco novedoso que resume la eficacia de las tecnologías de tratamiento de contaminantes emergentes (CE) basándose en los mecanismos generales de mitigación de Eliminación, Inactivación/Degradación y Destrucción (RIDD).. El marco RIDD proporciona una metodología eficiente para que los gestores de sistemas de agua potable identifiquen las lagunas de conocimiento relacionadas con la gestión de los CE en el tratamiento del agua.	Aplicación de un novedoso marco mecanicista para la gestión del agua potable con el fin de mitigar los contaminantes emergentes.
28	Kingsborough, A., Borgomeo, E., & Hall, J. W. (2016	Adoptar un enfoque flexible de adaptación será fundamental para la gestión del riesgo en un contexto de incertidumbre». «Este enfoque ayuda a conciliar múltiples plazos de decisión y demuestra a las partes interesadas el valor de la planificación estratégica de la adaptación a largo plazo»	Vías de adaptación en la práctica: Mapeo de opciones y compensaciones para los recursos hídricos de Londres.
30	Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017).	Los modelos de simulación abordan preguntas hipotéticas.La optimización puede abordar preguntas sobre cómo deberían ser las cosas.Las soluciones modeladas no son sustitutas.	Modelos para identificar y evaluar alternativas.
32	Lombardi, G. V., Stefani, G., Paci, A., Becagli, C., Miliacca, M., Gastaldi, M., Giannetti, B. F., & Almeida, C. M. V. B. (2019).	Este enfoque puede ser útil para que los responsables políticos orienten sus decisiones hacia un sector hídrico más sostenible y eficiente. La principal novedad de este trabajo reside, en primer lugar, en el uso de una muestra más amplia de empresas, lo que la hace más representativa de los diferentes territorios italianos; en segundo lugar, para evaluar el desempeño de las empresas de agua, considera también las pérdidas de agua como variable de resultado relevante del análisis. Las pérdidas de agua desempeñan un papel fundamental en la evaluación del desempeño de las empresas del sector hídrico.	La sostenibilidad del sector hídrico italiano: un análisis empírico mediante DEA
33	Haasnoot, M., van Deursen, W. P. A., Guillaume, J. H. A., Kwakkel, J. H., van Beek, E., & Middelkoop, H. (2014).	"Una ruta de adaptación es una secuencia de acciones políticas para alcanzar objetivos específicos." "Los resultados muestran que dicho modelo se ajusta al propósito de evaluar y clasificar opciones y rutas políticas para apoyar la toma de decisiones estratégicas."	¿Es adecuado para su propósito? Desarrollar y evaluar un modelo rápido e integrado para explorar posibles vías de política hídrica.

36	OECD (2017).	1. "Chile cuenta con más de 40 instituciones relacionadas con el agua, las cuales ejecutan más de 100 funciones, lo que lo convierte en uno de los países más fragmentados en materia de la gestión del agua en la OCDE." "La infraestructura debe considerarse como un medio para un fin." "Las inversiones en infraestructura deberán ir acompañadas de marcos de gobernanza sólidos, apoyados en instituciones fuertes, y mejores sistemas de información con el fin de guiar eficazmente la toma de decisiones en todos los niveles." "Frente a estas futuras tendencias, Chile necesita robustas políticas de agua, con capacidad de adaptación para pasar de la gestión de la oferta a la gestión de la demanda, y pasar de la gestión de crisis a la gestión de riesgos."	La Gobernanza De La Infraestructura De Agua En Chile.
37	van Vliet, M., & Kok, K. (2013).	"La principal ventaja de combinar escenarios exploratorios y normativos radica en la identificación de acciones robustas: acciones que resultan efectivas en los diferentes contextos socioambientales descritos en los escenarios exploratorios." "La lista de estrategias robustas incluye estrategias tanto tecnológicas como sociales/organizacionales, lo que subraya la necesidad de un enfoque integrado." "Una ruta de adaptación es una secuencia de acciones políticas para alcanzar objetivos específicos."	Combinar proyecciones retrospectivas y escenarios exploratorios para desarrollar estrategias hídricas sólidas ante futuros inciertos.
40	Tanner, A. S., McIntosh, B. S., Widdowson, D. C. C., & Tillotson, M. R. (2018).	1. Los hallazgos sugieren que el desarrollo y la adopción de innovaciones en el proceso de inversión en activos tienden a favorecer las oportunidades que se alinean con la regulación, la misión institucional, las ventajas de costo, el riesgo percibido y la capacidad organizacional. Integrar la sostenibilidad en la práctica dentro de una empresa de servicios de agua requerirá cambios no solo en la tecnología, la estructura y los procesos a escala organizacional, sino también en el comportamiento, la cultura, el conocimiento y las habilidades. La investigación encontró que las narrativas sobre la adopción de innovaciones organizacionales se basaban comúnmente en los componentes asociados a las propiedades de la empresa, los eventos cronológicos, las finanzas y el impacto en el servicio.	El Modelo de Adopción de Soluciones para Empresas de Agua (wUAM): Comprender la influencia de la innovación organizativa y procedimental en una empresa de servicios de agua del Reino Unido.
LECTURAS COMPLEMENTARIAS			
N° Ficha	**Cita Bibliográfica**	**Descriptor**	**Titulo**
6	Chen, X., Zhang, L., Singh, V. P., & Guo, S. (2022).	Comprender la estructura de dependencia entre múltiples factores es esencial para una evaluación precisa del riesgo."	Un marco basado en causalidad y copulas para la evaluación del riesgo de inundaciones compuestas
13	Khan, S. J., Deere, D., Leusch, F. D. L., Humpage, A., Jenkins, M., & Cunliffe, D. (2015).	"Los eventos climáticos extremos incluyen lluvias intensas, inundaciones, ciclones, sequías y olas de calor, cada uno de los cuales puede afectar potencialmente la calidad del agua potable." "Los impactos del cambio climático amplificarán los riesgos existentes y crearán nuevos riesgos para los sistemas de suministro de agua."	Eventos meteorológicos extremos: ¿Deberían los sistemas de gestión de la calidad del agua potable adaptarse a los perfiles de riesgo cambiantes?
18	Escanciano, C., & Santos-Vijande, M. L. (2014).	«Las razones más determinantes en esta decisión son de carácter interno, concretamente el deseo de mejorar la eficiencia, la productividad y la calidad».	Razones y limitaciones para la implementación de un sistema de gestión de la inocuidad alimentaria ISO 22000: Evidencia de España.
21	Amblard, L. (2019).	"La contaminación por fuentes difusas de la agricultura representa una amenaza importante para la calidad del agua en la Unión Europea."	Acción colectiva para la gestión de la calidad del agua en la agricultura: el caso de la protección de las fuentes de agua potable en Francia".
22	Carneiro, R. C. V., Wang, C., Yu, J., O'Keefe, S. F., Duncan, S. E., Gallagher, C. D., Burlingame, G. A., & Dietrich, A. M. (2021).	"La retroalimentación de los consumidores es fundamental para resolver eficazmente los problemas de calidad estética del agua."	Enfoque de "marcar si aplica" para que los consumidores y las empresas de servicios públicos se comuniquen sobre la calidad estética del agua potable.
23	Valbonesi, P., Profita, M., Vasumini, I., & Fabbri, E. (2020).	«La presencia de contaminantes emergentes (CEC) en el agua potable representa un desafío para el medio ambiente y la salud humana».Los tratamientos convencionales del agua potable podrían no ser suficientes para eliminar por completo los CEC de las fuentes de agua».	Contaminantes emergentes en el agua potable: Evaluación de la calidad mediante la combinación de análisis químicos y biológicos.
35	Krick, T., Forstater, M., Monaghan, P., & Sillanpää, M. (2005).	1. "Las relaciones exitosas con los stakeholders no sólo ayudan a las empresas a asegurar su liderazgo en un contexto cada vez más complejo y cambiante, sino que sirven también para producir los cambios sistemáticos que requiere el desarrollo sostenible."El esfuerzo por lograr la inclusividad implica que la organización se compromete a reflejar, en todas las etapas de un proceso de relación, los puntos de vista y las necesidades de todos los grupos de stakeholders involucrados." "Relevancia ('Materiality'): requiere saber qué temas preocupan y son importantes para su organización y sus stakeholders."	De las palabras a la acción:" El compromiso con los stakeholders" Manual para la práctica de las relaciones con los grupos de interés. Volumen 2..

Fuente: *Elaboración propia.*

- **Comparativa internacional**

La Tabla N°3 resume la comparación entre el enfoque normativo nacional y los principales referentes internacionales aplicables a calidad sanitaria, gestión del riesgo, inocuidad y continuidad del suministro.

Tabla N°3: Comparativa internacional de los temas de estudio.

Dimensión	Normativa nacional	Referente internacional	Comparación técnica
Calidad sanitaria del agua potable	NCh409/1.Of2005 Agua potable - Parte 1: Requisitos de calidad del agua.	Guías OMS (Organización Mundial de la Salud) para la calidad del agua potable, utilizadas como base para regulaciones y estándares nacionales a nivel mundial.	Chile presenta un enfoque principalmente de cumplimiento de parámetros, mientras que la OMS promueve además una mirada preventiva basada en riesgo.
Regulación sanitaria y continuidad del suministro	El D.S. 735/1969 del Ministerio de Salud: Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano.	OMS, Unión Europea y Australia incorporan enfoques de seguridad del suministro, continuidad operacional y gestión preventiva del riesgo.	La norma chilena reconoce la calidad, cantidad y continuidad como obligaciones sanitarias; los marcos internacionales desarrollan con mayor detalle la gestión preventiva y la evaluación del riesgo operacional.
Control oficial y vigilancia sanitaria	El D.S. 735 asigna a la SEREMI de Salud la función de comprobar condiciones sanitarias, vigilar el funcionamiento de los servicios y hacer cumplir el reglamento.	La Directiva UE 2020/2184 exige programas de control para verificar que el agua destinada al consumo humano cumpla los requisitos establecidos.	Ambos enfoques consideran vigilancia sanitaria; la UE incorpora con mayor fuerza la evaluación de riesgos de la captación, tratamiento y distribución.
Gestión del riesgo / Planes de Seguridad del Agua	En Chile, el enfoque normativo tradicional está más centrado en el cumplimiento de la calidad y la vigilancia sanitaria. La NCh409/1 se aplica considerando las guías de la OMS.	La OMS recomienda los Planes de Seguridad del Agua como el medio más eficaz para asegurar de forma continua la seguridad y aceptabilidad del suministro.	El enfoque internacional actual prioriza la prevención, las barreras múltiples, la identificación de peligros y el control desde la fuente hasta el consumidor.
Inocuidad y Sistema de Gestión	En plantas de agua potable, el cumplimiento sanitario se rige por la NCh409, el D.S. 735 y las exigencias de la autoridad sanitaria y sanitaria-regulatoria.	ISO 22000:2018 establece requisitos para un Sistema de Gestión de Inocuidad Alimentaria, aplicable a organizaciones de la cadena alimentaria y orientado a controlar peligros de inocuidad.	La norma chilena establece los requisitos de calidad del agua potable; ISO 22000 aporta una estructura de gestión: análisis de peligros, prerrequisitos, control operacional, trazabilidad, verificación, auditorías y mejora

Fuente: *Elaboración propia.*

- **Vinculación con los ejes formativos del magíster**

En esta sección, se analizan los principales temas de estudio abordados en la tesis y su vinculación con los contenidos desarrollados durante el Magíster en Gestión del Agua (Tabla N°4). Esta relación permite situar la investigación dentro de un marco académico y aplicado, integrando conocimientos asociados a la gestión del recurso hídrico, la calidad del agua potable, la seguridad sanitaria, la operación

de sistemas de abastecimiento, la gestión del riesgo, la continuidad del servicio y la adaptación frente a escenarios de escasez hídrica y eventos climáticos extremos.

Tabla N°4: Vinculación de Tesis con asignaturas MWM.

Módulo	Asignatura	Aporte conceptual
MWM 100	**Gestión y Planificación de los Recursos Hídricos**	Permitió comprender el Agua como un recurso estratégico, integrando: disponibilidad, demanda, planificación territorial, seguridad hídrica, sustentabilidad y toma de decisiones. Permite analizar sistemas hídricos considerando oferta natural y tecnológica, variabilidad climática, aseguramiento del suministro y criterios de planificación de largo plazo.
MWM 120	**Gestión de la captación y tratamientos de Agua**	Aporta conocimientos sobre fuentes de abastecimiento, captación, tratamiento, control operacional y calidad del agua. Es clave para comprender cómo se transforma el recurso captado en agua apta para consumo, considerando tecnologías, parámetros de control, continuidad productiva, eficiencia del tratamiento y cumplimiento sanitario.
MWM 500	**Gobernanza y Economía del Agua**	Permite analizar el agua desde la institucionalidad, regulación, derechos de aprovechamiento, actores involucrados, costos, tarifas, inversiones y sostenibilidad económica. Aporta una mirada sobre cómo las decisiones públicas, privadas y regulatorias condicionan la gestión eficiente y equitativa del recurso hídrico.
MWM 400	**Gestión de Redes**	Entrega herramientas para comprender la operación, mantención y control de redes de distribución de agua potable. Su aporte conceptual se relaciona con continuidad del servicio, presión, pérdidas, sectorización, renovación de infraestructura, calidad del agua en red y control de riesgos posteriores al tratamiento.
MWM 420	**Gestión del sistema pluvial**	Aporta fundamentos sobre drenaje urbano, escorrentía, eventos extremos, control de inundaciones y adaptación climática. Permite vincular la gestión del agua potable con el comportamiento del sistema urbano frente a lluvias intensas, invierno altiplánico y riesgos de afectación operacional.
MWM 530	**Sistemas de Gestión**	Aporta herramientas de gestión organizacional, mejora continua, gestión por procesos, indicadores, auditorías, documentación, control de brechas y cumplimiento normativo. Es especialmente relevante para evaluar sistemas como ISO 22000:2018 o Sistemas de Gestión de Inocuidad del Agua aplicados a plantas productoras.
MWM 130	**Eficiencia Hídrica**	Entrega criterios para optimizar el uso del agua, reducir pérdidas, mejorar balances hídricos, controlar consumos, evaluar indicadores de eficiencia y fortalecer la sostenibilidad operacional. Permite medir si un sistema aprovecha adecuadamente sus fuentes, infraestructura y procesos productivos.
MWM 140	**Riesgos y Conflictos en la Gestión de los Recursos**	Aporta herramientas para identificar, evaluar y gestionar riesgos técnicos, ambientales, sociales e institucionales asociados al agua. También permite analizar conflictos entre usuarios, escasez, priorización del recurso, vulnerabilidad del sistema y medidas preventivas para asegurar continuidad y resiliencia.

Fuente: *Elaboración propia.*

4.2 CONCEPTOS Y TÉRMINOS CLAVES

La sistematización de los conceptos clave utilizados en la investigación permite relacionar la bibliografía revisada con los enfoques de calidad, control de procesos, riesgo, cumplimiento y mejora continua. Resultado que se puede revisar en la Tabla N°5.

Tabla N°5: Sistematización de la información.

N° Ficha	TITULO LECTURA	PALABRAS CLAVES	ENFOQUE				
L1	**Efectos de las instalaciones de plomería en las ocurrencias y variabilidad de metales pesados en agua del grifo desalada y mezclada.**	• Metales pesados • Calidad del agua • Riesgo salud • Corrosividad • Agua desalinizada	Calidad Fisicoquímica	Cumplimiento Normativo	Gestion de Riesgo y PSW		
L2	**Impacto de los materiales de las tuberías en la estabilidad de la calidad del agua de mar desalinizada en la red de tuberías.**	• Desinfección • Estabilidad química • Remineralización • Corrosividad • CCPP	Calidad Fisicoquímica	Control de Proceso	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua	Gestion de Riesgo y PSW	Cumplimiento Normativo
L3	**Criterios de calidad para agua desalinizada e introducción de un proceso de postratamiento novedoso, rentable y ventajoso".**	• Post-tratamiento • Corrosión en redes de distribución • Estabilidad química • Sistemas de desalinización • Alcalinidad	Calidad Fisicoquímica	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW	Cumplimiento Normativo	
L4	**Remineralización del agua desalada: Métodos e impacto ambiental.**	• Post-tratamiento del agua • Remineralización • Nanofiltración • Impacto ambiental • Agua desalinizada	Cumplimiento Normativo	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW	Cumplimiento Normativo	
L5	**Remineralización del agua potable producida por ósmosis inversa: Impacto del postratamiento en la corrosión y la formación de biofilm.**	• Post-tratamiento del agua • Remineralización • Calidad del agua potable • Ósmosis inversa (RO) • Corrosión en redes de distribución	Cumplimiento Normativo	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW	Cumplimiento Normativo	
L6	**Un marco basado en causalidad y copulas para la evaluación del riesgo de inundaciones compuestas**	• Riesgo hidrológico • Inundaciones compuestas • Análisis de causalidad • Gestión del riesgo • Cambio climático	Gestion de Riesgo y PSW	Eventos por cambio climático			
L7	**Una encuesta sobre las prácticas de postratamiento del permeado desalinizado.**	• Post-tratamiento del permeado • Desinfección • Mezcla (blending) de aguas • Control de corrosión • Remineralización	Control de Proceso	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua	Cumplimiento Normativo		
L8	**Gestión del agua potable: Desafíos y estrategias de adaptación en las comunidades costeras de Bangladesh afectadas por la salinización.**	• Gestión del agua potable • Adaptación climática • Estrategias adaptativas • Seguridad hídrica • Vulnerabilidad hídrica	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras			
L9	**Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta.**	• Calidad microbiológica • Calidad fisicoquímica • Fuentes de agua • Coliformes totales • Escherichia coli	Calidad Fisicoquímica	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua	Cumplimiento Normativo	Proteccion de fuentes y Contaminación	
L10	**Efectos sobre la salud del agua desalinizada: papel de las alteraciones electrolíticas en los sistemas biológicos."**	• Calidad del agua potable • Electrolitos • Magnesio • Calcio • Desalinización	Calidad Fisicoquímica	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua	Cumplimiento Normativo		
L11	**"Toxicidad de los metales pesados y el medio ambiente".**	• Metales pesados • Contaminación del agua • Riesgo sanitario • Toxicidad ambiental • Salud humana	Calidad Fisicoquímica	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua	Gestion de Riesgo y PSW	Cumplimiento Normativo	Proteccion de fuentes y Contaminación
L12	**"Evaluación Cuantitativa de Riesgos Microbianos para las Amenazas del Consumo de Agua Potable".**	• Evaluación cuantitativa de riesgo microbiológico (QMRA) • Riesgos microbiológicos • Calidad del agua potable • Gestión del riesgo sanitario • Patógenos en agua	Calidad Fisicoquímica	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua	Gestion de Riesgo y PSW		
L13	**Eventos meteorológicos extremos: ¿Deberían los sistemas de gestión de la calidad del agua potable adaptarse a los perfiles de riesgo cambiantes?**	• Resiliencia de sistemas de agua • Gestión del agua potable • Gestión del riesgo hídrico • Water Safety Plans • Calidad del agua potable	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras	Eventos por cambio climático		
L14	**La calidad sanitaria del agua de consumo.**	• Calidad sanitaria del agua • Normativa europea • Gestión del agua potable • Legislación sanitaria • Directiva 98	Calidad Fisicoquímica	Gestion de Riesgo y PSW	Cumplimiento Normativo	Implementación y Mejoras	
L15	**De la aplicación del Plan de Seguridad del Agua al logro de la norma ISO 22000:2005: Un estudio de caso".**	• Water Safety Plan (WSP • Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control) • Plan de Seguridad del agua) • HACCP (Hazard Analysis and Critical Control • ISO 22000:2005	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		
L16	**Diseño y optimización de procesos de una unidad integrada de eliminación de turbidez en un sistema de flujo continuo a escala piloto que utiliza coagulantes híbridos para el tratamiento descentralizado del agua**	• optimización de procesos • coagulantes híbridos • tratamiento descentralizado • Remoción de turbidez • sistema de flujo continuo	Calidad Fisicoquímica	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW		
L17	**Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta.**	• Calidad microbiológica • Calidad fisicoquímica • Coliformes totales • Escherichia coli • Nitratos	Calidad Fisicoquímica	Control de Proceso	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua		
L18	**Razones y limitaciones para la implementación de un sistema de gestión de la inocuidad alimentaria ISO 22000: Evidencia de España.**	• Razones De Implementación • ISO 22000 • Sistema De Gestión De Inocuidad • Eficiencia • Calidad	Calidad Fisicoquímica	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras	
L19	**Sistema HACCP y análisis y evaluación de peligros, basado en la metodología ISO 22000:2005. Alimentación"**	• ISO 22000:2005 • control measures • OPRP • CCP • PRP	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		
L20	**Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable.**	• Automatización (SCADA • PLC) • Monitoreo en tiempo real • Control de variables • Pozo de agua potable	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		

Nº Ficha	TITULO LECTURA	PALABRAS CLAVES	ENFOQUE			
L21	**Acción colectiva para la gestión de la calidad del agua en la agricultura: el caso de la protección de las fuentes de agua potable en Francia".**	• Protección de captaciones de agua potable • Protección de fuentes de agua • Gestión de calidad del agua • Agricultura	Calidad Fisicoquímica	Implementación y Mejoras	Proteccion de fuentes y Contaminación	
L22	**Enfoque de "marcar si aplica" para que los consumidores y las empresas de servicios públicos se comuniquen sobre la calidad estética del agua potable.**	• Calidad estética del agua potable (Sabor • Calidad organoléptica • Gestión de servicios de agua • Aceptabilidad del consumidor • Percepción del consumidor	Calidad Fisicoquímica	Proteccion de fuentes y Contaminación		
L23	**Contaminantes emergentes en el agua potable: Evaluación de la calidad mediante la combinación de análisis químicos y biológicos.**	• Contaminantes emergentes • Calidad del agua • Disruptores endocrinos • Bioensayos • Genotoxicidad	Calidad Fisicoquímica	Gestion de Riesgo y PSW	Proteccion de fuentes y Contaminación	
L24	**Desarrollo de un marco nacional para el agua potable segura: estudio de caso de Islandia**	• Protección de fuentes Gobernanza del agua • Regulación del agua potable • Water Safety Plans • Agua potable segura • Gestión preventiva	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua	Gestion de Riesgo y PSW	Cumplimiento Normativo	Proteccion de fuentes y Contaminación
L25	**Estado del enfoque basado en el riesgo y del marco nacional para el agua potable segura en los pequeños sistemas de abastecimiento de agua del sector hídrico nórdico.**	• Enfoque basado en riesgo • Protección de captaciones • Calidad del agua • Water Safety Plan • Agua potable segura	Calidad Fisicoquímica	Riesgo Microbiologico e Inocuidad del Agua	Gestion de Riesgo y PSW	Proteccion de fuentes y Contaminación
L26	**Un marco común para el desarrollo de un sistema de alerta temprana de contaminación de aguas termales en zonas kársticas del Mediterráneo occidental: emplazamientos españoles y Franceses.**	• aguas subterráneas kársticas • calidad del agua • contaminación • turbidez • Sistemas de alerta temprana	Calidad Fisicoquímica	Implementación y Mejoras	Proteccion de fuentes y Contaminación	
L27	**Aplicación de un novedoso marco mecanicista para la gestión del agua potable con el fin de mitigar los contaminantes emergentes.**	• Gestión del agua potable • Contaminantes emergentes • Barreras de tratamiento • Patógenos microbianos • Remoción	Calidad Fisicoquímica	Gestion de Riesgo y PSW	Cumplimiento Normativo	
L28	**Vías de adaptación en la práctica: Mapeo de opciones y compensaciones para los recursos hídricos de Londres.**	• Adaptación al cambio climático • Toma de decisiones bajo incertidumbre • Riesgo hídrico • Planificación adaptativa • Escasez de agua	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras	Eventos por cambio climático	
L29	**Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México).**	• Análisis Envolvente de Datos (DEA) • Eficiencia de riego • Eficiencia técnica pura • Frontera de eficiencia • Gestión del agua	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		
L30	**"Modelos para identificar y evaluar alternativas".**	• Modelo conceptual • Toma de decisiones • Optimización • Evaluación de alternativas • Modelación de recursos hídricos	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		
L31	**¿Fue eficiente la asignación de recursos en el suministro de agua potable en el departamento de Bolívar - Colombia en el periodo 2007-2008?.**	• Eficiencia • Análisis Envolvente de Datos (DEA) • Benchmarking • Agua potable • Asignación de recursos	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		
L32	**La sostenibilidad del sector hídrico italiano: un análisis empírico mediante DEA**	• Sostenibilidad • Análisis Envolvente de Datos (DEA) • Eficiencia técnica • Eficiencia ambiental • Eficiencia económica	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		
L33	**Es adecuado para su propósito? Desarrollar y evaluar un modelo rápido e integrado para explorar posibles vías de política hídrica.**	• Modelo integrado • Toma de decisiones estratégicas • Gestión del agua • Incertidumbre profunda • Cambio climático	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras	Eventos por cambio climático	
L34	**Un marco de visualización integrado para respaldar la gestión integral del proceso de seguridad de las tuberías de agua.**	• Gestión integral del proceso • Seguridad de tuberías de agua • Monitoreo estructural • Toma de decisiones • Gestión de emergencias	Control de Proceso	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras	Eventos por cambio climático
L35	**De las palabras a la acción:" El compromiso con los stakeholders" Manual para la práctica de las relaciones con los grupos de interés**	• Compromiso con stakeholders • Relación con stakeholders • Stakeholders • Capacidad de respuesta • Gobernanza	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		
L36	**La Gobernanza De La Infraestructura De Agua En Chile.**	• Gobernanza del agua • Gestión de riesgos hídricos • Escasez hídrica • Cambio climático • Agua potable rural	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras	Eventos por cambio climático	
L37	**Combinar proyecciones retrospectivas y escenarios exploratorios para desarrollar estrategias hídricas sólidas ante futuros inciertos.**	• Gestión del agua Futuros inciertos • Estrategias robustas • Planificación adaptativa • Participación de stakeholders • Escenarios exploratorios	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras		
L38	**Evaluación de la calidad del servicio de suministro de agua potable en entornos rurales: un enfoque basado en índices sintéticos.**	• Calidad del servicio • Agua potable rural • Sostenibilidad económica • Índice sintético • Servicios de agua	Calidad Fisicoquímica	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras	
L39	**Índice de Calidad del Servicio de Agua: Un enfoque centrado en el cliente para evaluar la calidad del servicio en el sector del agua.**	• Índice de calidad del servicio de servicios de agua (WUSQI) • calidad del servicio • enfoque centrado en el cliente • Análisis de envolvente de datos (DEA) • regulación del agua	Calidad Fisicoquímica	Gestion de Riesgo y PSW	Implementación y Mejoras	
L40	**El Modelo de Adopción de Soluciones para Empresas de Agua (wUAM): Comprender la influencia de la innovación organizativa y procedimental en una empresa de servicios de agua del Reino Unido.**	• Adopción de innovación • Innovación organizacional • Procesos de inversión en infraestructura • Capacidad de absorción • Toma de decisiones	Control de Proceso	Implementación y Mejoras	Cumplimiento Normativo	

***Fuente**: Elaboración propia*

A continuación, se definen los conceptos principales bajo el contexto del estudio respecto del sistema de gestión de inocuidad del agua (SGIA), el plan de seguridad del agua (PSA) y otros de interés.

- **Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA)**

El SGIA se refiere a la implementación de los principios de la norma ISO 22000 en términos de la producción y distribución de agua potable. Si bien, esta norma fue desarrollada para la inocuidad alimentaria, su estructura es plenamente aplicable a los sistemas de agua, dado que el agua potable es considerada un alimento. La implementación del SGIA constituye una decisión estratégica organizacional, orientada a fortalecer el desempeño en inocuidad mediante un enfoque basado en procesos que abarca desde la recepción del agua cruda hasta la entrega del agua potable al usuario final.

Aplicado al caso de estudio, el SGIA integra componentes como la comunicación efectiva, la gestión del sistema, los programas de prerrequisitos (PPR) y los principios del análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP). Esta combinación permite mejorar la eficacia y eficiencia de la organización en el cumplimiento de los resultados previstos. Asimismo, el SGIA facilita la evaluación de si las plantas cuentan con controles suficientes para abordar los riesgos asociados a desviaciones de calidad, responder adecuadamente ante fallas operacionales y mantener la producción de agua conforme a los requisitos sanitarios y normativos vigentes.

- **Plan de Seguridad del Agua (PSA)**

El plan de seguridad del agua es una herramienta preventiva para identificar peligros, evaluar riesgos y definir medidas de control en el proceso de producción de agua potable. Su importancia está en que permite pasar desde una gestión reactiva, basada en resultados finales, hacia una gestión anticipativa basada en riesgos.

En Taltal, este enfoque permite ordenar los riesgos asociados a la fuente, filtración, ósmosis inversa, remineralización, desinfección, continuidad operacional y eventos que pueden afectar la calidad del agua producida.

- **Otros conceptos de interés**

NCh ISO 22000:2018: entrega una estructura para organizar el SGIA mediante liderazgo, planificación, apoyo, operación, evaluación del desempeño y mejora continua. HACCP complementa este enfoque al identificar peligros y definir controles preventivos para proteger la inocuidad del agua.

HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points): es un sistema preventivo de gestión de inocuidad que identifica, evalúa y controla los peligros biológicos, químicos y físicos que pueden afectar la seguridad de un alimento (incluido el agua potable cuando se considera un producto alimentario).

Eficiencia: se refiere a lograr ese resultado utilizando adecuadamente los recursos disponibles, tales como energía, reactivos, personal, controles analíticos y tiempo de operación.

Eficacia: se entiende como la capacidad del SGIA para lograr el resultado esperado: producir agua potable segura, estable y conforme a la normativa.

Desempeño: se refiere al comportamiento medible del sistema en el tiempo. Por ello, permite observar si el SGIA funciona adecuadamente, si mantiene bajo control los peligros y si sus resultados mejoran, se mantienen o presentan brechas.

Riesgo: corresponde a la probabilidad de que ese peligro ocurra y genere un efecto adverso sobre la calidad del agua o la salud de los consumidores.

Peligro: corresponde a cualquier agente o condición que pueda afectar la inocuidad del agua potable, como contaminación microbiológica, presencia de arsénico, turbiedad elevada, pérdida de cloro residual, inestabilidad química o fallas de tratamiento.

Brecha: representa la diferencia entre lo que el sistema debería cumplir y lo que efectivamente cumple, ya sea en documentación, operación, monitoreo, trazabilidad o respuesta ante desviaciones.

Punto crítico de control: es una etapa del proceso donde el control es esencial para evitar que un peligro comprometa la inocuidad del agua. Estos puntos permiten focalizar la evaluación del SGIA en las etapas más sensibles del proceso productivo.

Estabilidad química: se refiere a la capacidad del agua tratada para mantener condiciones fisicoquímicas adecuadas, evitando corrosión, incrustaciones, liberación de metales, variaciones de pH o pérdida de alcalinidad. Este concepto es especialmente importante en la planta desaladora, ya que el agua producida por ósmosis inversa requiere remineralización y ajuste antes de ser distribuida.

Estabilidad microbiológica: corresponde a la condición en que el agua no favorece el crecimiento de microorganismos ni la formación excesiva de biopelículas. En esta tesis, ambos conceptos son relevantes porque permiten evaluar no solo si el agua cumple al salir de planta, sino también si mantiene condiciones adecuadas de seguridad y calidad después del tratamiento.

Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés**):** es una herramienta cuantitativa para evaluar la eficiencia relativa de las plantas, procesos o periodos operacionales. Su utilidad está en comparar cómo distintas unidades transforman insumos, como energía, reactivos, controles y horas de operación, en resultados deseables, como agua potable conforme, continuidad operacional y estabilidad del producto.

I**ndicadores de eficiencia:** permiten medir el desempeño del SGIA de manera objetiva. En esta tesis, estos indicadores pueden incluir cumplimiento normativo, volumen de agua producida, número de desviaciones, consumo de recursos, continuidad del servicio, controles dentro de especificación, acciones correctivas cerradas y trazabilidad documental.

En conjunto, el DEA y los indicadores de eficiencia permiten evaluar el cumplimiento del sistema, así como si se realiza de manera eficiente, comparable y orientada a la mejora continua.

4.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL ESTADO DEL ARTE

El estado del arte muestra una transición desde enfoques centrados en el cumplimiento normativo hacia modelos preventivos basados en riesgo, control operacional, estabilidad del agua y continuidad del servicio.

Esta evolución es especialmente relevante para Taltal, donde conviven una planta de filtros y una planta desaladora, con fuentes, tecnologías y riesgos operacionales distintos.

En este sentido, el Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA) es una herramienta técnica y organizacional orientada a asegurar que el agua producida y distribuida cumpla condiciones de seguridad sanitaria, estabilidad fisicoquímica y control microbiológico. Su eficiencia no se limita a la existencia documental del sistema, sino que debe verificarse mediante indicadores, análisis estadístico, control de brechas, gestión de riesgos y evidencia operacional.

Conforme a proporcionar una mayor robustez de la situación actual, se plantean dos ejes a explorar, uno respecto de qué sabe la ciencia sobre el tema y el otro sobre la revisión de antecedentes que permitan determinar estado del tema investigado.

4.3.1 Qué sabe la ciencia del tema investigado

La ciencia actual reconoce que el agua potable segura es esencial para la salud pública, la sostenibilidad territorial y el desarrollo de las comunidades. Desde esta perspectiva, el abastecimiento de agua potable debe abordarse como un sistema complejo, en el cual interactúan variables fisicoquímicas, microbiológicas, operacionales, normativas, climáticas y sociales. Gunnarsdottir, Gardarsson y Bartram (2015) plantean que el agua potable segura requiere un marco integral que combine requisitos legales, vigilancia efectiva, desempeño de las empresas sanitarias y gestión preventiva del suministro.

Uno de los principales avances científicos en esta materia corresponde al enfoque de gestión basado en riesgos. La Organización Mundial de la Salud, a través de los Planes de Seguridad del Agua, ha promovido una mirada preventiva que permite integrar monitoreo, evaluación de peligros y control operativo en todas las etapas del sistema de abastecimiento. Esta visión se relaciona directamente con los sistemas de gestión de inocuidad, debido a que permite identificar peligros antes de que se transformen en incumplimientos sanitarios o fallas de servicio.

Collivignarelli et al. (2018) señalan que el Plan de Seguridad del Agua proporciona un enfoque transversal y multidisciplinario para la evaluación del riesgo de contaminación del agua potable, y que por sus características se integra adecuadamente con sistemas basados en HACCP e ISO 22000. Esto resulta pertinente para la presente investigación, ya que permite vincular la inocuidad del agua con herramientas de análisis de peligros, puntos críticos de control, programas prerrequisito, monitoreo, trazabilidad y mejora continua.

En sistemas abastecidos mediante agua desalinizada, la literatura destaca que el agua producida por ósmosis inversa puede presentar baja alcalinidad, baja dureza, bajo contenido mineral y escasa capacidad tampón. Pronk et al. (2019) indican que el permeado de ósmosis inversa típicamente posee bajo contenido mineral y baja alcalinidad, razón por la cual se requiere remineralización para estabilizar el agua antes de su distribución. En la misma línea, Birnhack, Penn y Lahav (2008) advierten que el agua desalinizada no estabilizada puede ser corrosiva para los sistemas de distribución.

Esta condición es relevante para el caso de estudio, ya que la inocuidad del agua no depende únicamente del tratamiento inicial, sino también de la estabilidad del agua durante su conducción, almacenamiento y distribución. Kabir et al. (2018) señalan que la temperatura, el pH ligeramente ácido y la presencia de cloro residual pueden favorecer procesos de corrosión y liberación de metales. Por ello, parámetros como pH, alcalinidad, calcio, dureza, conductividad, cloro residual, índice de Langelier, corrosividad y presencia de metales deben formar parte del análisis de eficiencia del SGIA.

La ciencia también ha avanzado en la evaluación del riesgo microbiológico. Teunis et al. (2025) plantean que la evaluación cuantitativa del riesgo microbiano permite estimar el riesgo de infección por patógenos en el agua potable. Este enfoque es relevante porque permite pasar desde una mirada reactiva, basada solo en la detección de incumplimientos, hacia una gestión preventiva que evalúa probabilidades, exposición, consecuencias y medidas de control.

Asimismo, los eventos climáticos extremos han incorporado nuevas exigencias a los sistemas de agua potable. Khan et al. (2015) indican que lluvias intensas, inundaciones, sequías, ciclones y olas de calor pueden afectar potencialmente la calidad del agua potable, amplificando riesgos existentes y generando nuevos riesgos para los sistemas de suministro. Esto justifica que el SGIA de Taltal sea evaluado considerando cambios en las condiciones de abastecimiento, como, por ejemplo: eventos asociados al invierno altiplánico, variabilidad de fuentes, afectación de infraestructura y continuidad operacional.

En síntesis, la ciencia actual respalda una evaluación del SGIA basada en cumplimiento, estabilidad, riesgo, eficiencia, trazabilidad y mejora continua.

4.3.2 Estado del tema investigado

El acceso a agua potable segura constituye uno de los pilares fundamentales de la salud pública y de la gestión sanitaria. En la actualidad, corresponde a un servicio público esencial, prestado bajo un régimen regulatorio que exige continuidad, regularidad y calidad del suministro.

En Chile, este servicio es fiscalizado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), organismo que controla que las sanitarias han de cumplir la normativa vigente respecto de la calidad del agua potable. La regulación nacional establece que las condiciones mínimas de calidad deben ajustarse a la NCh 409/1 Of2005, Agua Potable – Parte 1: Requisitos y Parte 2: Muestreo, y que ninguna sanitaria puede suministrar agua a sus usuarios en condiciones distintas a las señaladas por dicha normativa, salvo autorización de la autoridad. Además, la sanitaria debe garantizar la continuidad del servicio, lo que vincula directamente la calidad del agua con la operación permanente del sistema de abastecimiento.

En este contexto, la información publicada por la SISS adquiere importancia para este estudio, ya que las sanitarias informan periódicamente los resultados asociados al autocontrol de calidad del agua potable. La Superintendencia publica boletines mensuales que dan cuenta del cumplimiento de las normas de calidad del agua por parte de las empresas que prestan el servicio (Tabla N°6), permitiendo observar el comportamiento de parámetros bacteriológicos, físicos, químicos, de desinfección y de muestreo. Esta información transforma el cumplimiento normativo en una fuente objetiva de seguimiento, trazabilidad y comparación entre empresas, localidades y periodos de operación.

Tabla N°6: Resultados Evaluación de cumplimiento por Sanitaria.

PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO ACUMULADO SEGÚN CONCESIONARIA
Período: Enero a Diciembre - 2025

AÑO	CONCESIONARIA	BACTERIOLOGÍA		TURBIEDAD		CLORO LIBRE RESIDUAL		PARÁMETROS DE CONTROL MENSUAL		PARÁMETROS DE CONTROL SEMESTRAL O CONTROL ANUAL	
		MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD
2025	AGUAS ANDINAS	100,0%	100,0%	100,0%	92,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
2025	AGUAS ANTOFAGASTA	100,0%	100,0%	100,0%	81,6%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	100,0%
2025	AGUAS ARAUCANIA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,5%	100,0%	96,9%	96,9%
2025	AGUAS CORDILLERA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
2025	AGUAS DE COLINA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	100,0%	100,0%
2025	AGUAS DECIMA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	92,1%	91,9%
2025	AGUAS DEL ALTIPLANO	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	94,4%	95,8%	100,0%	100,0%
2025	AGUAS DEL VALLE	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	82,0%	85,5%	100,0%	100,0%
2025	AGUAS LA SERENA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	99,8%	99,6%
2025	AGUAS MAGALLANES	92,7%	100,0%	93,0%	35,8%	100,0%	93,0%	98,4%	97,6%	100,0%	100,0%

***Fuente**: www.siss.cl*

Para esta tesis, la información SISS permite contrastar el desempeño interno del SGIA con una referencia regulatoria externa y observar tendencias de cumplimiento, desviaciones puntuales y parámetros sensibles.

La revisión documental confirma que la gestión de calidad del agua potable requiere integrar cumplimiento normativo, autocontrol, control operacional, monitoreo, documentación y respuesta frente a desviaciones.

En plantas desaladoras, la evidencia técnica enfatiza el postratamiento y la estabilidad química del agua producida. La baja mineralización del permeado puede generar tendencia corrosiva si no se ajustan adecuadamente pH, alcalinidad, dureza y desinfección.

En este sentido, Lesimple, Ahmed e Hilal (2020) señalan que el agua desalinizada requiere procesos de remineralización y un control riguroso del pH, la alcalinidad y la dureza antes de su ingreso a la red, ya que el postratamiento cumple

un rol clave al preparar el agua para su uso final, incluyendo la desinfección, el control de la corrosión y su estabilización.

La literatura también advierte que la calidad del agua potable en la red de distribución no siempre coincide con la que se observa a la salida de los sistemas de producción. Factores como las instalaciones internas, los estanques domiciliarios, los tiempos de estancamiento y los materiales de plomería pueden alterar la concentración de ciertos metales y, en consecuencia, influir en la percepción del consumidor. Este punto resulta especialmente importante, ya que plantea la necesidad de revisar si el alcance del SGIA está adecuadamente definido para los objetivos de este estudio.

Otro aspecto clave en el análisis del tema es la necesidad de adaptar la gestión del agua potable frente a los desafíos que imponen los eventos extremos y el cambio climático. La literatura revisada coincide en que fenómenos como lluvias intensas, inundaciones, sequías, olas de calor e incendios pueden afectar significativamente la calidad del agua, tanto en sus fuentes como en los reservorios, los procesos de tratamiento y los sistemas de distribución. En esta línea, Khan et al. (2015), advierten que estos eventos pueden impactar desde las captaciones y el almacenamiento hasta la integridad de las redes de distribución, lo que hace imprescindible que la gestión de la calidad del agua potable evolucione y se ajuste a escenarios de riesgo cada vez más dinámicos.

Esta perspectiva resulta especialmente pertinente para Taltal, considerando que la continuidad del abastecimiento y la estabilidad de la calidad del agua pueden verse condicionadas por eventos asociados al invierno altiplánico, restricciones hídricas, variabilidad operacional y alta dependencia de sistemas productivos complejos. En este escenario, el cumplimiento mensual informado a la SISS constituye una base de verificación, pero la eficiencia del SGIA exige analizar también la capacidad del sistema para anticipar riesgos, sostener controles operacionales, responder ante desviaciones y mantener evidencia documental suficiente.

La integración entre Planes de Seguridad del Agua, HACCP e ISO 22000 constituye una base técnica adecuada para ordenar peligros, controles, registros, acciones correctivas y mejora continua.

Desde la perspectiva organizacional, la implementación de un SGIA no responde únicamente a exigencias externas, sino también a objetivos internos de eficiencia, control documental, mejora de procesos, asignación de responsabilidades y fortalecimiento de la confianza en la gestión. Para el caso de Taltal, esto implica evaluar no solo si el agua cumple la NCh 409/1 en los controles mensuales, sino también si el sistema cuenta con mecanismos eficaces para prevenir desviaciones, detectar oportunamente cambios en la calidad del agua cruda, controlar la remineralización, asegurar la desinfección, mantener continuidad operacional y respaldar técnicamente las decisiones adoptadas.

En consecuencia, los antecedentes regulatorios y científicos justifican que el SGIA de Taltal sea evaluado mediante indicadores de cumplimiento, estabilidad, eficiencia relativa y gestión de brechas.

Para el caso de Taltal, esta brecha adquiere especial importancia, ya que el sistema de abastecimiento se inserta en un contexto de vulnerabilidad hídrica, dependencia de procesos productivos complejos y exposición a cambios en las condiciones de abastecimiento de aguas asociadas al invierno altiplánico. Por ello, la evaluación del SGIA debe considerar no solo el cumplimiento normativo, sino también la capacidad del sistema para gestionar peligros, controlar procesos, mantener la continuidad operacional, responder ante desviaciones, asegurar trazabilidad documental y sostener la inocuidad del agua desde el ingreso del agua cruda hasta la salida de agua potable.

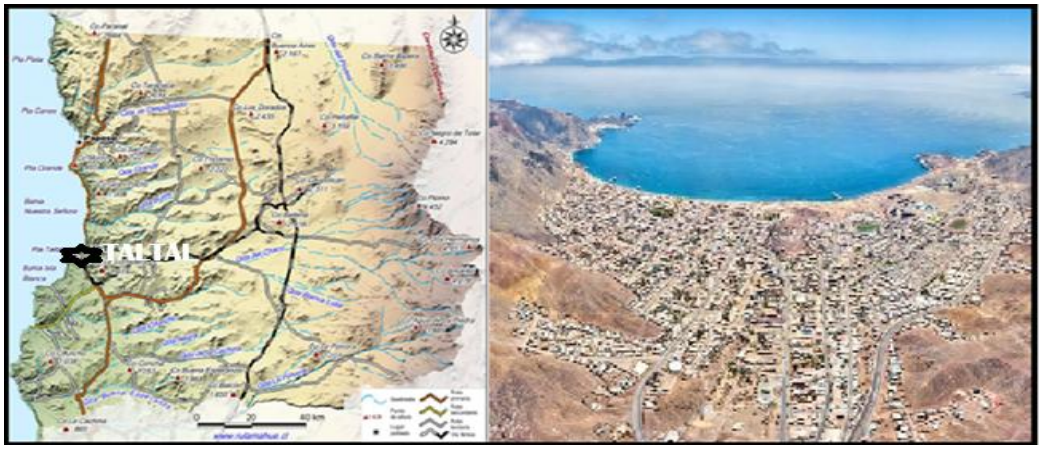
4.4 SUJETO DE ESTUDIO

El sujeto de estudio de esta tesis corresponde al SGIA aplicado en las plantas productoras de agua potable de Aguas Antofagasta ubicadas en Taltal, evaluado durante el periodo 2023 a junio de 2026. El análisis se concentra en el proceso productivo comprendido entre el ingreso de agua cruda y la salida de agua potable de cada planta.

4.4.1 Contexto territorial de Taltal

Taltal se sitúa en el borde costero sur de la región de Antofagasta, en una zona donde el desierto de Atacama se encuentra con el océano Pacífico. La comuna posee una superficie aproximada de 20.405,1 km² y una población de 12.097 habitantes, según el Censo 2024 (Biblioteca del Congreso Nacional [BCN], 2025). Estas características conforman un territorio extenso, de baja densidad poblacional y con una concentración urbana principalmente litoral, lo que refuerza su condición de localidad intermedia y relativamente aislada dentro del sistema urbano regional.

Figura N°1: Situación geográfica y Taltal.



***Fuente**: Adaptado de www.reporteminero.cl*

Geográficamente, la ciudad se emplaza en una franja costera marcada por farellones, quebradas, terrazas litorales y zonas de transición entre la Cordillera de la Costa y el mar (Figura N°1). Esta configuración territorial le otorga una identidad vinculada al borde costero, pero también impone restricciones relevantes para su desarrollo, principalmente por la limitada disponibilidad de agua dulce, la aridez del suelo, la presencia de quebradas activas frente a lluvias intensas y la dependencia de infraestructura para transporte, energía y abastecimiento de agua.

La historia y economía de Taltal han estado profundamente relacionadas con la minería. De acuerdo, con el PLADECO comunal, el desarrollo de la localidad se originó con la explotación minera y posteriormente se consolidó durante el ciclo salitrero, etapa en la que la ciudad adquirió relevancia como puerto de salida de minerales y salitre (Ilustre Municipalidad de Taltal, 2015). En la actualidad, la minería

continúa siendo una actividad económica central, aunque convive con otros sectores como el comercio, transporte, servicios de alimentación, alojamiento, construcción, pesca artesanal y actividades asociadas al turismo patrimonial, costero y astronómico. Según los registros económicos comunales, en 2023 Taltal contaba con 963 empresas, principalmente micro y pequeñas empresas, destacando los rubros de comercio, transporte, alojamiento, servicios de comida, minería y construcción (BCN, 2025).

La conectividad de Taltal constituye una condición importante para comprender la operación del sistema sanitario local. Ya que, mantiene una situación de relativo aislamiento respecto de otras localidades de la región, y se vincula principalmente a través de la Ruta 1, la cual empalma con la Ruta 5. Esta condición incide directamente en la logística de insumos, el mantenimiento de instalaciones, la atención de emergencias y la continuidad de servicios esenciales, incluido el abastecimiento de agua potable (Ilustre Municipalidad de Taltal, 2015).

Climáticamente, Taltal se inserta en un ambiente desértico costero, con baja frecuencia de precipitaciones. No obstante, ha presentado eventos extremos como el aluvión del 25 de marzo de 2015 lo que evidencia que el territorio también está expuesto a amenazas de baja frecuencia, pero alto impacto. En dicho evento, una precipitación extraordinaria de 67 mm provocó el rebalse de piscinas aluvionales en la quebrada Taltal, generando escurrimientos de barro y daños materiales relevantes (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2022). Este antecedente resulta importante para el análisis del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua, ya que demuestra que los riesgos climáticos pueden afectar no solo a la ciudad, sino también a la infraestructura sanitaria crítica.

El abastecimiento de agua potable de Taltal debe entenderse dentro de este contexto territorial exigente. La localidad se abastece principalmente desde sondajes ubicados en el sector de Agua Verde, aproximadamente a 70 km al nororiente de la ciudad, desde donde el agua es conducida hacia las instalaciones de tratamiento correspondientes. Aguas de Antofagasta cuenta además con infraestructura regional compuesta por captaciones, plantas de tratamiento,

conducciones, estanques de regulación, laboratorios de control de calidad y plantas desaladoras, lo que permite sostener la producción y distribución de agua potable en distintas localidades de la región (Humphreys, 2024).

El suministro de aguas en Taltal considera la captación de agua cruda, conducción, tratamiento, almacenamiento y posterior distribución hacia la red urbana. Asimismo, la planta desaladora forma parte del contexto estratégico del suministro, ya que representa una fuente alternativa y no convencional frente a restricciones de disponibilidad, fallas en la aducción o situaciones de emergencia.

Respecto de la cobertura, se debe distinguir entre la comuna completa y el territorio operacional urbano concesionado. Dado que Taltal posee una superficie extensa y asentamientos dispersos, el análisis sanitario debe concentrarse en el área efectivamente abastecida por el sistema urbano de agua potable. A nivel de sanitaria, el Informe de Coberturas Sanitarias de la SISS reporta altos niveles de cobertura formal para Aguas de Antofagasta en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas (SISS, 2023).

En consecuencia, Taltal constituye un caso de estudio pertinente para evaluar el Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua, debido a que combina aridez extrema, dependencia de fuentes subterráneas distantes, infraestructura de conducción vulnerable, presencia de tratamiento convencional, apoyo mediante desalación, población concentrada en un núcleo urbano costero y exposición a eventos climáticos severos. Por ello, el análisis del SGIA debe considerar no solo la calidad del agua producida, sino también la continuidad operacional, la resiliencia de la infraestructura, la trazabilidad del control sanitario y la capacidad del sistema para asegurar agua potable segura desde el ingreso del agua cruda a la planta hasta su entrega final a la población.

4.4.2 Planta de filtros

La Planta de Filtros O’Higgins forma parte del sistema de producción de agua potable de Aguas Antofagasta en la localidad de Taltal. Su origen de vincula directamente con la necesidad histórica de asegurar agua apta para consumo humano en una zona donde las fuentes continentales presentan limitaciones de

disponibilidad y calidad química (por el alto contenido de arsénico presente) característico de las fuentes hídricas del norte de Chile. De acuerdo con Ruffino et al. (2022), esta planta inició su operación en 1998 y trata aguas subterráneas provenientes de los pozos de Agua Verde, ubicados aproximadamente a 70 km al noreste de Taltal. Su capacidad de tratamiento reportada es de 32 L/s aprox.

Su proceso productivo se basa en un esquema de filtración directa para abatimiento de arsénico. El agua cruda extraída desde los pozos es sometida inicialmente a oxidación con hipo clorito de sodio, etapa que favorece la transformación química del arsénico y contribuye al control microbiológico inicial. Posteriormente, se dosifica cloruro férrico, que genera flóculos de hidróxido de hierro capaces de adsorber el arsénico presente en el agua. Luego, estos flóculos son retenidos en filtros rápidos, originalmente compuestos por arena y carbón activado. Finalmente, el agua es sometida a desinfección final con Hipoclorito de sodio antes de ser incorporada al sistema de distribución.

Para esta tesis, la PFOH representa un sistema donde la eficiencia del SGIA se relaciona con el control de un peligro químico crítico y con la estabilidad del proceso de tratamiento convencional.

4.4.3 Planta desaladora

La planta desaladora de Taltal surge como una respuesta a la escasez hídrica estructural del borde costero de la región de Antofagasta y a la necesidad de diversificar las fuentes de abastecimiento de agua potable. Su origen se relaciona con la transición regional hacia el uso de fuentes hídricas no convencionales, particularmente agua de mar desalinizada. El estudio sobre agua y energía en regiones mineras desérticas señala que la región de Antofagasta ha sido pionera en Chile en la incorporación de agua de mar directa o desalinizada dentro de su matriz hídrica, como respuesta al agotamiento observado en las fuentes continentales y a la presión de la demanda regional.

En términos históricos, la relación de Taltal con el uso del agua de mar no es reciente. En el 2008, Aguas Antofagasta inauguró, junto a la Municipalidad de Taltal, una planta desaladora en el marco del aniversario de la ciudad. Sin embargo, se

tienen antecedentes que, desde el periodo salitrero, existieron experiencias locales de uso de agua de mar y sistemas de evaporación y condensación para abastecimiento humano e industrial.

La fuente principal de esta planta es el agua de mar, lo que permite disminuir la dependencia de fuentes continentales, que suelen ser escasas o presentar complejidades químicas. La información revisada muestra que su capacidad ha variado a lo largo del tiempo: Ruffino et al. (2022) reportan una producción aproximada de 5 L/s, mientras que el diagnóstico regional de Rodríguez et al. (2014) indica una capacidad instalada de 10 L/s al año 2013, con una ampliación proyectada a 60 L/s. Actualmente, la planta de Taltal opera con una producción de alrededor de 12 L/s, lo que refleja una evolución progresiva de su capacidad. En este sentido, para efectos de esta tesis, resulta pertinente destacar que la planta ha seguido una trayectoria de crecimiento por etapas, pasando de una operación de bajo caudal a un rol cada vez más relevante en la seguridad hídrica local.

El proceso productivo de la Planta Desaladora de Taltal se basa en la ósmosis inversa. El proceso comienza con la captación de agua de mar, continúa con una etapa de pretratamiento, que incluye doble filtración y acondicionamiento químico para reducir sólidos, controlar incrustaciones y proteger las membranas. Posteriormente, el agua ingresa al proceso de ósmosis inversa, donde las membranas separan las sales disueltas hasta obtener un permeado de baja salinidad apto para consumo humano. Finalmente, el agua producida recibe re mineralización, desinfección y fluoración antes de ser distribuida. El rechazo salino generado por el proceso es devuelto al mar.

Para esta tesis, la PDTT permite evaluar el SGIA frente a una fuente no convencional donde la eficiencia no depende solo del volumen producido, sino también de la estabilidad química, la inocuidad y la continuidad operacional.

El SGIA de Taltal, referenciado en la NCh ISO 22000:2018, comprende el proceso desde el ingreso de agua cruda hasta la salida de agua potable producida en ambas plantas, considerando las particularidades de cada fuente y tecnología de tratamiento.

En la PFOH, el alcance se relaciona con el control de agua subterránea, dosificación de reactivos, abatimiento de arsénico, filtración, turbiedad y desinfección.

En la PDTT, el alcance considera captación marina, pretratamiento, ósmosis inversa, remineralización, desinfección, fluoración y estabilidad química del agua producida.

En conjunto, ambas plantas permiten evaluar el SGIA bajo una lógica preventiva basada en riesgo, control operacional, trazabilidad, verificación y mejora continua.

4.5 MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE

Una vez revisada, ordenada y analizada la información disponible en el estado del arte, se plantea el modelo teórico. Su finalidad es establecer la base conceptual y metodológica que permite comprender cómo se abordará el problema de investigación, cuáles son sus variables principales, qué relaciones existen entre ellas y desde qué enfoque será posible proponer una respuesta técnica. En este sentido, el modelo teórico actúa como una estructura orientadora que vincula los antecedentes bibliográficos, la experiencia profesional, el contexto territorial y los criterios metodológicos necesarios para evaluar la eficiencia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua en las plantas productoras de agua potable de Taltal.

En el caso de esta tesis, el modelo teórico se construye a partir de los antecedentes revisados sobre sistemas de gestión de inocuidad, Norma ISO 22000, Planes de Seguridad del Agua, desalinización, estabilidad química, control operacional, continuidad del servicio, gestión del riesgo y adaptación frente a distintas condiciones de abastecimiento. Estos elementos permiten establecer que la eficiencia de un Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua no puede evaluarse únicamente mediante resultados analíticos finales, sino mediante una visión integral que considere la identificación de peligros, el control de procesos, la trazabilidad documental, el cumplimiento normativo, la capacidad de respuesta frente a desviaciones y la mejora continua. Este enfoque es coherente con lo señalado por la Organización Mundial de la Salud, que plantea que la seguridad del agua potable

debe gestionarse bajo una lógica preventiva, desde la fuente de abastecimiento hasta el consumidor, mediante Planes de Seguridad del Agua basados en la evaluación y control del riesgo (World Health Organization, 2023).

Desde esta perspectiva, los sistemas de gestión aplicados al agua potable deben comprenderse como herramientas preventivas y no solo reactivas. La Norma ISO 22000:2018 establece requisitos para implementar sistemas de gestión de inocuidad basados en la identificación de peligros, programas prerrequisito, control operacional, verificación, acciones correctivas y mejora continua. Aunque esta norma se origina en la cadena alimentaria, su aplicación al agua potable resulta pertinente, considerando que el agua destinada al consumo humano requiere asegurar condiciones de inocuidad, trazabilidad, control de peligros y cumplimiento de requisitos legales y sanitarios. El problema central de la investigación consiste en determinar la eficiencia de un Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua en las plantas productoras de agua potable de la localidad de Taltal. Este problema surge de la necesidad de mejorar y sostener la producción de agua potable de calidad en una localidad caracterizada por condiciones territoriales y operacionales complejas, entre ellas: ubicación geográfica en una zona árida del norte de Chile, alta vulnerabilidad hídrica, dependencia de fuentes limitadas o de sistemas productivos complejos, presencia de una matriz territorial eminentemente minera, disponibilidad restringida de profesionales especializados para el control operacional y necesidad de fortalecer la toma de decisiones frente a escenarios críticos de abastecimiento.

En este contexto, la desalinización constituye una alternativa relevante para enfrentar la escasez hídrica, pero introduce exigencias técnicas específicas asociadas al postratamiento y a la estabilidad química del agua producida. Diversos autores señalan que el agua desalinizada por ósmosis inversa presenta baja alcalinidad, baja dureza y escasa capacidad tampón, por lo que requiere procesos de remineralización y estabilización antes de su distribución, a fin de reducir riesgos de corrosión, proteger la infraestructura y asegurar una calidad adecuada para el consumo humano (Birnhack et al., 2008; Duranceau et al., 2012; Lesimple et al., 2020). Por ello, la eficiencia del SGIA en Taltal debe analizarse considerando no

solo el cumplimiento de parámetros de calidad, sino también la capacidad del sistema para controlar la estabilidad del agua producida y mantener condiciones seguras durante la operación.

La respuesta metodológica propuesta consiste en construir un enfoque de evaluación que permita identificar en qué medida el SGIA es capaz de asegurar la inocuidad del agua producida, controlar peligros y riesgos asociados al proceso, sostener la calidad del agua bajo distintas condiciones, mantener la continuidad operacional, responder frente a desviaciones, documentar y trazar sus decisiones, y generar información útil para la mejora continua. En consecuencia, el modelo teórico propone que la eficiencia del SGIA debe entenderse como la capacidad del sistema para transformar recursos, procedimientos, controles y decisiones en resultados verificables de inocuidad, calidad, continuidad y cumplimiento.

La prepraxis se estructura a partir de los conocimientos adquiridos en el programa de magíster, la experiencia profesional en sistemas sanitarios y la revisión documental desarrollada en el estado del arte. Desde esta base, se plantea que la evaluación del SGIA en Taltal debe desarrollarse mediante un modelo que relacione cinco dimensiones principales que se detallan en la Tabla N°7.

Tabla N°7: Dimensión del modelo de evaluación del SGIA.

Dimensión del modelo	Pregunta orientadora	Tipo de evidencia esperada
1.- Inocuidad del agua	¿El sistema identifica y controla los peligros que pueden afectar la calidad sanitaria del agua?	Matriz de peligros, controles operacionales, resultados microbiológicos y fisicoquímicos.
2.- Control operacional	¿Los procesos críticos están definidos, monitoreados y bajo control?	Procedimientos, registros, límites operacionales, desviaciones y acciones correctivas.
3.- Cumplimiento normativo	¿El sistema cumple con los requisitos regulatorios y criterios internos definidos?	Resultados frente a NCh 409/1, planes de muestreo, informes de autocontrol y verificaciones.
4.- Continuidad del servicio	¿El sistema mantiene producción y abastecimiento en condiciones normales y críticas?	Caudales, eventos de interrupción, contingencias, disponibilidad de insumos y respuesta operacional.
5.- Mejora continua	¿El SGIA aprende de sus brechas y transforma desviaciones en acciones de mejora?	Auditorías, no conformidades, análisis de causa, acciones correctivas, capacitaciones y seguimiento.

Fuente: *Elaboración propia.*

Estas dimensiones permiten transformar el problema de estudio en un modelo evaluable y coherente con el objetivo general de la investigación.

De esta forma, el modelo teórico representado en la Figura N°2 permite ordenar la investigación desde una mirada integral, donde la eficiencia del SGIA no se reduce a un indicador aislado, sino que se entiende como el resultado de la interacción entre cumplimiento normativo, gestión del riesgo, control operacional, continuidad del servicio, trazabilidad documental y mejora continua. Bajo este enfoque, una planta puede cumplir los parámetros analíticos exigidos, pero presentar debilidades en su eficiencia si no cuenta con mecanismos robustos para anticipar peligros, controlar procesos críticos, responder oportunamente ante desviaciones o sostener la continuidad del abastecimiento en distintos escenarios.

Figura N°2: Modelo del marco teórico.

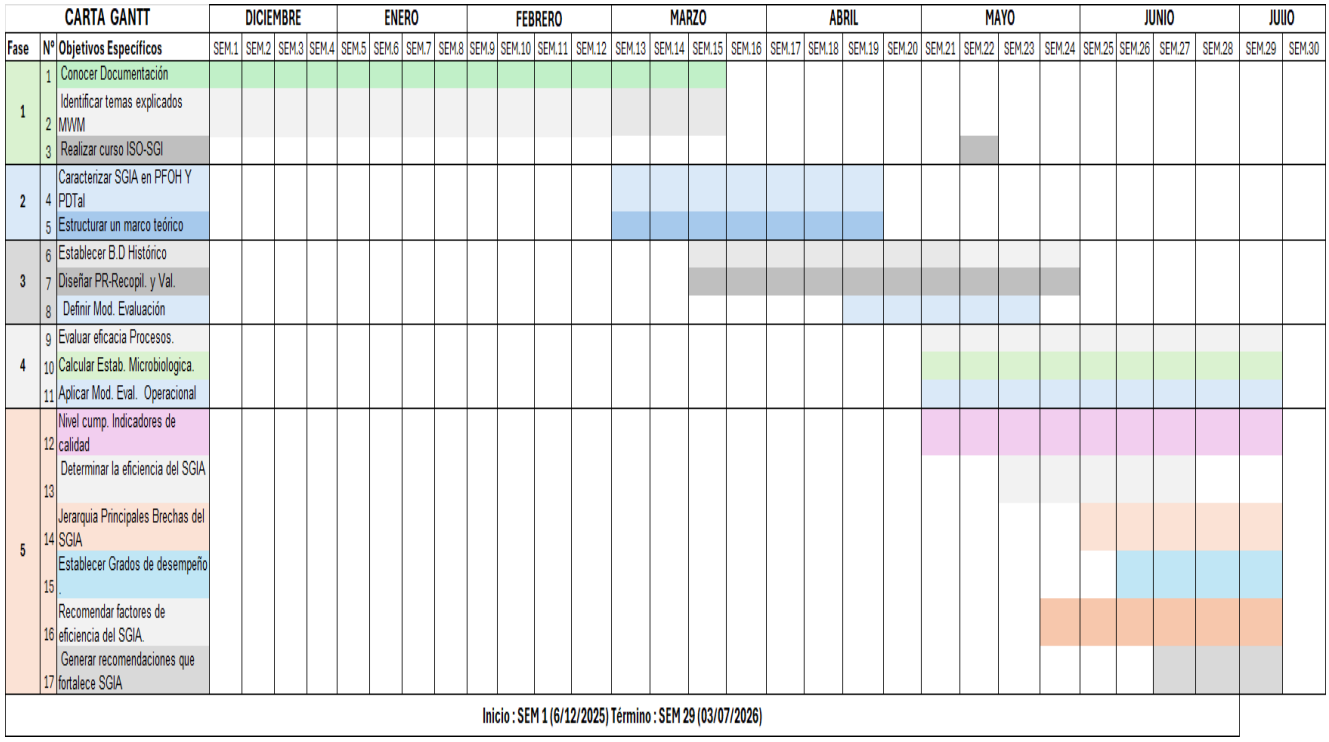


Fuente: *Elaboración propia*

CAPITULO V
5. PROPUESTA METODOLÓGICA DE TRABAJO

La propuesta metodológica se organiza en cinco fases secuenciales que permiten pasar desde la fundamentación conceptual hasta la interpretación de resultados, brechas y recomendaciones. La Figura N°3 resume la relación entre actividades, objetivos y plazos estimados.

Figura N°3: Carta Gantt.



Fuente: *Elaboración propia.*

5.1 DENOMINACIÓN, DESCRIPCIÓN Y TIEMPO DE CADA FASE

La propuesta metodológica se estructura en cinco fases secuenciales e integradas. Esta planificación permite ordenar de forma clara y sistemática el proceso investigativo para evaluar la eficiencia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua en las plantas productoras de agua potable de Taltal.

A continuación, se describen cada una de las fases que asegurarán el cumplimiento de los objetivos específicos en un plazo acotado, como se detalla a continuación:

- **Fase 1. Fundamentación normativa, técnica y teórica**

Esta fase construye la base normativa, técnica y conceptual de la investigación mediante la revisión de ISO 22000:2018, HACCP/APPCC, NCh 409/1 Of2005, Planes de Seguridad del Agua, literatura científica y contenidos del Magíster vinculados a calidad, riesgo, continuidad y eficiencia.

La información se sistematiza mediante fichas bibliográficas, matrices y síntesis temáticas, lo que permite definir los conceptos y criterios que orientan la evaluación del SGIA.

Tiempo estimado de ejecución: 13 semanas.

- **Fase 2. Caracterización del sujeto de estudio.**

Esta fase caracteriza el SGIA aplicado en las plantas de Taltal, identificando procesos, fuentes, etapas de tratamiento, controles operacionales, parámetros críticos, responsabilidades y antecedentes de auditoría.

La caracterización se realiza por planta, diferenciando la Planta de Filtros O'Higgins y la Planta Desaladora de Taltal, debido a que presentan tecnologías, riesgos y controles distintos.

Tiempo estimado de ejecución: 7 semanas.

- **Fase 3. Diseño metodológico y construcción de indicadores**

Esta fase diseña el modelo de evaluación y transforma los registros disponibles en información útil para medir desempeño, eficacia y eficiencia del SGIA.

Para ello, se consolida una base histórica con información de calidad, operación, cumplimiento normativo, parámetros críticos, caudales, dosificación y antecedentes de auditoría.

La base de datos se valida revisando unidades, fechas, puntos de muestreo, registros incompletos, valores atípicos y coherencia operacional.

Con la información validada, se definen indicadores agrupados en dimensiones de calidad, estabilidad, control operacional, trazabilidad, continuidad, brechas y eficiencia relativa.

El modelo combina análisis estadístico, cumplimiento, brechas y DEA-BCC para obtener una evaluación integrada del SGIA.

Tiempo estimado de ejecución: 10 semanas.

- **Fase 4. Aplicación del modelo de evaluación.**

Esta fase aplica el modelo de evaluación a los datos históricos de las plantas de Taltal, diferenciando resultados por planta, parámetro, período y condición operacional.

Primero se realiza un análisis estadístico descriptivo de los parámetros de calidad y operación, con el fin de observar tendencias, variabilidad, dispersión y cercanía a límites normativos o internos.

Luego se evalúa el cumplimiento normativo y operacional, incorporando los antecedentes SISS como referencia externa para la localidad de Taltal.

La estabilidad microbiológica y química se analiza considerando parámetros sensibles y su relación con las etapas críticas de cada planta.

Finalmente, se aplican indicadores de desempeño y el modelo DEA-BCC para estimar eficiencia relativa y comparar cada unidad evaluada con sus mejores referencias internas.

Con la información validada y los indicadores definidos, se aplicará el Análisis Envolvente de Datos (DEA), utilizando como referencia el modelo BCC propuesto por Banker, Charnes y Cooper en 1984, y el enfoque metodológico descrito por Olmedo Vásquez et al 2017. Esta herramienta permitirá estimar la eficiencia relativa de las unidades evaluadas, comparando el uso de recursos, controles y

capacidades operacionales con los resultados obtenidos en términos de calidad, cumplimiento e inocuidad del agua.

La secuencia metodológica de esta fase será la siguiente:

1. Depuración y validación de la base de datos.
2. Análisis descriptivo de los parámetros de calidad y operación.
3. Evaluación del cumplimiento normativo y operacional.
4. Identificación de desviaciones y comportamiento de parámetros críticos.
5. Cálculo de indicadores de desempeño del SGIA.
6. Aplicación del modelo DEA.
7. Comparación entre resultados DEA, análisis estadístico y brechas detectadas.
8. Interpretación técnica de la eficiencia del SGIA.

La interpretación final diferencia eficacia y eficiencia: la eficacia se relaciona con el logro de inocuidad y cumplimiento; la eficiencia, con la relación entre recursos, controles y resultados obtenidos.

Tiempo estimado de ejecución: 9 semanas

- **Fase 5. Resultados, brechas, conclusiones y recomendaciones**

La fase final integra los resultados de cumplimiento, análisis estadístico, indicadores, DEA-BCC y brechas para construir una interpretación global del desempeño del SGIA. A partir de esta integración se identifican fortalezas, parámetros sensibles, días o períodos de menor eficiencia relativa, brechas de gestión y oportunidades de mejora. La clasificación del desempeño permite distinguir entre resultados satisfactorios, brechas de seguimiento y aspectos que requieren fortalecimiento documental u operacional.

Las recomendaciones se orientan a fortalecer la gestión preventiva, la trazabilidad, la integración de indicadores, el control de parámetros críticos y la continuidad operacional.

Tiempo estimado de ejecución: 9 semanas.

En complemento al esquema de fases para el desarrollo de los objetivos específicos, a continuación, se indica la matriz de trazabilidad metodológica (Tabla N°8), que vincula los objetivos específicos con fuentes de información, indicadores y métodos de análisis, asegurando coherencia entre el diseño metodológico y los resultados esperados.

Tabla N°8: Matriz de trazabilidad metodológica.

Objetivo específico asociado	Indicador / evidencia de evaluación	Fuente de información	Método de análisis	Resultado esperado
Caracterizar el SGIA y los procesos productivos de las plantas de Taltal.	Mapa de procesos, etapas críticas, controles existentes, matriz de peligros y puntos de control.	Procedimientos SGIA, registros operacionales, documentación ISO 22000, antecedentes de Planta de Filtros O'Higgins y Planta Desaladora de Taltal.	Revisión documental, levantamiento de procesos y análisis descriptivo del sistema.	Caracterización técnico-operacional del SGIA y delimitación clara del alcance del estudio.
Sistematizar la información histórica de calidad, operación, cumplimiento y continuidad.	Base de datos depurada por planta, periodo, parámetro, frecuencia y condición operacional.	Registros de laboratorio, autocontrol, PR-14, reportes internos, registros de producción, continuidad y eventos operacionales.	Validación, depuración, clasificación y consolidación de datos históricos.	Base de datos estructurada y trazable para análisis estadístico, indicadores y evaluación de eficiencia.
Evaluar el cumplimiento normativo y operacional del sistema.	% de cumplimiento NCh409/1, cumplimiento de frecuencia de muestreo, cumplimiento de límites internos y regulatorios.	Resultados de calidad de agua, informes de autocontrol, reportes a la SISS, registros de monitoreo y control operacional.	Análisis de cumplimiento, comparación contra criterios normativos e indicadores internos.	Determinación del nivel de cumplimiento sanitario y operacional por planta y periodo.
Analizar la estabilidad química y microbiológica del agua producida.	pH, turbiedad, conductividad, cloro residual, arsénico, dureza, alcalinidad, indicadores microbiológicos y desviaciones asociadas.	Registros analíticos de agua cruda, agua tratada, salida de planta y, cuando corresponda, datos complementarios de distribución.	Estadística descriptiva, análisis de tendencias, gráficos de control y revisión de desviaciones.	Evaluación de la estabilidad del agua producida y de la capacidad del SGIA para prevenir riesgos de inocuidad.
Evaluar el desempeño operacional de las plantas bajo distintas condiciones de abastecimiento.	Caudal producido, continuidad del servicio, eventos de interrupción, disponibilidad de insumos, desviaciones operacionales y respuesta ante contingencias.	Registros de operación, mantenimiento, producción, contingencias, eventos climáticos y cambios de fuente o condición operacional.	Análisis comparativo entre periodos normales y críticos; revisión de patrones y recurrencias.	Identificación de factores que inciden en el desempeño y continuidad operacional del SGIA.
Definir y aplicar indicadores de desempeño, eficacia y eficiencia del SGIA.	Indicadores de cumplimiento, desviaciones, acciones correctivas, trazabilidad, oportunidad de respuesta, producción conforme y continuidad.	Registros SGIA, auditorías, no conformidades, acciones correctivas, datos de producción y reportes operacionales.	Construcción de indicadores, cálculo porcentual, análisis de tendencia y comparación entre plantas/periodos.	Medición objetiva del desempeño del SGIA mediante indicadores verificables.
Aplicar un modelo de evaluación de eficiencia relativa, considerando DEA si la disponibilidad de datos lo permite.	Score de eficiencia DEA-BCC, relación inputs/outputs, unidades eficientes e ineficientes, brechas relativas de desempeño.	Base de datos consolidada: consumo de recursos, reactivos, energía, producción conforme, controles, continuidad y cumplimiento.	Modelo DEA-BCC con rendimientos variables a escala, orientación a resultados, y análisis de sensibilidad de variables.	Determinación de la eficiencia relativa de las unidades planta-periodo y detección de oportunidades de mejora.
Identificar y jerarquizar las brechas del SGIA.	Brechas normativas, documentales, operacionales, de monitoreo, trazabilidad, verificación, respuesta y mejora continua.	Auditorías, registros SGIA, no conformidades, acciones correctivas, procedimientos, entrevistas técnicas y evidencia operacional.	Matriz de brechas, análisis causa-raíz, clasificación por criticidad, recurrencia e impacto.	Priorización de brechas críticas que afectan el desempeño y la eficiencia del SGIA.
Formular recomendaciones de mejora para fortalecer la gestión de inocuidad y continuidad.	Medidas correctivas y preventivas, mejoras en monitoreo, control operacional, trazabilidad, capacitación, indicadores y respuesta ante contingencias.	Resultados del análisis estadístico, indicadores, DEA, brechas jerarquizadas y antecedentes del SGIA.	Síntesis evaluativa, priorización técnica y formulación de propuestas aplicadas.	Recomendaciones profesionales orientadas a fortalecer la inocuidad, eficiencia productiva y continuidad del servicio.

Fuente: *Elaboración propia.*

5.2 CRITERIOS DE EVALUACIÓN E INDICADORES DE DESEMPEÑO

La evaluación del SGIA considera criterios técnicos, normativos y operacionales orientados a determinar su capacidad para asegurar inocuidad, estabilidad, continuidad, trazabilidad y mejora continua.

Por ello, el sistema no se evalúa solo por cumplimiento final de parámetros, sino también por su capacidad preventiva y por la calidad de sus controles y registros.

Los criterios de evaluación permitirán clasificar el desempeño del SGIA desde una mirada integrada. Para ello, se considerará el comportamiento de los parámetros críticos, la evidencia documental disponible, el cumplimiento de los controles definidos, la estabilidad de los procesos y la respuesta del sistema frente a condiciones normales y extraordinarias de operación. La Tabla N°9 resume las dimensiones de evaluación, el criterio de evaluación, evidencia e interpretación.

Tabla N°9: Criterios de evaluación del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua.

Dimensión de evaluación	Criterio metodológico	Evidencia verificable	Interpretación esperada
Inocuidad del agua	Verificar que los peligros físicos, químicos y microbiológicos relevantes se encuentren identificados, controlados y monitoreados.	Matriz de peligros, resultados analíticos, parámetros críticos, registros de monitoreo, puntos de control y acciones correctivas.	Permite establecer si el SGIA mantiene bajo control los riesgos que pueden afectar la calidad sanitaria del agua potable.
Control operacional	Evaluar si las etapas críticas del proceso productivo se encuentran definidas, monitoreadas y operadas dentro de rangos aceptables.	Procedimientos operacionales, límites de control, registros de dosificación, operación de filtros, membranas, remineralización, desinfección y fluoración.	Permite determinar si las barreras operacionales funcionan de manera sostenida y si existe control efectivo sobre las variables críticas del proceso.
Cumplimiento normativo	Contrastar los resultados de calidad de agua y controles aplicables con los requisitos normativos y criterios internos definidos.	Resultados frente a NCh409/1, reportes PR-14, registros internos, programas de muestreo, autocontrol y verificaciones.	Permite determinar el grado de cumplimiento regulatorio y la consistencia entre control interno y exigencias externas.
Continuidad operacional	Evaluar si el sistema mantiene producción y abastecimiento en condiciones normales y frente a variaciones de calidad, disponibilidad o abastecimiento.	Caudales, producción, interrupciones, eventos de contingencia, disponibilidad de insumos, fallas operacionales y respuestas documentadas.	Permite analizar la resiliencia operacional del SGIA y su capacidad para sostener el servicio bajo distintas condiciones.
Trazabilidad documental	Determinar si la información utilizada para la toma de decisiones es completa, verificable, ordenada y recuperable.	Bases de datos, registros de laboratorio, bitácoras, certificados, informes, actas, desviaciones y cierre de acciones.	Permite evaluar la confiabilidad de la información que sostiene el análisis estadístico, la gestión de brechas y la toma de decisiones.
Mejora continua	Analizar si el SGIA identifica brechas, determina causas, implementa acciones correctivas/preventivas y verifica su efectividad.	Auditorías, no conformidades, análisis de causa, acciones correctivas, capacitaciones, revisión por la dirección y seguimiento.	Permite establecer si el sistema aprende de sus desviaciones y transforma sus resultados en mejoras aplicadas.

Fuente: *Elaboración propia.*

La interpretación de los resultados de los criterios en niveles de desempeño se indica en la Tabla N°10. Cabe señalar, que esta interpretación no reemplaza el análisis cuantitativo ni la revisión técnica de cada parámetro.

Tabla N°10: Escala cualitativa para interpretar el desempeño del SGIA.

Nivel de desempeño	Criterio general de clasificación	Implicancia para el SGIA
Alto desempeño	Cumplimiento sostenido de parámetros, controles ejecutados según planificación, registros trazables, desviaciones controladas y acciones de mejora verificables.	El sistema evidencia capacidad preventiva, control operacional y consistencia documental.
Desempeño parcial	Cumplimiento general de los requisitos, pero con brechas puntuales en monitoreo, trazabilidad, estabilidad, oportunidad de respuesta o cierre documental.	El sistema cumple su función principal, pero requiere fortalecer controles o evidencias para asegurar desempeño sostenido.
Bajo desempeño	Incumplimientos recurrentes, desviaciones no cerradas, registros incompletos, debilidades de control o falta de evidencia suficiente para demostrar eficacia.	El sistema presenta brechas relevantes que pueden afectar la prevención, la continuidad o la capacidad de respuesta.

Fuente: *Elaboración propia.*

Por otro lado, los indicadores que se proponen permiten transformar los registros históricos y operacionales en información verificable para medir **desempeño**, **eficacia** y **eficiencia** del SGIA.

En esta investigación, **desempeño** se entenderá como el ***comportamiento medible del sistema***; **eficacia**, como la ***capacidad de alcanzar inocuidad y cumplimiento***; y **eficiencia**, como la ***relación entre recursos, controles y resultados obtenidos.***

Los indicadores propuestos se agrupan en dimensiones de calidad, estabilidad, control operacional, trazabilidad, respuesta ante desviaciones, continuidad del servicio y eficiencia relativa, tal como se indican en la Tabla N°11.

Tabla N°11: Indicadores propuestos para evaluar desempeño, eficacia y eficiencia del SGIA.

Dimensión	Indicador propuesto	Forma de cálculo / análisis	Fuente de información	Uso metodológico
Cumplimiento normativo	Porcentaje de resultados conformes	(N° de resultados dentro de límite normativo o criterio interno / N° total de resultados evaluados) x 100.	Resultados de laboratorio, reportes PR-14, autocontrol, NCh409/1 y registros internos.	Evalúa el grado de cumplimiento sanitario y operacional del agua producida.
Estabilidad fisicoquímica	Comportamiento de parámetros críticos	Promedio, mínimo, máximo, desviación estándar, coeficiente de variación, tendencia temporal y distancia respecto del límite o rango objetivo.	Registros de pH, turbiedad, conductividad, SDT, alcalinidad, dureza, arsénico, hierro, fluoruro, cloro libre residual y otros parámetros críticos.	Permite evaluar estabilidad química, holgura operacional y riesgo de desviaciones.
Estabilidad microbiológica	Controles microbiológicos conformes y desinfección efectiva	Porcentaje de controles microbiológicos conformes y porcentaje de mediciones de cloro libre residual dentro de rango objetivo.	Resultados microbiológicos, registros de cloración, controles de turbiedad y verificaciones de desinfección.	Evalúa la capacidad del sistema para prevenir riesgos microbiológicos y mantener barreras sanitarias.
Control operacional	Cumplimiento de monitoreos y controles definidos	(N° de monitoreos ejecutados / N° de monitoreos programados) x 100; revisión de controles operacionales críticos.	Programas de control, bitácoras, registros de operación, dosificación, mantención y procedimientos.	Permite verificar si el SGIA ejecuta sus controles según lo definido.
Gestión de desviaciones	Oportunidad y cierre de acciones correctivas	Porcentaje de desviaciones con análisis de causa, acción definida, responsable, plazo y cierre documentado.	Registros de no conformidades, desviaciones, acciones correctivas, auditorías y seguimiento.	Evalúa capacidad de respuesta, aprendizaje operacional y mejora continua.
Trazabilidad documental	Completitud y disponibilidad de registros	(N° de registros completos y verificables / N° total de registros requeridos) x 100.	Bases de datos, certificados, planillas, informes, procedimientos, bitácoras y reportes internos.	Determina confiabilidad de la información utilizada en el análisis.
Continuidad del servicio	Continuidad productiva y disponibilidad operacional	Días sin interrupciones, horas de operación, volumen producido conforme y eventos de indisponibilidad.	Registros de caudal, producción, continuidad, fallas, contingencias y disponibilidad de insumos.	Evalúa resiliencia operacional y capacidad de sostener producción bajo distintas condiciones.
Eficiencia relativa	Puntaje DEA-BCC	Relación entre variables de entrada y salida, expresada en un puntaje entre 0 y 1.	Base integrada de inputs y outputs por planta-período.	Permite estimar eficiencia relativa de las unidades de decisión y comparar desempeño entre períodos o plantas.

Fuente: *Elaboración propia.*

Adicionalmente, se construirá un Índice Integrado de Desempeño del SGIA, cuyo propósito será sintetizar el comportamiento de las dimensiones evaluadas en una escala común. Este índice no sustituye el análisis individual de cada parámetro, sino que facilita la interpretación global del sistema y la comparación entre plantas o períodos operacionales. La estructura propuesta para este índice se indica en la Tabla N°12.

Tabla N°12: Estructura propuesta para un Índice Integrado de Desempeño del SGIA.

Componente del índice	Descripción	Criterio de evaluación
Calidad e inocuidad del agua	Considera cumplimiento normativo, parámetros críticos, estabilidad química y microbiológica.	Mayor puntaje cuando existe cumplimiento sostenido y holgura frente a límites críticos o rangos objetivo.
Control operacional	Considera ejecución de monitoreos, control de puntos críticos, dosificación, tratamiento, postratamiento y desinfección.	Mayor puntaje cuando los controles están definidos, ejecutados y documentados.
Trazabilidad y documentación	Considera disponibilidad, completitud, consistencia y recuperabilidad de registros.	Mayor puntaje cuando la información permite reconstruir decisiones y evidenciar cumplimiento.
Respuesta y mejora continua	Considera desviaciones, acciones correctivas, análisis de causa, seguimiento y verificación de efectividad.	Mayor puntaje cuando las desviaciones son gestionadas oportunamente y generan aprendizaje del sistema.
Continuidad y resiliencia operacional	Considera capacidad de mantener producción conforme en condiciones normales y críticas.	Mayor puntaje cuando el sistema sostiene operación y calidad sin interrupciones relevantes.

Fuente: *Elaboración propia.*

5.3 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DEA

El análisis estadístico y el Análisis Envolvente de Datos (DEA) constituirán las herramientas cuantitativas principales para evaluar el desempeño y la eficiencia del SGIA. La aplicación de estas herramientas requiere previamente construir una base de datos confiable, comparable y trazable, que permita relacionar parámetros de calidad, operación, cumplimiento, continuidad y gestión documental. De esta forma se proponen distintas etapas para la preparación y análisis, las que se detallan en la Tabla N°13, donde la información se ordena por planta, período, parámetro, unidad, punto de control, límite normativo o interno, resultado observado y condición operacional; mientras que la validación considera datos faltantes, duplicados, valores atípicos, errores de unidad, fechas inconsistentes y coherencia con rangos operacionales esperados.

En lo particular del análisis propuesto se deben considera algunos aspectos que se señalan a continuación.

Tabla N°13: Etapas para la preparación y análisis de la base de datos.

Etapa	Actividad metodológica	Propósito
Recopilación	Reunir registros de calidad, operación, producción, monitoreo, desviaciones, continuidad y documentación disponible.	Construir una base integrada de información del SGIA.
Validación técnica	Revisar unidades, fechas, duplicidades, datos faltantes, valores extremos y coherencia con límites normativos u operacionales.	Asegurar confiabilidad, comparabilidad y trazabilidad de los datos.
Sistematización	Ordenar la información por planta, período, parámetro, punto de control, límite, rango objetivo y resultado observado.	Facilitar el análisis estadístico, la construcción de indicadores y la aplicación DEA.
Análisis descriptivo	Calcular promedios, mínimos, máximos, desviación estándar, coeficiente de variación, cumplimiento y tendencias.	Identificar comportamiento general, estabilidad, patrones y desviaciones.
Control estadístico	Analizar tendencias, recurrencias, alertas internas, márgenes respecto de límites y comportamiento por período.	Evaluar estabilidad del proceso y capacidad preventiva del SGIA.
Integración para DEA	Transformar variables en inputs y outputs comparables, definiendo unidades de decisión homogéneas.	Estimar eficiencia relativa entre plantas o períodos.

Fuente: *Elaboración propia.*

- **Consideraciones para el análisis estadístico**

El análisis estadístico permitirá caracterizar el comportamiento de los parámetros críticos y establecer si el sistema presenta estabilidad, variabilidad, desviaciones recurrentes frente a límites críticos. Este análisis será aplicado de manera diferenciada por planta y por parámetro, considerando las particularidades de cada proceso productivo.

En PFOH se priorizan arsénico, hierro, turbiedad, pH y cloro libre residual; en PDTT, pH, cloro libre residual, fluoruro, sólidos disueltos totales e Índice de Langelier.

Los resultados estadísticos deberán interpretarse considerando tanto el cumplimiento normativo como los criterios internos de control, para aquellos que aplique. Por ello, no bastará con verificar si un parámetro se encuentra dentro de límite; también será necesario evaluar su margen de seguridad, variabilidad, tendencia y frecuencia de alertas preventivas. Esta aproximación permitirá reconocer tempranamente condiciones que podrían transformarse en brechas del SGIA.

- **Consideraciones para el análisis DEA**

El DEA-BCC se utiliza para estimar eficiencia relativa, considerando que las plantas tienen tecnologías, escalas y condiciones operacionales distintas.

Las unidades de decisión podrán definirse como combinaciones planta-período, por ejemplo, para nuestro caso planta-día, dada la disponibilidad y completitud de los datos. La selección definitiva deberá asegurar que cada unidad cuente con información comparable de inputs y outputs. Si la información disponible no permite construir unidades mensuales consistentes, se deberá optar por una agregación temporal mayor, evitando forzar comparaciones con datos incompletos o no equivalentes.

Para que el DEA sea metodológicamente defendible, las variables deberán cumplir tres condiciones: estar disponibles para todas las unidades evaluadas, representar adecuadamente recursos o resultados del SGIA y mantener una relación lógica entre inputs y outputs. Además, se deberá evitar la incorporación de un número excesivo de variables respecto de la cantidad de unidades de decisión, ya que ello puede reducir la capacidad discriminante del modelo. En la Tabla N°14 se indican las variables referenciales para el análisis.

Tabla N°14: Variables referenciales para el análisis DEA-BCC.

Tipo de variable	Variable referencial	Descripción metodológica	Criterio de uso
Input	Consumo de reactivos	Cantidad o intensidad de uso de productos químicos asociados a coagulación, oxidación, remineralización, desinfección o fluoración.	Debe utilizarse como recurso empleado para alcanzar resultados de calidad y control.
Input	Controles y monitoreos ejecutados	Número o frecuencia de controles analíticos y operacionales realizados en el período.	Representa la intensidad de control aplicada por el SGIA.
Input	Eventos o desviaciones operacionales	Cantidad de desviaciones, alertas, fallas o eventos que exigieron respuesta del sistema.	Puede tratarse como input no deseado o variable de presión operacional.
Output	Volumen de agua producida conforme	Producción que cumple los criterios de calidad e inocuidad definidos.	Representa resultado productivo favorable del sistema.
Output	Porcentaje de cumplimiento normativo	Proporción de resultados conformes frente a NCh409/1 o criterios internos aplicables.	Representa resultado sanitario y regulatorio favorable.
Output	Margen de cumplimiento de parámetros críticos	Distancia favorable respecto del límite máximo, mínimo o rango objetivo definido para cada parámetro.	Permite incorporar holgura operacional y estabilidad del proceso.

Fuente: *Elaboración propia.*

Los resultados del análisis se expresan en valores entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican mayor eficiencia relativa respecto del conjunto evaluado, sobre la base de los rangos que se definan, y conforme a ello valores menores evidenciarán oportunidades de mejora, tal como se expresa en la Tabla N°15.

Tabla N°15: Criterios de interpretación de resultados DEA.

Resultado DEA	Interpretación	Implicancia metodológica
0,90 a 1,00	SGIA eficiente	La unidad evaluada presenta una relación favorable entre recursos utilizados, controles aplicados y resultados de calidad, inocuidad y continuidad.
0,70 a 0,89	SGIA parcialmente eficiente	La unidad cumple parte importante de sus objetivos, pero presenta oportunidades de mejora en control, recursos, estabilidad o respuesta.
Menor a 0,70	SGIA con brechas relevantes	La unidad evidencia debilidades significativas en la relación entre insumos, controles y resultados obtenidos.

Fuente: *Elaboración propia.*

En síntesis, el análisis estadístico permitirá comprender el comportamiento de los parámetros y procesos, mientras que el DEA permitirá estimar la eficiencia relativa de las unidades evaluadas. La integración de ambos enfoques fortalecerá la interpretación del desempeño del SGIA, ya que permitirá determinar no solo si el sistema cumple, sino también si cumple de manera estable, trazable, preventiva y eficiente.

CAPITULO VI
6. APLICACIÓN METODOLÓGICA

Este capítulo describe cómo se aplicó la metodología para evaluar el desempeño y la eficiencia del SGIA en las plantas productoras de Taltal, integrando revisión documental, análisis de datos, indicadores, brechas y DEA-BCC.

El análisis consideró la Planta de Filtros O'Higgins y la Planta Desaladora de Taltal, desde el ingreso de agua cruda hasta la salida de agua potable. Los antecedentes de agua distribuida se utilizaron solo como apoyo interpretativo cuando fue pertinente.

6.1 ALCANCE Y ENFOQUE METODOLÓGICO

La metodología se aplicó al proceso productivo bajo control de cada planta, desde el ingreso de agua cruda hasta la salida de agua potable, considerando tratamiento, control operacional, puntos críticos, parámetros de calidad, registros, indicadores y brechas del SGIA.

Los datos asociados a agua distribuida serán utilizados solo como antecedentes complementarios de verificación, especialmente cuando permitan interpretar la estabilidad del agua producida o contrastar el desempeño del SGIA con evidencia posterior a la salida de planta.

El enfoque metodológico fue; aplicado, mixto y evaluativo. Es aplicado porque aborda un problema real de gestión operacional; mixto porque integra revisión documental, análisis cualitativo de brechas y análisis cuantitativo de indicadores; y evaluativo porque busca determinar el grado de desempeño y eficiencia del SGIA.

La secuencia metodológica avanzó desde la definición de criterios y caracterización de plantas hasta la construcción de bases, aplicación de indicadores, evaluación DEA e interpretación de brechas y recomendaciones.

De esta forma, la metodología no se limitó al cumplimiento final de la norma, sino que incorporó prevención, control, trazabilidad, estabilidad y capacidad de respuesta. El enfoque de evaluación se resume en la Tabla N°16.

Tabla N°16: Enfoque de evaluación por sistema productivo.

Sistema productivo	Características principales	Enfoque de evaluación
Planta de Filtros O'Higgins	Sistema de tratamiento convencional asociado a filtración, abatimiento y desinfección	Evaluación de control operacional, cumplimiento normativo, puntos críticos, estabilidad del proceso y trazabilidad
Planta Desaladora de Taltal	Sistema basado en ósmosis inversa, postratamiento, remineralización y desinfección	Evaluación de estabilidad química, control de remineralización, desinfección, cumplimiento normativo y continuidad operacional

Fuente: *Elaboración propia.*

De esta forma a continuación se indica el desarrollo de las 5 fases metodológicas.

6.1.1 Fase 1: Fundamentación normativa, técnica y conceptual

La primera fase estableció la base conceptual y normativa para interpretar el SGIA. Se revisaron ISO 22000:2018, NCh 409/1 Of2005, HACCP/APPCC, Planes de Seguridad del Agua y literatura sobre desalinización, remineralización, estabilidad, desinfección y control operacional.

Para su desarrollo, se efectuó una búsqueda de bibliografía científica, normativa nacional e internacional, documentos técnicos y antecedentes internos relacionados con la inocuidad y calidad del agua potable. Este proceso permitió elaborar 40 fichas de lectura (ver Anexo 2), una síntesis de revisión bibliográfica y una matriz de sistematización en Excel, en la que se organizaron las principales fuentes, conceptos, palabras clave y aportes vinculados con la investigación.

La revisión consideró la NCh-ISO 22000:2018, la NCh409/1 Of2005, el enfoque HACCP/APPCC, los Planes de Seguridad del Agua y antecedentes asociados con el abatimiento de arsénico, la desalinización, la remineralización, la desinfección, la estabilidad química y microbiológica, la gestión del riesgo, la continuidad operacional y la mejora continua.

De igual forma, se realizó un curso de Interpretación y análisis de la NCh-ISO 22000:2018 (Anexo 6), mediante la cual se profundizó en los requisitos relacionados con el contexto de la organización, liderazgo, planificación, apoyo, operación, evaluación del desempeño y mejora. Este curso permitió fortalecer la comprensión de los programas de prerrequisitos, el análisis de peligros, la validación de las medidas de control, la vigilancia de los puntos críticos, la verificación y la revisión por la dirección.

El principal aporte de este curso fue comprender que la inocuidad no depende exclusivamente del análisis del producto terminado. La norma NCh-ISO 22000:2018 promueve un enfoque preventivo y sistémico, articulado en la identificación de riesgos y oportunidades a nivel organizacional y en el análisis de peligros a nivel operacional. Esta diferenciación permitió relacionar brechas de recursos, competencias, documentación y comunicación con peligros específicos presentes en las plantas productoras, tales como variaciones en la concentración de arsénico, incrementos de turbiedad, pérdida de desinfección, fallas en la dosificación de químicos, deterioro de membranas o inestabilidad fisicoquímica del agua desalada.

Como resultado, esta fase permitió construir el estado del arte y el marco teórico de la investigación, además de definir los fundamentos normativos, técnicos y metodológicos empleados para evaluar el desempeño y la eficiencia del SGIA implementado en las plantas productoras de agua potable de Taltal. En la Tabla N°17 se vinculan las referencias normativas y aspectos evaluados del SGIA.

Tabla N°17: Fundamentación normativa y técnica.

Referente	Aspecto evaluado	Aplicación en la tesina
NCh409/1.Of2005	Calidad del agua potable	Verificar cumplimiento de parámetros normativos
ISO 22000:2018	Gestión de inocuidad	Evaluar estructura, operación, verificación y mejora del SGIA
HACCP/APPCC	Peligros y puntos críticos	Identificar controles preventivos y acciones correctivas
Plan de Seguridad del Agua	Gestión basada en riesgo	Evaluar prevención desde la fuente hasta el agua producida
Bibliografía técnica; descrita en anexo A	Estabilidad y desempeño	Sustentar indicadores de calidad, operación y eficiencia

Fuente: *Elaboración propia*

6.1.2 Fase 2: Caracterización del sujeto de estudio

La segunda fase caracterizó el SGIA implementado en la Planta de Filtros O'Higgins y en la Planta Desaladora de Taltal, identificando fuentes, procesos, controles, parámetros críticos y responsabilidades.

La caracterización del sujeto de estudio, no se limitó a describir infraestructura, procesos unitarios, equipos, recursos humanos o insumos críticos. Su propósito fue comprender el funcionamiento real del sistema; analizar cómo el sistema de gestión opera en la práctica, es decir, cómo se identifican los peligros, cómo se aplican y mantienen las medidas de control, qué registros se generan, cómo se verifica el cumplimiento normativo y operacional, y de qué manera se gestionan las desviaciones y no conformidades. Este enfoque permitió observar el sistema de gestión, como un sistema dinámico, donde las decisiones operacionales, la disponibilidad de recursos, la competencia del personal y la calidad de la documentación influyen directamente en la eficacia de los controles y en la estabilidad sanitaria del proceso.

Como referencia metodológica se utilizó el Plan de Seguridad del Agua de Taltal código B030402P28 del SGIA (Anexo 9), documento que estructura el sistema desde las fuentes de abastecimiento hasta los estanques de almacenamiento. Este plan integra responsabilidades, frecuencias de monitoreo, puntos críticos, peligros priorizados, medidas de control, procedimientos de emergencia y mecanismos de verificación. Su incorporación permitió analizar ambas plantas productivas como componentes de un mismo sistema de gestión, aun cuando presentan tecnologías, vulnerabilidades y perfiles de riesgo diferenciados.

La revisión se sintetiza en la Tabla N°18, utilizada como base para el diseño posterior de indicadores.

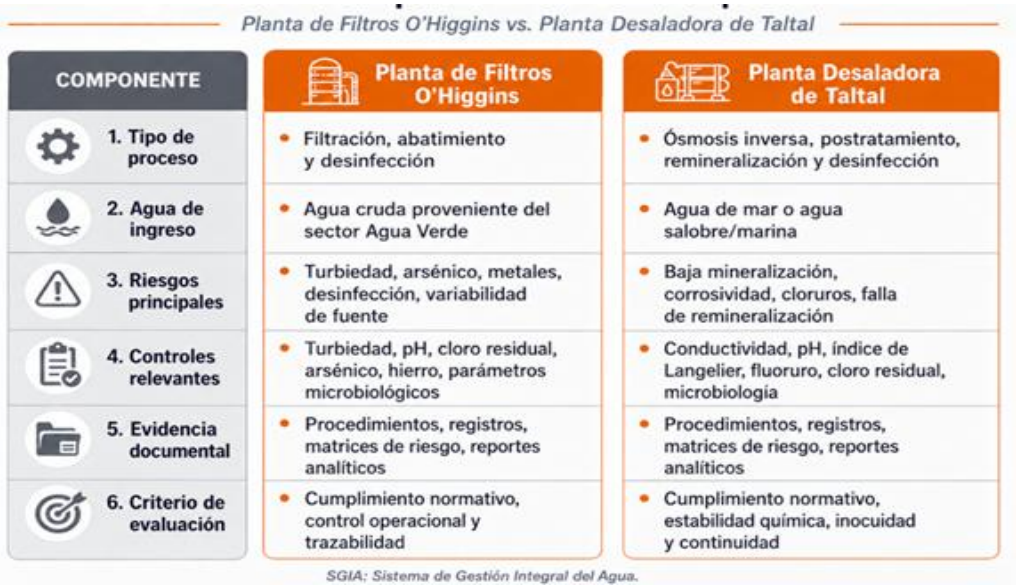
La caracterización integrada esquematizada en la Figura N°4 permite distinguir las particularidades operacionales de cada planta y facilita la posterior interpretación de riesgos, controles e indicadores.

Tabla N°18: Revisión del Funcionamiento del SGIA.

Actividad	Descripción	Evidencia requerida
Descripción de cada planta	Identificación de procesos, infraestructura y fuentes de agua	Diagramas de flujo, memorias técnicas, antecedentes operacionales
Identificación de etapas críticas	Reconocimiento de puntos de control y puntos críticos de control	Matriz HACCP/APPCC, planes de control operacional
Revisión documental	Análisis de procedimientos, instructivos, registros y reportes	Procedimientos SGIA, registros de operación, informes internos
Revisión de auditorías	Análisis de hallazgos, fortalezas y oportunidades de mejora	Preauditoría Isoconsulting diciembre 2025
Caracterización territorial	Identificación de condiciones geográficas, operacionales y de continuidad	Antecedentes de Taltal, fuentes, restricciones y criticidades

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura N°4: Caracterización comparativa del SGIA por planta.

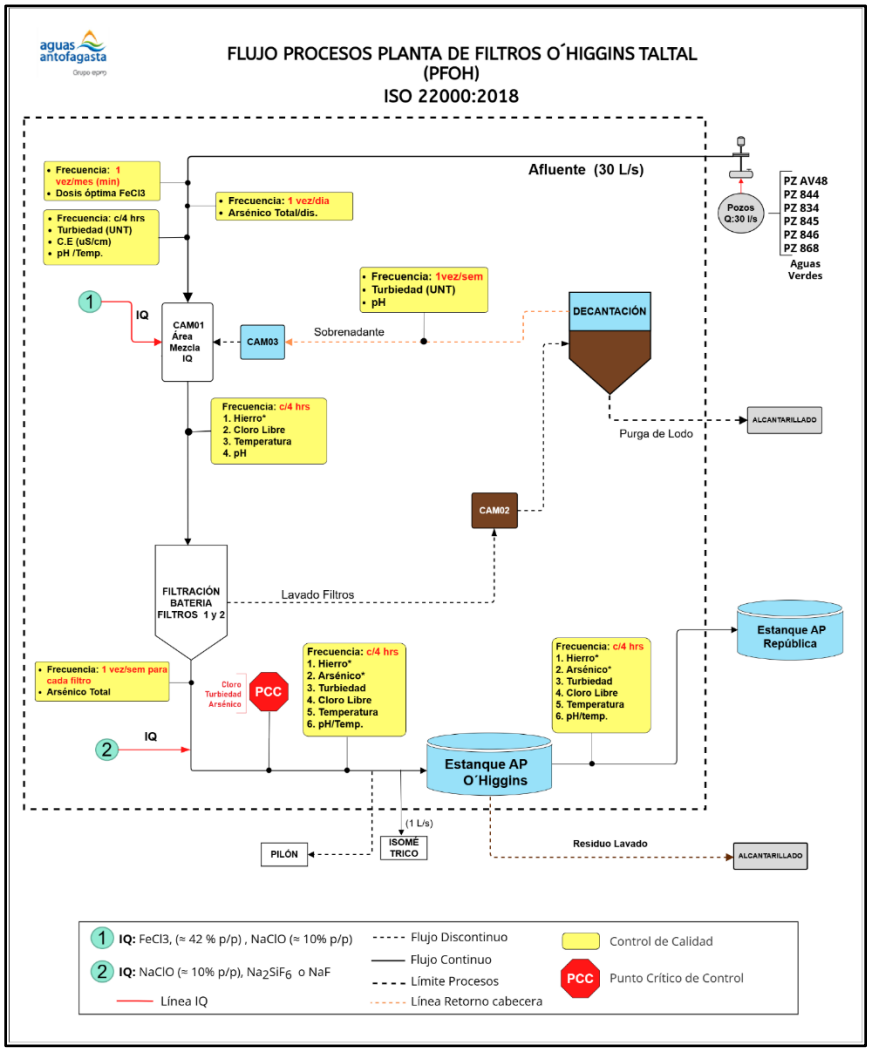


Fuente: *Elaboración mediante ChatGPT,2026 [Imagen generada con Inteligencia Artificial]*

A continuación, se presentan los diagramas de flujo de los procesos productivos (Figura N°5 y Figura N°6), cuyo propósito es representar de manera gráfica las características operacionales y los mecanismos de control asociados a cada planta productiva. Los diagramas también permiten visualizar etapas, PCC y actividades de monitoreo que sustentan la inocuidad del proceso.

La PFOH se abastece de agua subterránea y opera mediante tratamiento convencional orientado al abatimiento de arsénico, control de turbiedad y desinfección (Figura N°5).

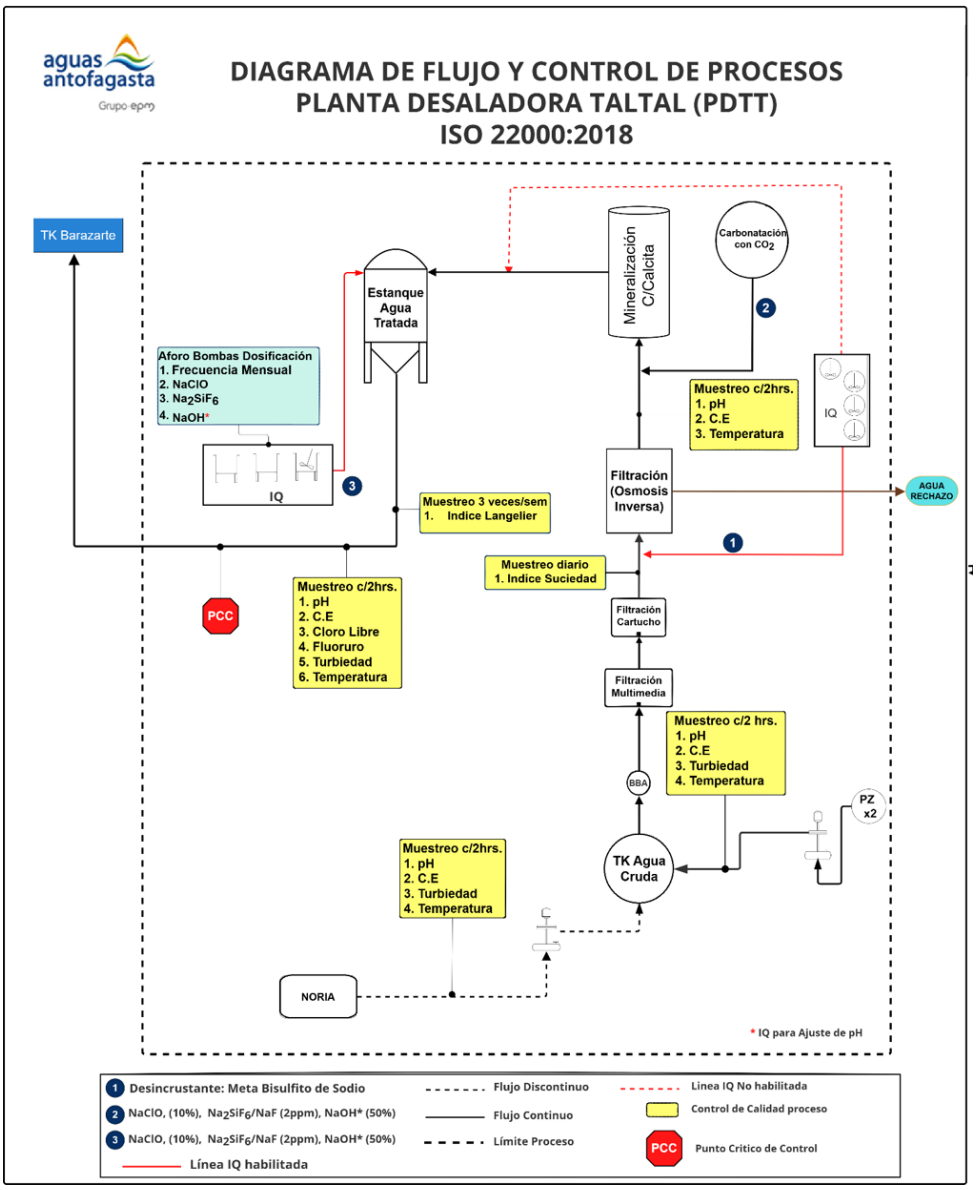
Figura N°5: Diagrama de flujo; proceso productivo PFOH.



Fuente: *SGIA Aguas Antofagasta.*

La PDTT utiliza ósmosis inversa e incorpora pretratamiento, protección de membranas, remineralización, ajuste de pH, desinfección y fluoración (Figura N°6).

Figura N°6: Diagrama de flujo; proceso productivo PDTT.



Fuente: *SGIA Aguas Antofagasta.*

En ambas plantas se controlan reactivos químicos y parámetros de calidad en distintos puntos del tratamiento, lo que permite verificar la eficacia de las barreras operacionales.

Tal como se puede apreciar en los siguientes ejemplos de PFOH (Tabla N°19 y Tabla N°20), los registros permiten visualizar de manera integrada el comportamiento del sistema, evidenciando cómo las variables críticas se monitorean y controlan en cada etapa del tratamiento.

Tabla N°19: Control de calidad; parámetros críticos en proceso PFOH.

Fecha		Cloro Libre Residual				Arsénico: (ppb) Ref:3-7 ppb				Hierro (ppm)				Turbiedad (NTU)	
		Ingreso	Ingreso	Ingreso	Salida	Salida	Salida	Ingreso	salida	greso Bateria	Ingreso Bateria F	Ingreso	salida	Ingreso	salida
	HOR	bateria 1	bateria 2	Estanqu	Estanqu	Batería	Batería F	Estanqu	estanque	2.15 - 2.25 m	2.15 - 2.25 mg	estanqu	estanq	estanq	estanqu
05-01-26	0:00	0,44	0,49	1,20	1,16	5-10	5-10	5-10	2,0	2,14	2,19	0,19	0,26	0,23	0,26
05-01-26	4:00	0,40	0,47	1,18	1,14	5-10	5-10	5-10	3,4	2,11	2,16	0,17	0,24	0,21	0,24
05-01-26	8:00	0,45	0,48	1,19	1,12	5-10	5-10	5-10	5,4	2,07	2,13	0,18	0,24	0,19	0,23
05-01-26	12:00	0,67	0,71	1,18	1,15	5-10	5-10	5-10	2,9	2,05	2,09	0,25	0,29	0,23	0,28
05-01-26	16:00	0,61	0,65	1,22	1,26	5-10	5-10	5-10	3,4	2,15	2,18	0,21	0,27	0,20	0,26
05-01-26	20:00	0,75	0,78	1,15	1,10	5-10	5-10	5-10	4,9	2,17	2,21	0,23	0,27	0,19	0,23
06-01-26	0:00	0,51	0,54	1,18	1,20	5-10	5-10	5-10	5,3	2,15	2,19	0,24	0,28	0,23	0,28
06-01-26	4:00	0,42	0,44	1,20	1,17	5-10	5-10	5-10	4,9	2,10	2,14	0,19	0,27	0,21	0,26
06-01-26	8:00	0,53	0,56	1,24	1,22	5-10	5-10	5-10	2,0	2,12	2,16	0,17	0,28	0,20	0,24
06-01-26	12:00	0,68	0,67	1,35	1,14	5-10	5-10	5-10	2,0	2,05	2,04	0,25	0,27	0,24	0,23
06-01-26	16:00	0,70	0,71	1,22	1,13	5-10	5-10	5-10	6,9	2,11	2,09	0,22	0,26	0,21	0,22
06-01-26	20:00	0,73	0,75	1,07	1,12	5-10	5-10	5-10	6,3	2,07	2,05	0,23	0,25	0,23	0,21
07-01-26	0:00	0,68	0,67	1,18	1,15	5-10	5-10	5-10	8,4	2,13	2,11	0,23	0,20	0,22	0,19
07-01-26	4:00	0,71	0,70	1,19	1,14	5-10	5-10	5-10	7,9	2,09	2,07	0,23	0,21	0,23	0,21
07-01-26	8:00	0,67	0,65	1,17	1,12	5-10	5-10	5-10	9,7	2,14	2,12	0,22	0,20	0,25	0,23
07-01-26	12:00	0,51	0,53	1,22	1,14	5-10	5-10	5-10	8,9	2,10	2,08	0,23	0,19	0,21	0,18
07-01-26	16:00	0,49	0,51	1,15	1,14	5-10	5-10	5-10	6,5	2,08	2,07	0,21	0,18	0,20	
07-01-26	20:00	0,68	0,67	1,17	1,12	5-10	5-10	5-10	5,5	2,06	2,07	0,22	0,18	0,21	
08-01-26	0:00	0,54	0,52	1,16	1,12	5-10	5-10	5-10	5,9	2,12	2,10	0,21	0,19	0,22	0,20

Fuente: *SGIA Aguas Antofagasta.*

Tabla N°20: Control de parámetros operacionales en proceso PFOH.

Fecha			Hipoclorito de Sodio			Cloruro Férrico			CAUDAL (L/s)				
		OP.	NaClO -Pre	NaClO -Pos	NaClO -Pre	FeCl3 (l/h)	FeCl3	FeCl3 (mg/l)	Cruda	Tratada	Salida de	Salida de	Ingreso a
	HOR	TURNO	L/h	L/h	mg/l	L/h	g/l	Dosis mg/l	(Afluente	(Efluente	tk Ohiggi	isometric	tk republic
25-11-25	4:00	J.P.S.	0,46	0,62	0,51	0,80	565	4,6	27,4	36,1	8,5	0,1	0,0
25-11-25	8:00		0,46	0,62	0,51	0,80	565	4,6	27,1	31,6	25,2	2,1	8,9
25-11-25	12:00		0,46	0,62	0,49	0,80	565	4,4	28,5	32,2	29,5	2,0	8,7
25-11-25	16:00	J.Z.A	0,46	0,62	0,49	0,80	565	4,4	28,6	32,6	35,2	1,4	17,6
25-11-25	20:00		0,46	0,62	0,50	0,80	565	4,5	27,8	33,0	29,0	0,9	10,3
26-11-25	0:00		0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,3	29,1	32,9	22,5	0,9	10,8
26-11-25	4:00	M.M.P	0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,3	28,7	32,8	10,7	0,4	5,1
26-11-25	8:00		0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,4	28,7	33,1	26,8	1,6	10,2
26-11-25	12:00		0,46	0,62	0,49	0,80	565	4,4	28,6	32,3	30,3	2,5	9,7
26-11-25	16:00	J.Z.A	0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,4	28,7	32,5	33,3	0,5	19,1
26-11-25	20:00		0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,4	28,7	32,7	30,1	2,2	10,5
27-11-25	0:00		0,46	0,62	0,47	0,80	565	4,3	29,4	33,1	22,5	0,9	10,9
27-11-25	4:00	M.M.P	0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,3	29,2	32,6	10,5	0,4	4,1
27-11-25	8:00		0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,3	28,9	32,4	25,6	1,4	10,5
27-11-25	12:00		0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,3	29,1	32,7	28,3	2,0	10,5
27-11-25	16:00	J.Z.A	0,46	0,62	0,49	0,80	565	4,4	28,6	30,9	32,3	1,7	15,7
27-11-25	20:00		0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,3	29,0	32,6	30,2	0,9	1
28-11-25	0:00		0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,3	29,2	33,2	25,6	1,2	1
28-11-25	4:00	M.M.P	0,46	0,62	0,48	0,80	565	4,3	28,9	32,8	10,8	0,6	6,9

Fuente: *SGIA Aguas Antofagasta.*

Estos seguimientos permiten detectar desviaciones y activar acciones operacionales como ajustes de dosificación, lavado de filtros, revisión de membranas o correcciones de postratamiento.

En ambas plantas se evaluaron los riesgos asociados a la calidad del agua de ingreso, al desempeño de las etapas de tratamiento y a la conformidad del agua producida. En la PFOH se consideraron principalmente la dosificación de reactivos,

la remoción de arsénico y turbiedad, la filtración y la desinfección; mientras que en la PDTT se analizaron el pretratamiento, la integridad de las membranas, la calidad del permeado, la remineralización, la estabilidad fisicoquímica, la fluoración y la desinfección. Los resultados se registran en planillas oficiales y, una vez validados, se integran en tablas de calidad y operación que permiten evaluar el comportamiento de cada planta y respaldar la toma de decisiones.

Por otro lado, la caracterización incorporó la matriz de peligros y riesgos del Plan de Seguridad del Agua, revisando etapa afectada, tipo de peligro, causa, probabilidad, severidad, magnitud del riesgo y medidas de control tal como se señala en la Tabla N°21.

Tabla N°21: Síntesis integrada de caracterización de las plantas, peligros y riesgos.

Planta / sistema	Etapa del proceso	Evento peligroso o desviación	Tipo de peligro	Causa probable	Barrera o función comprometida	Probabilidad	Severidad	Nivel de riesgo	Medidas de control existentes	Respuesta ante desviación o emergencia	Variables e indicadores asociados
Planta de Filtros O'Higgins — PFOH	Captación e ingreso de agua cruda	Incremento de turbiedad, arsénico u otros contaminantes en el agua de entrada	Químico y físico	Variación de la calidad de la fuente, eventos climáticos, arrastre de sedimentos o alteraciones en el sistema de conducción	Control de calidad del agua cruda y capacidad de ajuste del tratamiento	Media	Alta	Alto	Monitoreo de agua cruda, análisis de arsénico y turbiedad, inspección del sistema de ingreso y ajuste de condiciones operacionales	Confirmación analítica, aumento de frecuencia de monitoreo, ajuste del proceso y comunicación a las áreas responsables	Calidad del agua de ingreso; frecuencia de desviaciones; tiempo de detección; porcentaje de resultados fuera del límite interno
PFOH- PDTT	Desinfección	Concentración insuficiente o excesiva de cloro libre residual	Microbiológico y químico	Falla de dosificación, variación de demanda, preparación incorrecta de solución, falta de reactivo o error de medición	Inactivación microbiológica y mantenimiento de residual desinfectante	Media	Muy alta	Crítico	Medición de cloro residual, verificación de dosificadores, control de stock, calibración de equipos y registros	Verificación inmediata, ajuste de dosis, repetición de análisis, incremento de frecuencia, delimitación del volumen y suspensión cuando proceda	Cloro libre residual; porcentaje de cumplimiento; tiempo de respuesta; frecuencia de desviaciones
Planta Desaladora de Taltal — PDTT	Captación y pretratamiento	Aumento de turbiedad, sólidos o materia orgánica en el agua de alimentación	Físico, químico y biológico	Variación en la captación, deterioro del pretratamiento, eventos ambientales o deficiencias de limpieza	Protección de membranas y reducción de carga contaminante	Media	Alta	Alto	Monitoreo de turbiedad, presión diferencial, inspección de filtros y control del pretratamiento	Incremento de monitoreo, lavado o recambio de filtros, reducción de producción y evaluación del estado de las membranas	Turbiedad de alimentación; presión diferencial; frecuencia de limpieza; disponibilidad del pretratamiento

Fuente: *Elaboración propia***.**

La revisión también consideró la preparación y respuesta ante emergencias. El Plan de Seguridad del Agua (PSA) de Taltal, código: B-03-04-02-P-28 del SGIA establece acciones frente a desviaciones, tales como verificación de los sistemas de dosificación, inspección de unidades de filtración, repetición de análisis, delimitación del volumen potencialmente afectado, incremento de las frecuencias de monitoreo, suspensión temporal de la producción y comunicación a las áreas responsables. Estos antecedentes fueron empleados para construir indicadores

relacionados con la capacidad de detección, el tiempo de respuesta, la confirmación de la recuperación y el cierre documentado del evento.

Como resultado, esta fase entrega una visión integrada del SGIA y define la base para seleccionar variables, indicadores y criterios de evaluación.

6.1.3 Fase 3: Diseño metodológico y construcción de indicadores

La tercera fase transformó los registros operacionales y de calidad en información evaluable, mediante una base histórica integrada por resultados analíticos, parámetros de operación, dosificación, caudales y antecedentes de auditoría.

La construcción de la base se apoyó en el procedimiento de gestión de información operacional del SGIA, que define recopilación, validación, consolidación y trazabilidad de registros.

Participaron en la generación, revisión y validación de datos según sus responsabilidades operadores, supervisores, jefaturas y unidades de calidad.

La validación consideró la revisión de continuidad temporal, unidades, fechas, puntos de muestreo, duplicidades, valores atípicos, calibraciones y coherencia con rangos operacionales.

Con la información validada, se aplicaron medidas estadísticas e indicadores asociados a calidad, estabilidad, control operacional, trazabilidad, continuidad y eficiencia relativa. En la Tabla N°22 se indican las dimensiones de evaluación y ejemplos de indicadores.

Los indicadores se seleccionaron por pertinencia frente al riesgo, disponibilidad de datos, comparabilidad, facilidad de interpretación y utilidad para la toma de decisiones.

La fase produjo una base consolidada y un conjunto de indicadores capaces de representar el desempeño del SGIA por planta y período, pudiendo señalar que: *“El criterio central de esta fase fue que un modelo cuantitativo solo resulta válido*

cuando los datos que lo alimentan son íntegros, consistentes, trazables y comparables"

Tabla N°22: Dimensiones utilizadas para evaluar el SGIA.

Dimensión	Propósito	Ejemplos de indicadores
Calidad e inocuidad	Verificar cumplimiento y estabilidad del agua producida	Cumplimiento normativo, frecuencia de desviaciones y variabilidad de parámetros críticos.
Control operacional	Evaluar la ejecución y eficacia de los controles	Cumplimiento de frecuencias, PCC dentro de rango, disponibilidad de reactivos y estado de equipos.
Gestión de riesgos y documentación	Comprobar trazabilidad, prevención y respuesta	Registros completos, matriz de riesgos actualizada, cierre de desviaciones y acciones correctivas.
Continuidad y eficiencia	Relacionar capacidades utilizadas con resultados	Continuidad de producción, respuesta y puntuación DEA.

Fuente: *Elaboración propia***.**

6.1.4 Fase 4: Aplicación del modelo de evaluación

La cuarta fase aplicó el modelo integrado de evaluación, combinando análisis estadístico descriptivo, evaluación de eficacia y estimación de eficiencia relativa mediante DEA-BCC, identificando cuatro niveles que se señalan a continuación:

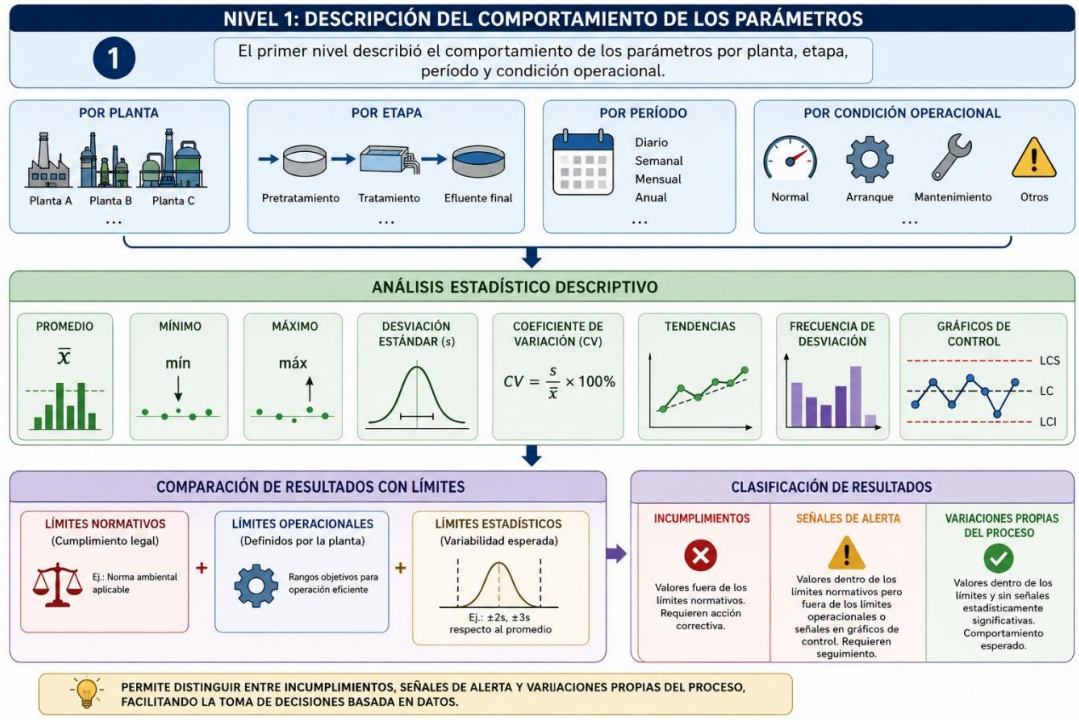
- **Nivel 1. Análisis estadístico descriptivo**

  El análisis estadístico describió el comportamiento de los parámetros por planta, período y condición operacional, permitiendo observar variabilidad, tendencias, desviaciones y cercanía a límites de control.

  La interpretación relacionó cada resultado con la función de la etapa y el peligro controlado, diferenciando los parámetros sensibles de PFOH y PDTT.

  El proceso de análisis es representado en la Figura N°7.

Figura N°7: Análisis Estadístico Descriptivo del Control Operacional por Planta.



Fuente: *Elaboración mediante ChatGPT,2026 [Imagen generada con Inteligencia Artificial]*

- **Nivel 2. Evaluación de la eficacia**

La eficacia se entendió como la capacidad del SGIA para alcanzar los objetivos de inocuidad, calidad y control operacional. Su evaluación consideró el cumplimiento sostenido de los parámetros, la ejecución de los monitoreos, el mantenimiento de los PCC dentro de rango, la disponibilidad de registros, la oportunidad de la respuesta y el cierre documentado de las desviaciones.

El proceso de evaluación de la eficacia es representado en la Figura N°8.

Figura N°8: Evaluación de la Eficacia del SGIA.



Fuente: *Elaboración mediante ChatGPT,2026 [Imagen generada con Inteligencia Artificial]*

- **Nivel 3. Evaluación de eficiencia mediante DEA**

La eficiencia relativa se estimó mediante un modelo DEA-BCC, con rendimientos variables a escala y orientación a resultados. Las unidades de decisión se definieron como combinaciones planta-período, de modo que cada unidad representara un intervalo operacional comparable. Las variables de entrada (Input) reflejaron recursos, condiciones y controles empleados; las variables de salida (Outputs) representaron cumplimiento, estabilidad, calidad, eficacia y continuidad

La eficiencia obtenida mediante análisis DEA, se interpretará en una escala entre 0 y 1, de acuerdo con lo señalado en la Tabla N°23.

Tabla N°23: Interpretación resultados de análisis DEA.

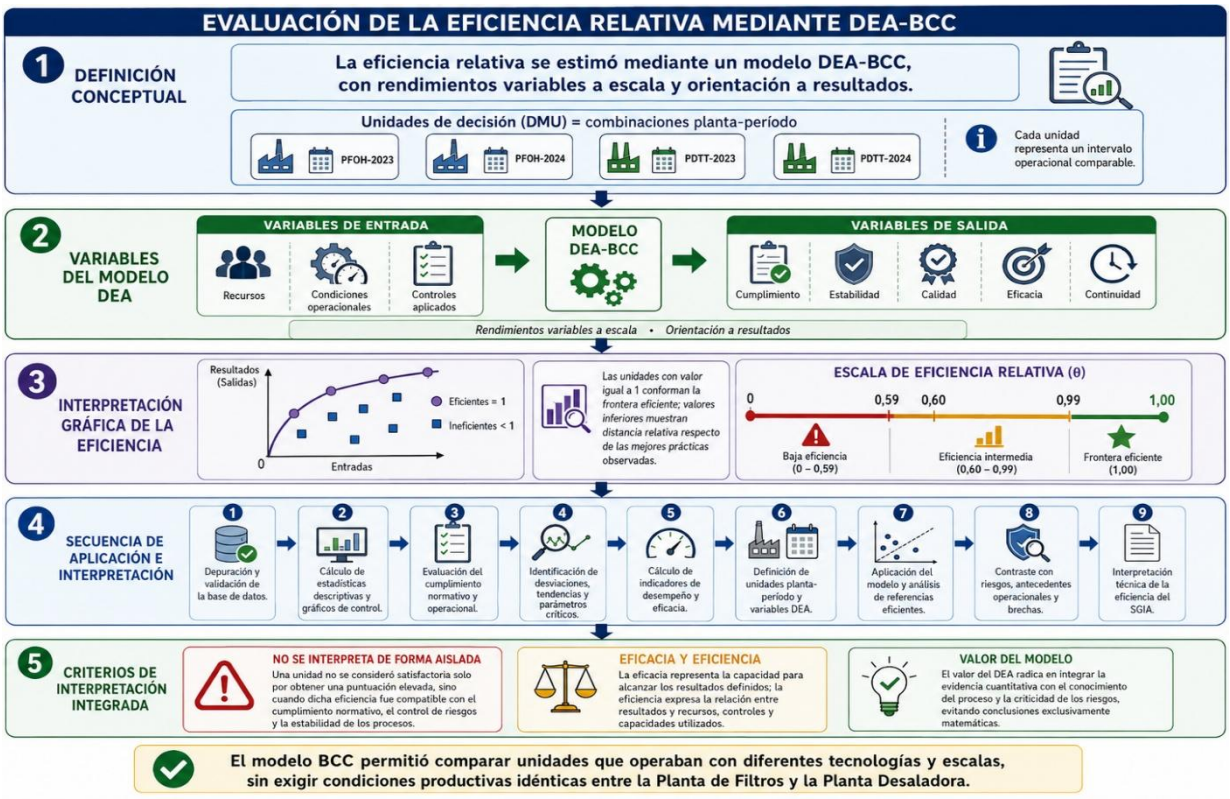
Resultado DEA	Interpretación
0,90 a 1,00	SGIA eficiente
0,70 a 0,89	SGIA parcialmente eficiente
Menor a 0,70	SGIA con brechas relevantes

Fuente: *Elaboración propia.*

El modelo BCC permitió comparar las unidades que operaban con diferentes tecnologías y escalas, evitando la exigencia de que las plantas productivas de: Filtros y Desaladora, presentaran condiciones de operación idénticas. La puntuación de eficiencia se interpretó entre 0 y 1. Las unidades con valor igual a 1 conformaron la frontera eficiente, mientras que las unidades con valores inferiores mostraron una distancia relativa respecto de las mejores prácticas observadas.

El proceso de evaluación de la eficiencia relativa es representado en la Figura N°9.

Figura N°9: Evaluación de la Eficiencia Relativa Mediante DEA-BCC.



Fuente: *Elaboración mediante ChatGPT,2026 [Imagen generada con Inteligencia Artificial]*

Finalmente, se indica la secuencia de aplicación e interpretación del sistema:

1. Depuración y validación de la base de datos.

2. Cálculo de estadísticas descriptivas y gráficos de control.
3. Evaluación del cumplimiento normativo y operacional.
4. Identificación de desviaciones, tendencias y parámetros críticos.
5. Cálculo de indicadores de desempeño y eficacia.
6. Definición de unidades planta-período y variables DEA.
7. Aplicación del modelo y análisis de referencias eficientes.
8. Contraste con riesgos, antecedentes operacionales y brechas.
9. Interpretación técnica de la eficiencia del SGIA.

Los resultados DEA se interpretaron junto con cumplimiento normativo, estabilidad, riesgos y antecedentes operacionales, evitando conclusiones exclusivamente matemáticas.

La eficacia y la eficiencia se trataron como conceptos relacionados pero distintos: la primera expresa logro de resultados; la segunda, relación entre resultados y recursos o controles utilizados.

6.1.5 Fase 5: Resultados, brechas y recomendaciones

La quinta fase integró los resultados del análisis estadístico, los indicadores de eficacia, el modelo DEA, la matriz de riesgos y la revisión documental. La información se organizó por planta, parámetro, período, dimensión y condición operacional, permitiendo distinguir las áreas consolidadas de aquellas que requerían fortalecimiento.

Las brechas se determinaron comparando requisitos ISO 22000:2018, controles del Plan de Seguridad del Agua, procedimientos, registros disponibles y desempeño observado.

La priorización se efectuó en niveles alto, medio y bajo. Se asignó mayor relevancia a las brechas que podían comprometer la inocuidad, el cumplimiento normativo, la continuidad operacional o la capacidad preventiva del sistema. Esta jerarquización permitió diferenciar las acciones inmediatas de aquellas que podían incorporarse a planes de mejora de mediano plazo.

Las recomendaciones se orientaron al fortalecimiento de la gestión de riesgos, la actualización de matrices y procedimientos, la mejora de la trazabilidad, la automatización de indicadores, la revisión de límites internos, la optimización de los controles de postratamiento y desinfección, la validación de medidas de control, la capacitación del personal y la utilización de los resultados en la revisión por la dirección. En la Tabla N°24 se indican los tipos de brechas junto a un ejemplo de aplicación y recomendación respectiva.

Tabla N°24: Tipos de Brechas.

Tipo de brecha	Ejemplo	Recomendación general
Normativa	Incumplimiento de parámetro	Reforzar control y verificación
Operacional	Parámetros fuera de rango	Ajustar límites y alertas internas
Documental	Registros incompletos	Mejorar trazabilidad y sistematización
Preventiva	PCC sin evidencia suficiente	Fortalecer control de peligros
Gestión	Desviaciones sin cierre oportuno	Mejorar acciones correctivas
Eficiencia	Bajo resultado DEA	Optimizar recursos y controles

Fuente: *Elaboración propia*.

6.3 SÍNTESIS EVALUATIVA DEL ENFOQUE METODOLÓGICO

La aplicación de las cinco fases permitió evaluar el SGIA como un sistema integral de prevención, control, información y aprendizaje.

La formación en ISO 22000:2018 reforzó la interpretación preventiva del sistema, especialmente en gestión de riesgos, control operacional, documentación, verificación y mejora continua.

La integración entre Plan de Seguridad del Agua, procedimientos internos, bases de datos e indicadores permitió construir una evaluación coherente del desempeño y eficiencia del SGIA.

CAPITULO VII
7. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante la integración de los registros de calidad y operación, los antecedentes de calidad del agua distribuida informados a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), los indicadores internos del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA), el análisis estadístico descriptivo, la clasificación de las condiciones operacionales, el modelo DEA-BCC y los hallazgos de la preauditoria conforme a la NCh-ISO 22000:2018.

7.1 DESCRIPCIÓN, COBERTURA Y VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS

El período de análisis comprendió desde enero de 2023 hasta junio de 2026, según la disponibilidad de cada planta productiva. Para los registros operacionales se dispuso de series diarias de ambas plantas; después de la agregación diaria se obtuvieron 1.056 unidades de decisión para la Planta Desaladora de Taltal (PDTT) y 1.216 para la Planta de Filtros O'Higgins (PFOH). La cobertura varió entre parámetros, por lo que cada resultado se interpretó con su tamaño muestral específico. La serie SISS disponible abarcó 39 períodos mensuales entre enero de 2023 y marzo de 2026.

Los valores fueron validados y aquellos que resultaron ser extremos fueron tratados como alertas de trazabilidad. No se eliminaron solo por su distancia respecto del promedio: su exclusión requiere verificación mediante registros de turno, calibración, mantenimiento, condiciones de fuente o evidencia de error de transcripción. Este criterio permite distinguir la variabilidad real del proceso de los problemas de calidad del dato.

7.2 CUMPLIMIENTO NORMATIVO Y OPERACIONAL

El cumplimiento normativo se evaluó mediante la comparación de los resultados de calidad del agua con los límites aplicables establecidos en la NCh 409/1 Of2005.

Complementariamente, se consideraron los rangos y criterios de control operacional definidos por el SGIA, algunos de los cuales establecen márgenes más restrictivos que los requisitos normativos, con el propósito de detectar anticipadamente desviaciones y fortalecer el control preventivo de los procesos.

Para los parámetros seleccionados y con información disponible durante el período de estudio, la PFOH alcanzó un 99,55 % de resultados conformes, mientras que la PDTT registró un 99,81 %. Estos resultados evidencian un elevado grado de conformidad de la calidad del agua producida respecto de los criterios evaluados.

La existencia de resultados fuera de los rangos operacionales internos no necesariamente representa un incumplimiento normativo. En diversos casos corresponde a alertas preventivas, definidas para identificar oportunamente variaciones del proceso antes de que puedan afectar la conformidad del producto. Esta diferencia permite distinguir entre el cumplimiento sanitario del agua producida y el desempeño del control operacional implementado por el SGIA.

De esta manera, se observa que ambas plantas presentaron un comportamiento favorable, con desviaciones puntuales y alertas internas cuyo análisis se profundiza en las secciones siguientes mediante la evaluación estadística, la estabilidad química y microbiológica y los indicadores de desempeño del SGIA.

7.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE CALIDAD DE AGUA

A continuación, se presentan los resultados de las dos plantas bajo análisis.

- **Planta de filtros O’Higgins**

El comportamiento general observado fue favorable, registrándose una mediana de turbiedad de 0,220 UNT y un percentil 95 de hierro de 0,270 mg/L. No obstante, el arsénico presentó la mayor frecuencia de alertas internas, mientras que la turbiedad y el hierro evidenciaron episodios puntuales fuera de criterio. Los valores máximos registrados para estos últimos parámetros permanecen sujetos a validación, debido a que se asocian a eventos extraordinarios vinculados al invierno

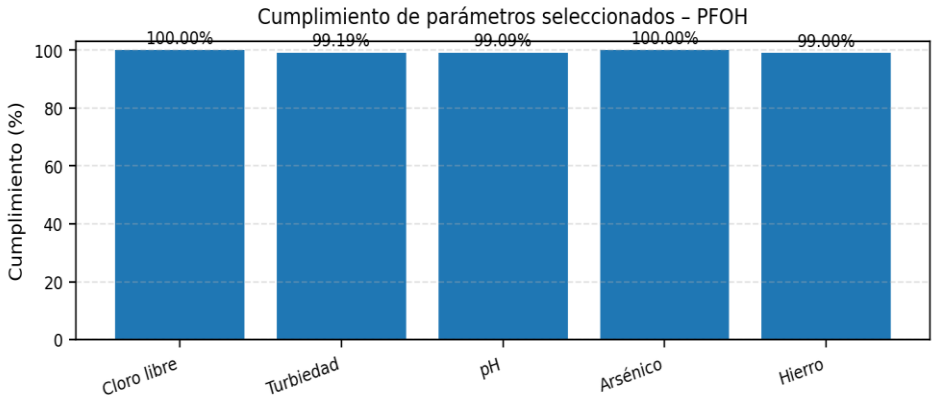
altiplánico. En la Tabla N°25 se resumen los parámetros y estadígrafos más relevantes, representando el nivel de cumplimiento en la Figura N°10.

Tabla N°25: Estadísticos descriptivos y cumplimiento de parámetros en PFOH.

Parámetro	n	Media	Mediana	P95	Cumpl.	Alerta int.
Cloro libre (mg/L)	7.493	1,201	1,220	1,330	100,00%	0,42%
Turbiedad (UNT)	7.452	0,359	0,220	0,320	99,19%	1,01%
pH	6.584	7,88	7,90	8,31	99,09%	10,84%
Arsénico (µg/L)	7.466	7,429	7,500	7,500	100,00%	15,12%
Hierro (mg/L)	7.297	0,196	0,190	0,270	99,00%	9,46%

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura N°10: Cumplimiento de parámetros seleccionados en PFOH.



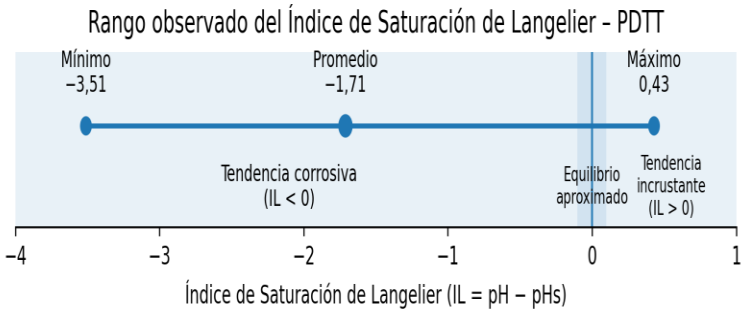
Fuente*: Elaboración propia*

- **Planta desaladora de Taltal**

La turbiedad, el fluoruro y los sólidos disueltos totales presentaron un comportamiento general favorable respecto de los criterios amplios seleccionados. Se identificaron cuatro mediciones de cloro libre inferiores a 0,20 mg/L, concentradas en 2023, y 60 resultados de pH fuera del intervalo 6,5–8,5, principalmente en 2023 y 2024. El Índice de Saturación de Langelier (IL = pH − pHs) alcanzó un promedio de −1,71, con valores entre −3,51 y 0,43 y una desviación estándar de 0,92 (Figura N°11). El predominio de valores negativos evidencia una condición con tendencia corrosiva, mientras que el máximo positivo refleja episodios

puntuales con tendencia incrustante. Por tanto, la estabilidad química del agua desalinizada no fue uniforme y no puede inferirse exclusivamente a partir del cumplimiento del pH.

Figura N°11: Rango observado del Índice de Saturación de Langelier en PDTT.



***Fuente**: Elaboración propia.*

El valor promedio de la planta evidenciado durante el período de estudio representa una brecha que debe ser abordada desde el punto de vista operacional.

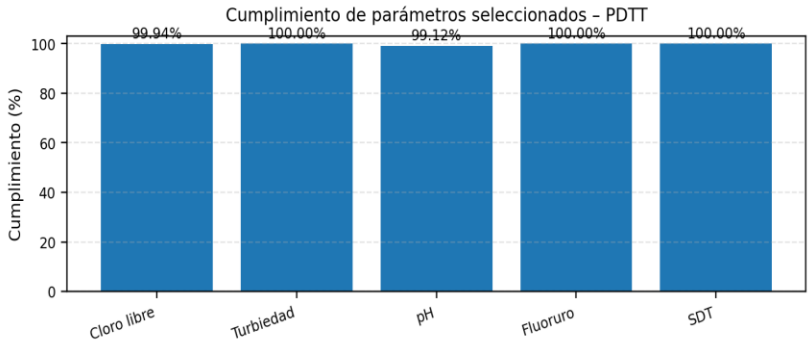
En la Tabla N°26 se resumen los parámetros y estadígrafos más relevantes, representando el nivel de cumplimiento en la Figura N°12.

Tabla N°26: Estadísticos descriptivos de parámetros y estabilidad química en PDTT.

Parámetro	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. estándar
Cloro libre	mg/L	1,18	0,08	1,90	0,10
Turbiedad	UNT	0,20	0,02	0,96	0,10
pH	unidad	7,89	6,20	9,50	0,34
Fluoruro	mg/L	0,73	0,16	1,16	0,10
Índice de Saturación de Langelier	unidad	−1,71	−3,51	0,43	0,92
Sólidos disueltos totales	mg/L	282,20	79,30	1.308,45	138,89

***Fuente**: Elaboración propia*

Figura N°12: Cumplimiento de parámetros seleccionados en PDTT.



***Fuente**: Elaboración propia.*

7.4 ESTABILIDAD QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL SISTEMA

La clasificación diaria de condiciones normales, de alerta y críticas se aplicó como una regla operativa de comparación y no como una definición normativa. Con esta regla, PFOH registró 1.173 días normales, 19 de alerta y 24 críticos; PDTT registró 1.019 días normales, 35 de alerta y 2 críticos. En PFOH, los días críticos se asociaron principalmente a episodios de turbiedad y hierro; en PDTT, a desviaciones puntuales de pH. De manera complementaria, el Índice de Saturación de Langelier presentó un promedio negativo y un rango que atravesó el equilibrio, lo que confirma variabilidad en la estabilidad química del postratamiento aun cuando la conformidad global de los parámetros seleccionados fue elevada.

El resumen de la clasificación operacional para cada planta se indica en la Tabla N°27.

Tabla N°27: Síntesis de la clasificación operacional aplicada a los días evaluados.

Planta	Normal	Alerta	Crítica	Total
PFOH	1.173 (96,46%)	19 (1,56%)	24 (1,97%)	1.216
PDTT	1.019 (96,50%)	35 (3,31%)	2 (0,19%)	1.056

***Fuente**: Elaboración propia.*

En la serie SISS, los 39 períodos mensuales disponibles registraron ausencia de coliformes totales y promedios mensuales de cloro libre residual entre 0,833 y

1,191 mg/L, con un promedio global de 0,969 mg/L. Esta evidencia es favorable para el indicador disponible y para la permanencia del residual desinfectante; sin embargo, al tratarse de datos mensuales consolidados, no demuestra la ausencia absoluta de eventos puntuales ni reemplaza la revisión de E. coli, coliformes fecales, número de muestras y resultados individuales.

7.5 INDICADORES DE DESEMPEÑO DEL SGIA

Los resultados siguientes (Tabla N°28) corresponden a los objetivos e indicadores internos de gestión del SGIA y no a los 17 objetivos específicos de la investigación. La evaluación distingue los indicadores calculables de aquellos cuya verificación requiere antecedentes adicionales.

Tabla N°28: Indicadores internos de desempeño del SGIA y evidencia disponible.

Objetivo interno / indicador	Meta	Resultado disponible	Alcance de la interpretación
Índice de cumplimiento del SGIA (ICNSG)	≥ 90%	75,56%	Resultado inferior a la meta; sistema en desarrollo.
Control de procesos	≥ 95%	PDTT 99,81%; PFOH 99,55%	Cumple en los parámetros seleccionados; no equivale a madurez integral.
Estabilidad microbiológica	Ausencia y cloro 0,2–2,0	39/39 períodos; cloro 0,833–1,191	Evidencia mensual complementaria.
Gestión de riesgos	≥ 90% controles eficaces	No calculable	La matriz identifica riesgos, pero no consolida eficacia verificada.
Mejora continua	≥ 90% acciones eficaces	No calculable	La preauditoria registró 7 NC y 5 OM; falta consolidar cierre y eficacia.
Competencias	≥ 95% del plan	Evidencia parcial	La formación individual no acredita el cumplimiento global del plan.

***Fuente**: Elaboración propia*

El alto cumplimiento de los parámetros de calidad no implica, por sí solo, que el sistema haya alcanzado la meta de madurez. La diferencia entre el ICNSG y los indicadores de producto evidencia la necesidad de interpretar separadamente el desempeño sanitario, el control operacional y el desarrollo del sistema de gestión.

7.6 RESULTADOS DEL MODELO DEA-BCC

El modelo DEA-BCC orientado a outputs se aplicó separadamente a cada planta, considerando el día de operación como unidad de decisión. Los puntajes representan eficiencia relativa respecto de los mejores días observados dentro de cada planta; no constituyen eficiencia absoluta de diseño, no prueban causalidad y no permiten establecer una superioridad directa entre procesos diferentes. Los valores promedio, máximos y mínimos junto a la interpretación se indican en la Tabla N°30, mayores antecedentes en el Anexo 7 y 8.

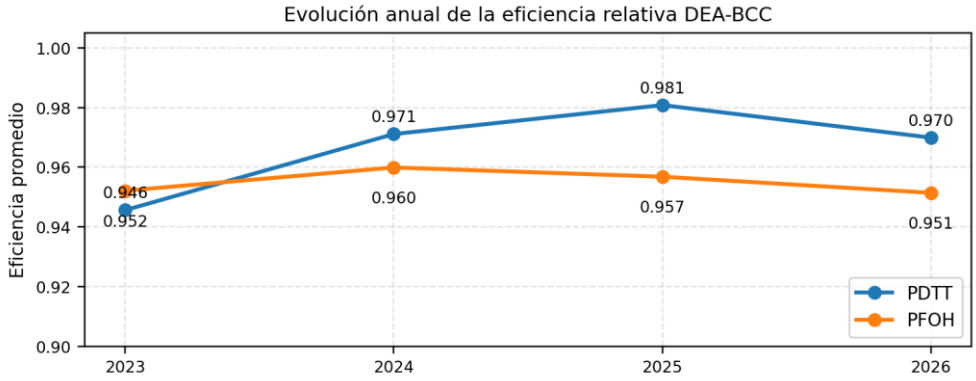
Tabla N°29: Resultados resumidos del modelo DEA-BCC por planta.

Planta	Días	Promedio	Mínimo	Máximo	Interpretación
PDTT	1.056	0,9678	0,8060	1,0000	Alta proximidad media a su frontera relativa.
PFOH	1.216	0,9556	0,6919	1,0000	Desempeño satisfactorio con mayor dispersión puntual.

***Fuente**: Elaboración propia*

En la Figura N°13, se observa que PDTT mostró un aumento de la eficiencia promedio entre el año 2023 y 2025, seguido de una reducción parcial en el año 2026. Por otor lado, PFOH mantuvo promedios anuales cercanos a 0,95, aunque presentó mínimos más bajos en los años 2023 y 2025. Los días de menor eficiencia deben utilizarse como casos de contraste operacional, sin asumir que representan incumplimientos sanitarios.

Figura N°13: Evolución anual de la eficiencia promedio DEA-BCC.



***Fuente**: Elaboración propia*

7.7 BRECHAS DETECTADAS Y PRIORIZACIÓN

La preauditoria registró siete no conformidades y cinco oportunidades de mejora (Tabla N°30), sobre la base de los criterios de priorización utilizados (Tabla N°31). Los hallazgos se integraron con la evidencia estadística para identificar brechas del sistema (ver Anexo 3).

Tabla N°30: Matriz sintética de brechas detectadas y estado de la evidencia.

Dimensión	Evidencia observada	Estado del hallazgo	Prioridad
Objetivos e indicadores	ICNSG 75,56%; objetivos inicialmente no formalizados.	Subsanación documental informada; eficacia aún no verificada.	Alta
Peligros, PCC y PPRO	Insuficiente diferenciación y justificación técnica en la preauditoria.	En proceso de fortalecimiento.	Alta
Desviaciones y acciones correctivas	Ausencia de registro formal y causa raíz ante una desviación asociada a arsénico.	En mejora.	Alta
Mantenimiento de dosificación	Evidencia preventiva insuficiente en bombas dosificadoras y equipos críticos.	En mejora.	Alta
Alcance y responsabilidades	Alcance no aprobado y comité de inocuidad desactualizado.	En mejora.	Media-alta
Infraestructura e higiene	Hallazgos en condiciones de recintos y programas de prerrequisitos.	En mejora.	Media-alta
Competencias	Existe evidencia individual, pero no cobertura consolidada del plan.	Evidencia parcial.	Media

***Fuente**: Elaboración propia*

Tabla N°31: Criterios de priorización utilizados para presentar las brechas.

Nivel	Criterio de resultado
Alta	Brecha vinculada con control de peligros, desviaciones, mantenimiento crítico o cumplimiento de metas del SGIA.
Media-alta	Brecha que afecta gobernanza, infraestructura, higiene, alcance o confiabilidad operacional.
Media	Brecha de consolidación documental, competencias o seguimiento sin evidencia de impacto inmediato en el producto.

***Fuente**: Elaboración propia*

Los resultados muestran que la conformidad del agua producida puede coexistir con brechas de gobernanza, trazabilidad y verificación de eficacia. Por esta razón, la calificación del SGIA no debe sustentarse exclusivamente en los porcentajes de cumplimiento de calidad.

7.8 SÍNTESIS FINAL DEL DESEMPEÑO Y EFICIENCIA DEL SGIA

En conjunto, la evidencia respalda un buen desempeño sanitario y operacional durante el período analizado, con diferencias entre plantas en los parámetros sensibles y en la dispersión de la eficiencia relativa (Tabla N°32). PFOH mostró mayor sensibilidad en arsénico, hierro y turbiedad; PDTT concentró sus principales desviaciones en pH, cloro libre residual y estabilidad química. En esta última planta, el Índice de Saturación de Langelier evidenció una tendencia predominantemente corrosiva, aunque con variación hasta valores positivos en los últimos meses. La evidencia microbiológica disponible fue favorable, mientras que el análisis DEA identificó períodos próximos a la frontera eficiente y días específicos para contraste operacional.

Tabla N°32: Síntesis final del desempeño y eficiencia del SGIA.

Dimensión	Resultado comprobado	Interpretación acotada
Calidad del producto	PFOH 99,55%; PDTT 99,81% en criterios seleccionados.	Conformidad general elevada, con eventos puntuales.
Condiciones operacionales	PFOH 24 días críticos; PDTT 2, según regla aplicada.	Los eventos críticos fueron poco frecuentes y diferenciados por planta.
Estabilidad microbiológica	39/39 períodos mensuales sin coliformes totales; cloro 0,833–1,191 mg/L.	Evidencia favorable para los indicadores disponibles.
Estabilidad química PFOH	Arsénico, hierro y turbiedad concentraron alertas y episodios extremos.	Comportamiento habitual favorable, no uniformemente estable.
Estabilidad química PDTT	pH y cloro registraron desviaciones puntuales; IL promedio −1,71, con rango −3,51 a 0,43; fluoruro, turbiedad y SDT presentaron comportamiento favorable.	El producto mostró alta conformidad, pero el equilibrio químico fue predominantemente subsaturado y variable.
Eficiencia relativa	PDTT 0,9678; PFOH 0,9556.	Resultados útiles para benchmarking interno, no para inferencia causal.
Madurez del SGIA	ICNSG 75,56%; 7 NC y 5 OM.	Sistema operativo funcional, con brechas de gestión aún en consolidación.

***Fuente**: Elaboración propia.*

Los resultados permiten responder los objetivos específicos vinculados con la construcción y validación de la base de datos, la caracterización de parámetros en condiciones normales y críticas, la evaluación del cumplimiento, la estabilidad química y microbiológica, la eficiencia relativa y la identificación de brechas. No obstante, la evidencia no permite afirmar que todas las metas internas del SGIA hayan sido alcanzadas ni atribuir causalidad a las desviaciones observadas.

CAPITULO VIII
8. CONCLUSIONES

Este estudio permitió evaluar el desempeño y la eficiencia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua implementado en las plantas productoras de agua potable de Taltal de Aguas Antofagasta S.A., considerando el periodo comprendido entre enero de 2023 y junio de 2026. Para ello, se aplicó una metodología integrada basada en análisis estadístico de datos históricos, revisión de cumplimiento normativo, indicadores de desempeño, evaluación de estabilidad química y microbiológica, identificación de brechas y aplicación del modelo DEA-BCC orientado a outputs.

La principal conclusión es que el SGIA presenta un desempeño global satisfactorio. Este resultado se sustenta en el alto cumplimiento normativo, la estabilidad microbiológica favorable, la continuidad operacional sin eventos relevantes y los resultados de eficiencia relativa obtenidos para ambas plantas.

El modelo de evaluación propuesto responde al objetivo general de la tesis, porque permite observar el SGIA desde una mirada más amplia que el simple cumplimiento regulatorio. La combinación de datos operacionales, calidad de agua, indicadores, DEA-BCC y brechas entrega una visión integrada y útil para la gestión.

Respecto del cumplimiento normativo, los antecedentes revisados muestran que la localidad de Taltal presentó un buen nivel de cumplimiento en los parámetros relevantes de calidad de agua potable, registrándose solo incumplimientos puntuales. Este resultado constituye una evidencia favorable desde la perspectiva regulatoria y confirma que el sistema ha mantenido mayoritariamente los parámetros de calidad dentro de los límites exigidos. Sin embargo, también se concluye que el cumplimiento normativo, por sí solo, no es suficiente para evaluar la eficiencia integral del SGIA, ya que no permite observar completamente la estabilidad del proceso, la gestión preventiva, la trazabilidad documental ni la eficiencia en el uso de recursos operacionales.

Desde la perspectiva microbiológica, el sistema mostró un comportamiento favorable, sin eventos relevantes asociados a coliformes totales durante el periodo evaluado. Esto permite concluir que las barreras de control sanitario y desinfección han funcionado adecuadamente. No obstante, el control microbiológico debe mantenerse como una prioridad permanente, especialmente a través del seguimiento del cloro libre residual, la verificación operacional y la respuesta oportuna frente a desviaciones.

En cuanto a la estabilidad química, se concluye que ambas plantas presentan un comportamiento general estable, aunque con parámetros sensibles que requieren seguimiento prioritario. En la Planta de Filtros O'Higgins, los principales parámetros de atención corresponden al arsénico y al hierro. El arsénico constituye el parámetro de mayor relevancia sanitaria, debido a la naturaleza de la fuente subterránea y al objetivo del proceso de tratamiento, mientras que el hierro destaca por su mayor variabilidad relativa, lo que lo transforma en un indicador sensible del control operacional.

En la Planta Desaladora de Taltal, los parámetros de mayor relevancia corresponden al pH, cloro libre residual, fluoruro, sólidos disueltos totales e Índice de Langelier. Estos parámetros están directamente relacionados con el postratamiento, la remineralización, la estabilidad química del agua desalinizada y la desinfección final. Por esta razón, se concluye que el desempeño de la planta desaladora no debe evaluarse únicamente en función del volumen producido, sino también por su capacidad para entregar un agua químicamente estable, sanitariamente segura y compatible con las condiciones posteriores de almacenamiento y distribución.

Los resultados DEA-BCC muestran un desempeño relativo favorable, con eficiencia promedio de 0,9678 para la Planta Desaladora de Taltal y 0,9556 para la Planta de Filtros O'Higgins. Estos resultados indican que ambas plantas operaron, en promedio, cerca de su frontera eficiente histórica.

La comparación entre plantas debe interpretarse con cautela, ya que ambas poseen fuentes, tecnologías, escalas y riesgos distintos. El valor del DEA-BCC

radica principalmente en identificar días de mejor desempeño, días con brechas relativas y oportunidades de análisis interno.

En relación con las brechas del SGIA, se concluye que el sistema presenta una base operativa sólida, pero requiere continuar consolidando su madurez de gestión. La auditoría interna permitió identificar brechas iniciales asociadas a formalización de objetivos, integración de indicadores, gestión documental, diferenciación entre PPR, PPRO y PCC, registro de acciones correctivas, análisis de causa raíz y trazabilidad de decisiones críticas. No obstante, parte relevante de estas brechas fue posteriormente abordada mediante la formalización de objetivos del SGIA, su presentación y aprobación por la alta gerencia, lo que representa un avance relevante hacia una gestión más sistemática y alineada con ISO 22000:2018.

En síntesis, el SGIA de Taltal cuenta con una base operativa sólida y buen control sanitario-operacional, pero debe continuar consolidando su madurez de gestión mediante indicadores, trazabilidad, revisión de brechas y uso permanente de información para la toma de decisiones.

Finalmente, se concluye que la metodología aplicada constituye una herramienta útil para la gestión sanitaria y operacional de sistemas de agua potable en localidades vulnerables. El análisis integrado permite pasar desde una mirada centrada únicamente en cumplimiento normativo hacia una evaluación preventiva, medible y orientada a la mejora continua. En este sentido, el estudio aporta evidencia empírica para fortalecer la toma de decisiones, priorizar controles, mejorar la trazabilidad y consolidar el SGIA como una herramienta de gestión preventiva para asegurar la inocuidad, continuidad y eficiencia de la producción de agua potable en Taltal.

CAPITULO IX
9. RECOMENDACIONES APLICADAS/PROFESIONALES

A partir de los resultados obtenidos, las recomendaciones se orientan a fortalecer la gestión del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua, el control de los parámetros críticos, la trazabilidad documental, las competencias del personal, el uso del modelo DEA-BCC y efectuar revisión periódica por parte de la alta dirección.

En primer lugar, se recomienda realizar un seguimiento de los indicadores del SGIA que integre el cumplimiento normativo, la estabilidad química y microbiológica, la continuidad operacional, la eficiencia relativa, las desviaciones, las acciones correctivas y las brechas identificadas. Cada indicador debe contar con una meta, responsable, frecuencia de medición, fuente de información y registro asociado.

Los resultados del modelo DEA-BCC deben emplearse como una herramienta de gestión y aprendizaje operacional. Los días de menor eficiencia relativa deben analizarse junto con los caudales, la dosificación de reactivos, la calidad del agua, las detenciones, los mantenimientos y los eventos registrados. Deben interpretarse como evidencia directa de las causas de una desviación.

En la planta de filtros O'Higgins se recomienda mantener un seguimiento prioritario del arsénico, hierro, turbiedad, cloro libre residual y dosificación química. Este control debe complementarse con la trazabilidad del mantenimiento preventivo de bombas dosificadoras, sistemas de cloración, unidades de filtración y equipos asociados al abatimiento de arsénico.

En la planta desaladora de Taltal se recomienda fortalecer el control del pH, cloro libre residual, fluoruro, sólidos disueltos totales e Índice de Saturación de Langelier, por su relación con el postratamiento, la remineralización, la estabilidad química y la desinfección final. En particular, el Índice de Langelier debe incorporarse como indicador permanente para identificar tendencias corrosivas, estables o incrustantes. Su interpretación debe realizarse conjuntamente con el pH, la alcalinidad, el calcio, la dureza, la temperatura y los sólidos disueltos, evitando evaluarlo como una variable aislada.

Para ambas plantas se recomienda trabajar responsablemente con los límites internos de manera tal, que sirvan de alerta operacional y permitan anticipar desviaciones antes de alcanzar los valores normativos. Asimismo, cada evento relevante debe contar con un registro que identifique la desviación, el análisis de causa raíz, el responsable, el plazo, la acción implementada y la verificación posterior de su eficacia.

También se recomienda actualizar y validar periódicamente la matriz de peligros, los programas de prerrequisitos, los programas de prerrequisitos operacionales y los puntos críticos de control. Esta revisión debe asegurar coherencia entre los peligros identificados, los diagramas de flujo, las medidas de control, los límites establecidos, los procedimientos y los registros operacionales.

El fortalecimiento del SGIA requiere, además, mantener actualizados su alcance, el Comité de Inocuidad, los roles, las responsabilidades y los procedimientos críticos. De igual forma, se debe reforzar la capacitación del personal en NCh-ISO 22000:2018, HACCP, diferenciación entre PPR, PPRO y PCC, análisis de causa raíz, control documental, interpretación de indicadores y utilización de los resultados DEA. La capacitación debe verificarse mediante evidencias de aplicación práctica.

Finalmente, se recomienda consolidar una revisión periódica por la alta dirección y desarrollar un tablero de control por planta que integre cumplimiento, parámetros sensibles, eficiencia DEA, desviaciones, acciones correctivas, mantenimiento, capacitación y estado de las brechas. Una vez validada su utilidad en Taltal, el modelo podrá adaptarse gradualmente a otras plantas de Aguas Antofagasta, considerando las diferencias de fuente, tecnología y condiciones operacionales. En conjunto, estas medidas permitirán fortalecer la inocuidad, la eficiencia productiva, la trazabilidad y la continuidad del abastecimiento de agua potable.

CAPITULO X
10. BIBLIOGRAFÍA

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science, 30*(9), 1078–1092. https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2025). *Reporte comunal: Taltal, Región de Antofagasta*. Sistema Integrado de Información Territorial.

Birnhack, L., Penn, R., & Lahav, O. (2008). Quality criteria for desalinated water and introduction of a novel, cost effective and advantageous post treatment process. *Desalination, 221*(1–3), 70–83. https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.068

Cai, M., Zhao, Z., Sun, W., Yin, W., Zhang, Y., & He, S. (2023). Impact of pipeline materials on water quality stability of desalinated seawater in the pipeline network. *Desalination, 556*, 116558. https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116558

Damiani, S., Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Sorlini, S., & Crotti, B. M. (2018). From the application of water safety plan to the achievement of the ISO 22000:2005 standard: A case study. *Environmental Engineering and Management Journal, 17*(10), 2361–2372. https://doi.org/10.30638/eemj.2018.234

Duranceau, S. J., Wilder, R. J., & Douglas, S. S. (2012). A survey of desalinated permeate post-treatment practices. *Desalination and Water Treatment, 37*(1–3), 185–199. https://doi.org/10.5004/dwt.2012.3039

Escanciano, C., & Santos-Vijande, M. L. (2014). Reasons and constraints to implementing an ISO 22000 food safety management system: Evidence from Spain. *Food Control, 40*, 50–57. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.032

Gómez-Gutiérrez, A., Miralles, M. J., Corbella, I., García, S., Navarro, S., & Llebaria, X. (2016). La calidad sanitaria del agua de consumo. *Gaceta Sanitaria, 30*(S1), 63–68. https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2016.04.012

Gunnarsdottir, M. J., Gardarsson, S. M., & Bartram, J. (2015). Developing a national framework for safe drinking water: Case study from Iceland. *International Journal of Hygiene and Environmental Health, 218*(2), 196–202. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.10.003

Humphreys Clasificadora de Riesgo. (2024). *Informe de clasificación: Aguas de Antofagasta S.A., septiembre 2024*.

Ilustre Municipalidad de Taltal. (2015). *Plan de Desarrollo Comunal de Taltal 2016–2022*.

Kabir, F., Chowdhury, S., Mazumder, M. A. J., Zahir, M. H., & Alhooshani, K. (2018). Effects of plumbing premise on the occurrences and variability of heavy metals in desalinated and blended tap water. *Desalination and Water Treatment, 107*, 257–271. https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22163

Khan, S. J., Deere, D., Leusch, F. D. L., Humpage, A., Jenkins, M., & Cunliffe, D. (2015). Extreme weather events: Should drinking water quality management systems adapt to changing risk profiles? *Water Research, 85*, 124–136. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.018

Lesimple, A., Ahmed, F. E., & Hilal, N. (2020). Remineralization of desalinated water: Methods and environmental impact. *Desalination, 496*, 114692. https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114692

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022, 27 de marzo). *PNUD en actividad regional: Taltal conmemora aluvión de 2015 con mirada puesta en cambio climático*.

Rodríguez, C., Veas, M. A., Del Piano, C., Vicuña, S., Donoso, G., & Barton, J. (2014). *Desafíos en agua y energía en regiones mineras desérticas: Recomendaciones y líneas de discusión para la promoción y difusión del uso de energías renovables no convencionales y diversificación de la matriz hídrica de la región de Antofagasta*. Universidad Católica del Norte.

Ruffino, B., Campo, G., Crutchik, D., Reyes, A., & Zanetti, M. (2022). Drinking water supply in the Region of Antofagasta (Chile): A challenge between past, present and future. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(21), 14406. https://doi.org/10.3390/ijerph192114406

Soman, R., & Raman, M. (2016). HACCP system–hazard analysis and assessment, based on ISO 22000:2005 methodology. *Food Control, 69*, 191–195. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.001

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2023). *Informe de coberturas sanitarias 2023*.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2024a). *Manual SISS sobre métodos de ensayo para agua potable*.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2024b). *Resultados calidad de agua potable año 2024*.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2025). *Informe de gestión del sector sanitario 2024*.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. In A. Luch (Ed.), *Molecular, clinical and environmental toxicology: Volume 3: Environmental toxicology* (Experientia Supplementum, Vol. 101, pp. 133–164). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6

World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*.

World Health Organization. (2023). *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers* (2nd ed.).

CAPITULO XI
11. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

- **Glosario**

Concepto	Definición
SGIA	Sistema de gestión orientado a asegurar la inocuidad del agua mediante control de peligros, monitoreo, verificación, trazabilidad y mejora continua.
Inocuidad del agua	Condición del agua que permite su consumo sin riesgo sanitario inaceptable.
Eficiencia	Relación entre recursos, controles, procesos y resultados obtenidos en calidad, continuidad y cumplimiento.
Eficacia	Grado en que el sistema logra los resultados esperados de inocuidad y control.
Desempeño	Comportamiento verificable del sistema mediante indicadores.
Brecha	Diferencia entre el desempeño esperado y el desempeño observado.
Peligro	Agente físico, químico, microbiológico u operacional que puede afectar la inocuidad.
Riesgo	Combinación entre probabilidad de ocurrencia y consecuencia del peligro.
PCC	Punto crítico de control donde una medida permite prevenir o reducir un peligro significativo.
PPR	Programa prerrequisito que mantiene condiciones básicas para operar en forma segura.
PPRO	Programa prerrequisito operacional asociado a controles relevantes para peligros significativos.
PSA/WSP	Plan de Seguridad del Agua basado en gestión preventiva del riesgo desde la fuente hasta el consumidor.
DEA	Análisis envolvente de datos utilizado para comparar eficiencia relativa entre unidades evaluadas.
DMU	Unidad de toma de decisión en DEA; podría ser planta, etapa, periodo o proceso.
Input	Recurso o condición de entrada usada en el análisis de eficiencia.
Output	Resultado esperado del sistema: cumplimiento, calidad, estabilidad o continuidad.
Remineralización	Proceso de restitución de minerales al agua desalinizada para mejorar estabilidad química.

Concepto	Definición
Estabilidad química	Condición del agua que reduce corrosividad, incrustación o liberación de metales.
Índice de Langelier	Indicador de tendencia corrosiva o incrustante del agua.
Condición crítica	Evento o periodo que altera la operación normal, como invierno altiplánico, turbiedad elevada, restricciones o desviaciones de calidad

- **Acrónimos**

APPCC: Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control.

DEA: Data Envelopment Analysis,

HACCP: Hazard Analysis and Critical control Point.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PPR: Procedimiento de Prerrequisito

PWS: Water Safety Plans.

PSA: Plan de seguridad del agua.

SGIA: Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

ANEXOS

Anexo 1: Orden de Ideas.

CARACTERÍSTICAS DE LA IDEA DE LA TESINA O TRABAJO DE POSTGRADO	**TÍTULO DE TESINA:** **"Desempeño y eficiencia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua en las plantas de producción de Taltal de Aguas Antofagasta S.A** **OBJETIVO GENERAL:** **Evaluar la eficiencia de un Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua, en la comuna de Taltal (Aguas Antofagasta). Aplicando un análisis estadístico de los datos, cumplimiento indicadores y brechas. Para optimizar la producción y la continuidad del servicio.**
Porque es una idea **ORIGINAL** y propia del alumno	Es una idea original por que se trata de un caso singular dentro de Aguas Antofagasta: la localidad de Taltal dispone de dos plantas de producción con fuentes y procesos de tratamiento diferentes (planta de filtros y planta desaladora). Esta configuración permite comparar su desempeño bajo un mismo marco de gestión y frente a variaciones estacionales que pueden afectar la disponibilidad y la calidad del agua. La investigación no se limita a describir el sistema, sino que combina datos reales de calidad y operación, indicadores de cumplimiento, identificación de brechas y análisis de eficiencia para evaluar el SGIA basado en ISO 22000:2018. De este modo, genera una metodología aplicada y específica para apoyar la mejora de los procesos productivos y la continuidad del abastecimiento en escenarios críticos.
Motivos personales y profesionales: **MOTIVACIÓN** para desarrollar el tema	**Conceptos orientadores:** implementar, controlar, mantener, planificar, evaluar la eficiencia, reducir riesgos, mejorar los procesos y fortalecer la calidad e inocuidad del agua. La motivación para desarrollar esta tesina surge de una necesidad directamente relacionada con mi ámbito profesional: contribuir a una gestión más eficiente y preventiva de la producción de agua potable en Taltal, localidad expuesta a restricciones hídricas, variabilidad de sus fuentes de abastecimiento y exigencias operacionales particulares. El

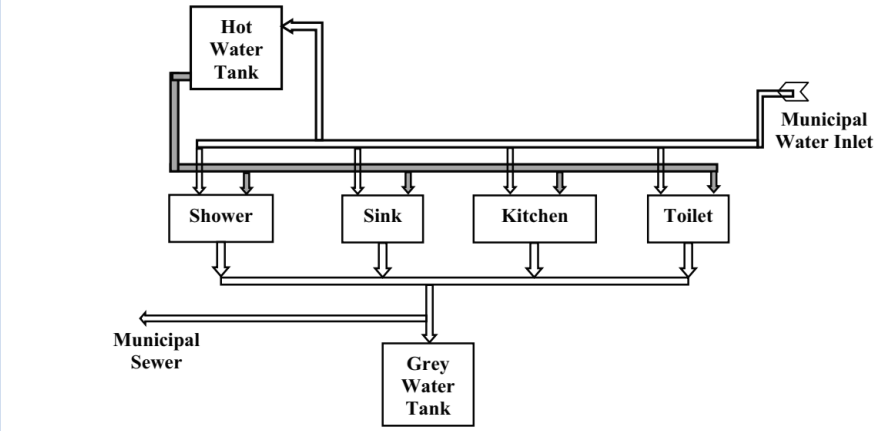
	estudio permitirá transformar registros de calidad y operación en información útil para la toma de decisiones, priorizar brechas y proponer medidas que fortalezcan el control de los procesos, el uso de los recursos y la continuidad del servicio. Asimismo, representa una oportunidad de crecimiento profesional, al aplicar herramientas de gestión del agua, análisis estadístico y evaluación de eficiencia a un problema real de la empresa, con efectos directos sobre la seguridad del abastecimiento y el bienestar de la comunidad.
El objetivo es alcanzable y corresponde a un tema **REALISTA** y aplicado	Sí. La propuesta es realista y alcanzable, porque se desarrolla sobre procesos existentes, dispone de acceso a registros reales y delimita su análisis a las plantas de producción de Taltal. Su viabilidad se sustenta en los siguientes aspectos: • Alcance definido: el estudio se concentra en la planta de filtros y la planta desaladora, desde el ingreso del agua cruda hasta la salida del agua potable, lo que permite evaluar variables concretas y comparables. • Disponibilidad de información: se utilizarán antecedentes históricos de calidad del agua, operación, cumplimiento normativo, continuidad y registros del SGIA, sujetos a criterios de validación y trazabilidad. • Metodología aplicable: el análisis estadístico, los indicadores de desempeño, la evaluación de riesgos y brechas, y el análisis envolvente de datos (DEA) son herramientas reconocidas y compatibles con el objetivo de la investigación. • Utilidad práctica: los resultados permitirán identificar oportunidades de mejora, priorizar controles, orientar recursos y respaldar decisiones técnicas sin requerir modificaciones inmediatas de gran escala en la infraestructura.
Tema atractivo para la Gestión del Agua, **VINCULADO** con los objetivos del magíster	La investigación se vincula directamente con los objetivos del Magíster en Gestión del Agua, porque integra planificación y gestión de recursos hídricos, procesos de tratamiento, gestión de riesgos, sistemas de gestión, eficiencia hídrica, gobernanza y continuidad del servicio. Estos contenidos se articulan en torno a un problema real de abastecimiento y producción de agua potable en un territorio con alta vulnerabilidad hídrica. Además, la propuesta traslada los conocimientos académicos a una herramienta de evaluación aplicable, capaz de relacionar desempeño operacional, calidad e inocuidad del agua, cumplimiento y eficiencia. Con ello, responde al propósito del programa de formar profesionales capaces de analizar problemas complejos y proponer soluciones sostenibles, fundamentadas y pertinentes para la gestión del agua.

El problema investigado permitirá **RESOLVER** un tema aplicado desde la **PERSPECTIVA PROFESIONAL**	El estudio permitirá resolver un problema aplicado al generar una evaluación estructurada del desempeño y la eficiencia del SGIA en las plantas de Taltal. A partir de los datos disponibles, será posible reconocer parámetros y etapas con mayor sensibilidad, detectar brechas de monitoreo, control, mantenimiento, trazabilidad, verificación y respuesta ante contingencias, y establecer su incidencia sobre la calidad del agua y la continuidad operacional. Desde la perspectiva profesional, los resultados servirán para definir indicadores, fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia, jerarquizar acciones preventivas y correctivas, y orientar de mejor forma los recursos técnicos y humanos. El modelo propuesto también podrá utilizarse como referencia para el seguimiento interno del sistema y adaptarse a otras instalaciones de la sanitaria con características comparables.
Otras características	Innovación y replicabilidad: integra en una sola evaluación el SGIA, el análisis estadístico, los indicadores de cumplimiento y la eficiencia comparativa de dos procesos productivos distintos, generando un modelo que puede actualizarse y replicarse en otras plantas. Orientación al cliente y a la comunidad: una mejor gestión de la calidad y continuidad del agua contribuye a prevenir desviaciones, mejorar la respuesta ante contingencias y fortalecer la confianza de los usuarios mediante un servicio más seguro, estable y transparente.

Anexo 2: Fichas Bibliográficas

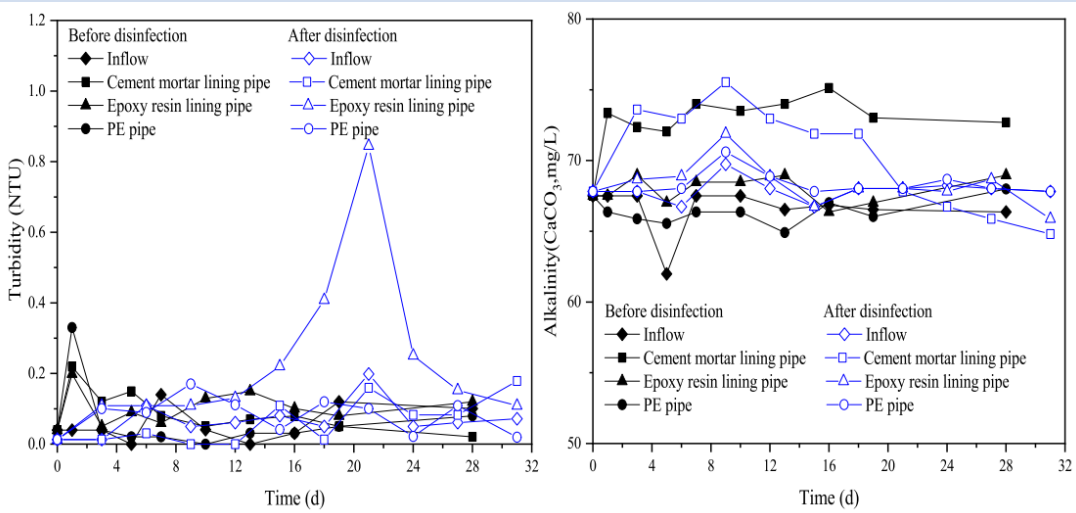
Ficha:01	TIPO **Lectura Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kabir, F., Chowdhury, S., Mazumder, M.A.J., Zahir, M.H., Alhooshani, K. (2018). *Desalination and Water Treatment*, 107 (2018), 257–271. **Effects of plumbing premise on the occurrences and variability of heavy metals in desalinated and blended tap water.** "Efectos de las instalaciones de plomería sobre la presencia y variabilidad de metales pesados en agua de grifo desalinizada y mezclada."
Palabras claves:	• Agua desalinizada y mezclada / Metales pesados / Plumbing premise (instalaciones domiciliarias) / Estanques de agua caliente (HWT) / Estancamiento del agua/ Variabilidad diurna y estacional / Corrosividad / Monitoreo de calidad de agua / Riesgo para la salud.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 2. **Redacciones propias**	• Citas textuales: 1. "Estancamiento de agua en las tuberías de plomería (PP) y en los tanques de agua caliente (HWT) antes de llegar al grifo probablemente aumentará las concentraciones de algunos metales pesados." 2. "Las concentraciones de metales pesados en los tanques de agua caliente (HWT) fueron 1.2–8.1 y 1.4–6.7 veces las concentraciones en la red de distribución (WDS) y hacia las tuberías internas (PP), respectivamente." 3. "Los hallazgos destacan las limitaciones de las ubicaciones de muestreo actuales para el cumplimiento normativo, el análisis de exposición y el control de riesgos de metales pesados en el agua del grifo." • Redacciones propias: Este estudio demuestra que la calidad del agua evaluada en la red de distribución (WDS) no necesariamente representa la

	calidad real del agua consumida en el grifo, debido a procesos de estancamiento y corrosión en las instalaciones domiciliarias. Las concentraciones de metales pesados aumentan progresivamente desde la red de distribución hacia las tuberías internas (PP) y alcanzan sus valores más altos en los estanques de agua caliente (HWT), especialmente para As, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni y Zn. La temperatura, el pH ligeramente ácido y la presencia de cloro residual favorecen procesos de corrosión y liberación de metales. Se evidencia variabilidad diurna (efecto del primer arrastre en la mañana) y estacional (mayores concentraciones en periodos de mayor temperatura). Los puntos de muestreo regulatorio tradicionales pueden subestimar la exposición real a metales pesados en agua potable.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Permite orientar estrategias de monitoreo más representativas del punto real de consumo (grifo domiciliario). • Avalar Sustenta técnicamente la necesidad de evaluar el efecto de las instalaciones internas en sistemas con agua desalinizada o mezclada. • Complementar Complementa estudios de calidad de agua en red con análisis en instalaciones domiciliarias y estanques de acumulación. • Definir Ayuda a definir criterios de muestreo, puntos críticos de control y evaluación de riesgo sanitario. • Contrapropuesta Plantea indirectamente una revisión de los actuales esquemas regulatorios de monitoreo que solo consideran la red pública. • Otros aportes

	Integra análisis estadístico avanzado (variabilidad, coeficiente de variación, correlaciones). Relaciona parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, cloro) con liberación metálica. Evidencia implicancias para agua desalinizada y su estabilización.
Materiales más significantes:	 Fig. 1. Typical plumbing system of a house with water intake points.

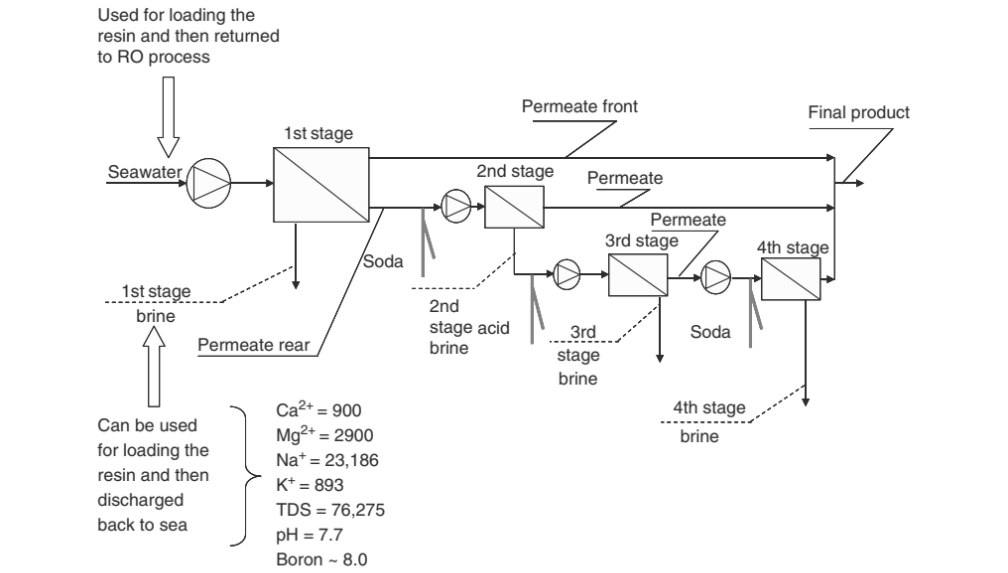
Ficha:02	TIPO **Lectura Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Cai, M., Zhao, Z., Sun, W., Yin, W., Zhang, Y., & He, S. (2023). Desalination, 556, 116558. Elsevier. **Impact of pipeline materials on water quality stability of desalinated seawater in the pipeline network.** "Impacto de los materiales de las tuberías en la estabilidad de la calidad del agua de mar desalinizada en la red de tuberías."
Palabras claves:	• Agua desalinizada / Estabilidad química / Estabilidad biológica / Remineralización / Desinfección / Material de tuberías / Corrosividad / Larson Index (LRI) / Biofilm.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **3. Redacciones propias**	1. Citas textuales: 1. "El agua de mar desalinizada suele ser débilmente ácida, extremadamente baja en dureza y alcalinidad, tiene poca estabilidad y es altamente corrosiva." 2. "El material de la tubería tiene un gran impacto en la calidad del agua de agua de mar desalinizada por ósmosis inversa (OI)." 3. "Se requiere remineralización antes de que el agua ingrese a la red de tuberías municipales." 4. "Antes de la transmisión y distribución, se necesitan procedimientos de desinfección para controlar el desarrollo microbiano y mantener agua biológicamente segura." 5. "La tubería de PE es la más difícil para que los microorganismos se adhieran y crezcan." 6. "ERDIP implica la disolución de materia orgánica, y la turbidez del agua de salida y el DOC fueron más altos que en las otras dos tuberías, afectando la estabilidad biológica." 7. Redacciones propias: El agua producida por ósmosis inversa presenta baja alcalinidad, dureza y capacidad tampón, lo que la hace químicamente inestable y altamente corrosiva si se distribuye sin ajuste previo.

	La remineralización mejora significativamente la estabilidad química del agua, reduciendo su potencial de corrosión (mejorando CCPP y LRI). El material de la tubería influye en la estabilidad química y biológica del agua desalinizada. Las tuberías con revestimiento de mortero de cemento (CMDIP) liberan iones alcalinos que aumentan la alcalinidad y reducen la corrosividad, pero pueden generar fluctuaciones en la calidad del agua. Las tuberías con revestimiento epóxico (ERDIP) favorecen la disolución de materia orgánica, incrementando DOC y turbidez, lo que impacta negativamente la estabilidad biológica. Las tuberías de polietileno (PE) presentan menor adherencia microbiana y menor consumo de cloro residual, favoreciendo la estabilidad biológica. La desinfección es indispensable antes de la distribución. Se requiere una dosis suficiente para mantener cloro residual >0,05 mg/L en red. Un exceso de cloro puede acelerar la corrosión y generar subproductos de desinfección, por lo que se requiere equilibrio operativo.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: 8. Orientar Decisiones técnicas en selección de materiales para redes que transportan agua desalinizada. 9. Avalar La necesidad de remineralización previa a la distribución en sistemas municipales. 10. Definir Criterios técnicos de estabilidad química (CCPP, LRI) y biológica (HPC, ATP). 11. Complementar Estrategias de control operacional en plantas desalinizadoras (post-tratamiento + desinfección). 12. Otros aportes: 1. Entrega evidencia experimental comparativa entre tres materiales de tubería. 2. Apoya el diseño de sistemas de distribución en contextos de expansión del uso municipal de agua desalinizada. 3. Permite evaluar riesgos de corrosión y crecimiento microbiano en redes existentes (especialmente metálicas).

Materiales más significantes:	 **Fig. 5.** Turbidity and alkalinity of effluent water in the different pipe reactors before and after disinfection.

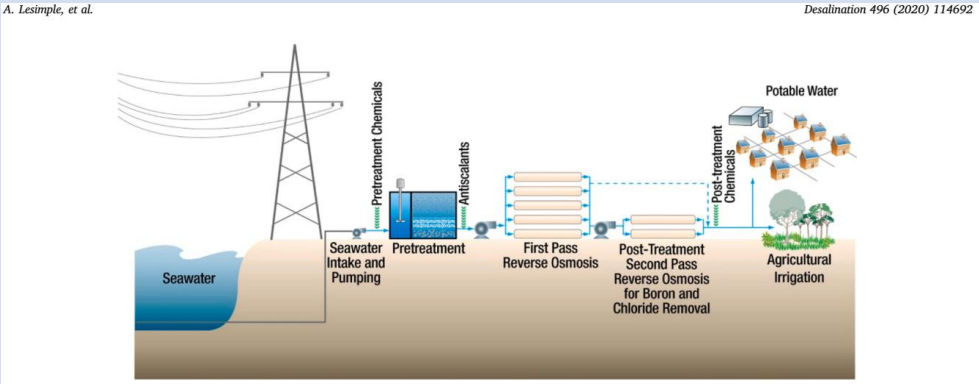
Ficha:03	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Birnhack, L., Penn, R., & Lahav, O. (2008). *Desalination*, 221, 70–83. **Quality criteria for desalinated water and introduction of a novel, cost effective and advantageous post treatment process.** "Criterios de calidad para agua desalinizada e introducción de un proceso de postratamiento novedoso, rentable y ventajoso".
Palabras claves:	1. Agua desalinizada/ Post-tratamiento / Estabilidad química / Corrosión en redes de distribución / Alcalinidad / Calcio (Ca^{2+})/ Potencial de precipitación de $CaCO_3$ (CCPP)/ Ph / Magnesio (Mg^{2+}) / Sistemas de desalinización.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 4. **Redacciones propias**	Este documento analiza los criterios de calidad necesarios para el agua desalinizada antes de ser distribuida para consumo humano, considerando aspectos químicos, biológicos, sanitarios y operacionales. También propone un nuevo proceso de post-tratamiento más eficiente para cumplir dichos criterios. Los principales factores analizados son: 1. estabilidad química del agua 2. estabilidad biológica 3. efectos en la red de distribución 4. impacto en tratamiento de aguas residuales 5. efectos en salud humana 6. aceptabilidad organoléptica El estudio propone criterios mínimos de calidad para agua desalinizada, entre ellos: 7. Alcalinidad > 80 mg/L como $CaCO_3$ 8. Calcio entre 80–120 mg/L como $CaCO_3$ 9. CCPP entre 3 y 10 10. pH < 8.5 Estos parámetros permiten evitar corrosión en redes de agua potable y fenómenos como "red water". 1. Citas textuales: 1. "El agua desalinizada no estabilizada puede ser corrosiva para los sistemas de distribución de agua."

	2. “No se encuentran en la literatura criterios de calidad explícitos para el agua desalinizada.” 3. “Mantener la concentración de alcalinidad por encima de 80 mg/L como $CaCO_3$ es el parámetro más importante para prevenir la liberación de iones metálicos.” 4. “El sabor del agua es relativo y subjetivo.” 5. Redacciones propias: En este documento se plantea que el agua desalinizada, aunque posee alta pureza, puede generar problemas operacionales si no se estabiliza químicamente antes de la distribución. Esto ocurre porque su baja mineralización la vuelve corrosiva para tuberías y sistemas de distribución, provocando liberación de metales como hierro, cobre o plomo. Para evitar estos problemas se requiere un post-tratamiento que consiste en el ajuste parámetros químicos claves, principalmente alcalinidad, calcio, pH y potencial de precipitación de carbonato de calcio. Además, el estudio propone un proceso innovador que incorpora intercambio iónico para adicionar magnesio, elemento importante tanto para salud humana como para uso agrícola.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: 1. Orientar Permite orientar el diseño de criterios de calidad para agua desalinizada en sistemas de abastecimiento urbano. 2. Avalar Entrega evidencia científica para justificar remineralización del agua desalinizada. 3. Complementar Complementa estudios de gestión de agua potable y operación de plantas desaladoras. 4. Definir Define rangos recomendados de parámetros químicos críticos para agua desalinizada. 5. Contrapropuesta

	Propone un nuevo proceso de post-tratamiento con intercambio iónico para incorporar Mg^{2+}, mejorando la calidad del agua. 1. Otros aportes Integra criterios de ingeniería, salud pública y operación de redes de agua potable.
Materiales más significantes:	 Fig. 5. Schematic of the RO process in Ashkelon, and characterization of the streams used for the Load and Wash steps, all concentrations in mg/L. Original schematic was adopted from [31].

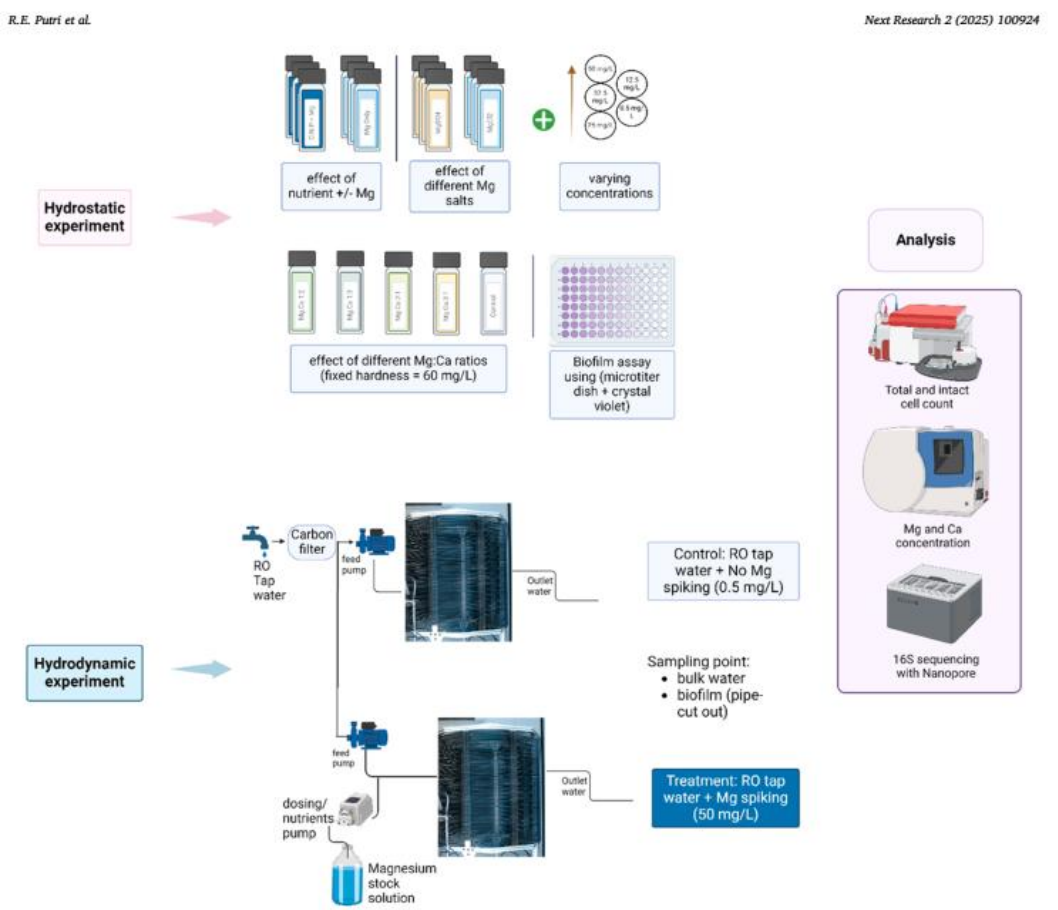
Ficha:04	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Lesimple, A., Ahmed, F. E., & Hilal, N. (2020). *Desalination*, 496, 114692. **Remineralization of desalinated water: Methods and environmental impact.** "Remineralización del agua desalada: Métodos e impacto ambiental."
Palabras claves:	2. Remineralización / Agua desalinizada / Magnesio / Calcio / Corrosión / Salud humana / Agricultura / Nanofiltración / Impacto ambiental / Post-tratamiento del agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2.Redacciones propias**	Este artículo analiza la necesidad de remineralizar el agua desalinizada antes de su distribución, debido a que el agua producida por procesos como ósmosis inversa (RO) posee muy baja mineralización y puede causar problemas en: 3. salud humana 4. corrosión de tuberías 5. agricultura 6. estabilidad química del agua 7. impacto ambiental En la investigación se revisan los métodos tradicionales y emergentes de remineralización, evaluando su eficiencia, costos y efectos ambientales. Entre los minerales más importantes que deben reincorporarse al agua se encuentran: 1. Calcio (Ca^{2+}) 2. Magnesio (Mg^{2+}) 3. Sulfatos 4. Bicarbonatos También se analiza cómo la relación entre estos iones influye en la estabilidad química del agua y su impacto en ecosistemas. Además, se revisan algunos métodos de remineralización tales como: 5. disolución de calcita 6. adición química directa 7. mezcla con otras fuentes de agua 8. tecnologías emergentes como nanofiltración combinada con intercambio iónico o ultrafiltración Estas últimas tecnologías buscan reducir el uso de productos químicos y disminuir el impacto ambiental del proceso. 1. "Citas textuales"

	1. “El agua desalinizada no es adecuada para su uso directo ya que es propensa a la corrosión y tiene efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente. 2. “El agua desalinizada es ligeramente ácida, carece de minerales y no puede usarse sin taponamiento.” 3. “Comparamos y contrastamos los métodos de Re-mineralización existentes con los métodos emergentes y eficientes en energía.” 4. “Los métodos emergentes incluyen la obtención de minerales del agua de mar o salmuera mediante membranas de nanofiltración.” 5. Redacciones propias En este estudio, se plantea que el agua producida mediante desalinización presenta baja alcalinidad y ausencia de minerales esenciales, lo que la hace químicamente inestable y potencialmente corrosiva para las redes de distribución. Por esta razón, la Re-mineralización es un paso imprescindible en el post-tratamiento del agua desalinizada, ya que permite restablecer las concentraciones adecuadas de calcio, magnesio y otros minerales necesarios para: 1. estabilidad química 2. control de corrosión 3. protección de la salud humana 4. uso agrícola adecuado Además, este documento analiza las tecnologías tradicionales y nuevas tecnologías de remineralización, destacando que los métodos emergentes buscan reutilizar minerales presentes en salmueras o agua de mar, reduciendo el consumo de reactivos químicos y el impacto ambiental.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: 5. Orientar Orienta el diseño de procesos de post-tratamiento en plantas desaladoras. 6. Avalar Entrega respaldo científico sobre la necesidad de remineralizar el agua desalinizada. 7. Complementar Complementa estudios sobre gestión del agua potable y calidad del agua en sistemas de abastecimiento. 8. Definir Define criterios y métodos de remineralización del agua desalinizada. 9. Contrapropuesta Presenta tecnologías emergentes que permiten recuperar minerales desde salmueras, reduciendo el impacto ambiental.

	10. Otros aportes Relaciona la remineralización con salud pública, agricultura y sostenibilidad ambiental.
Materiales más significantes:	 **Fig. 1.** Seawater desalination using Reverse Osmosis for both potable water and agriculture irrigation. Reproduced with permission [8].

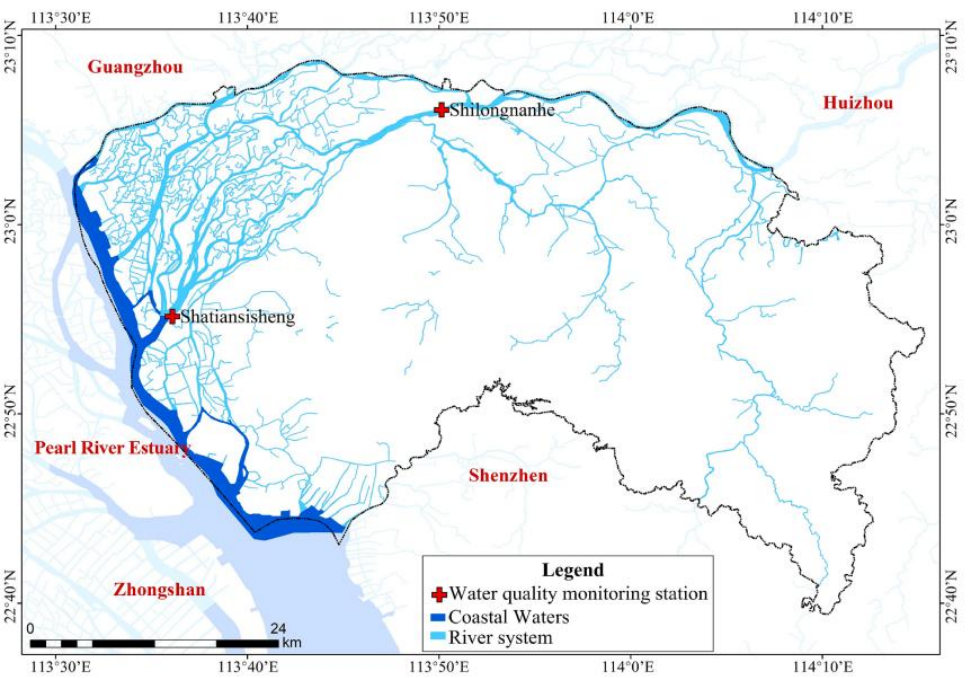
Ficha:05	TIPO **Lectura Especifica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Pronk, W., Ding, A., Morgenroth, E., Derlon, N., Desmond, P., Burkhardt, M., Wu, B., & Fane, A. (2019). *Water Research*, 166, 115–124. **Remineralization of reverse osmosis produced drinking water: Impact of post-treatment on corrosion and biofilm formation.** "Remineralización del agua potable producida por ósmosis inversa: Impacto del postratamiento en la corrosión y la formación de biofilm."
Palabras claves:	• Re mineralización / Ósmosis inversa (RO) / Corrosión en redes de distribución / Biofilm / Post-tratamiento del agua / Estabilidad química / Calcio / Alcalinidad / Calidad del agua potable / Distribución de agua.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 5. **Redacciones propias**	En este documento se analiza cómo el post-tratamiento del agua producida por ósmosis inversa influye en la estabilidad química del agua y en su comportamiento dentro de los sistemas de distribución. El agua desalinizada suele tener baja mineralización, baja alcalinidad y baja dureza, lo que puede provocar: • corrosión en tuberías • liberación de metales • crecimiento de biofilm • problemas de estabilidad química del agua Este estudio evalúa los distintos procesos de remineralización, los cuales consisten principalmente en: • aumento de alcalinidad • incorporación de calcio • ajuste de pH • control del índice de saturación del carbonato de calcio Estos procesos permiten mejorar la estabilidad del agua y reducir la corrosión en las redes de distribución. Además, en el artículo analizan cómo ciertos tratamientos pueden afectar el desarrollo microbiológico (biofilm) dentro de las tuberías y se muestran experimentos comparativos entre diferentes configuraciones de post-tratamiento, evaluando corrosión y formación de biofilm en condiciones controladas. • Citas textuales:

	• "El permeado de ósmosis inversa típicamente tiene un contenido muy bajo de minerales y alcalinidad." • "Se requiere remineralización para estabilizar el agua antes de su distribución." • "Las estrategias de post-tratamiento pueden influir en los procesos de corrosión y en la formación de biofilm en los sistemas de distribución de agua potable." • "La composición química del agua remineralizada determina su estabilidad en las redes de distribución." • Redacciones propias En este documento se demuestra que el agua producida por ósmosis inversa requiere necesariamente un proceso de remineralización previo a su distribución, ya que su baja concentración de minerales puede afectar tanto la infraestructura de las redes como la calidad microbiológica del agua. La remineralización permite restablecer parámetros químicos fundamentales como alcalinidad, calcio y pH, logrando una mayor estabilidad química y reduciendo los riesgos de corrosión en tuberías. En este estudio evidencia, además, que las características químicas del agua remineralizada también influyen en la formación de biofilm en los sistemas de distribución, lo cual puede afectar la calidad del agua potable y la operación de las redes. Por lo tanto, el diseño adecuado del post-tratamiento es un factor crítico para garantizar la seguridad, estabilidad y durabilidad de los sistemas de agua potable producida por desalinización.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de procesos de post-tratamiento para agua desalinizada o tratada con RO. • Avalar Entrega evidencia científica sobre la relación entre remineralización y control de corrosión en redes de agua potable. • Complementar Complementa estudios sobre gestión de calidad del agua potable en sistemas desalinizados. • Definir Permite definir criterios de estabilidad química del agua antes de su distribución. • Contrapropuesta

	Propone enfoques de optimización del post-tratamiento para minimizar corrosión y biofilm. • Otros aportes Integra el análisis de procesos químicos y microbiológicos en sistemas de distribución de agua potable.
Materiales más significantes:	 **Fig. 1. Schematic representation of the hydrostatic (top) and hydrodynamic (bottom) experiments performed to investigate the impact of magnesium remineralization on the biological stability and microbial community of reverse osmosis (RO)-produced tap water.** The hydrostatic experiments examined (i) nutrient addition and magnesium supplementation, (ii) different magnesium salt types, and (iii) varying magnesium-to-calcium ratios, as well as biofilm formation using a microtiter assay. The hydrodynamic setup comprised two miniature networks, one receiving no magnesium addition and one spiked with 50 mg/L Mg^{2+}, with outlet water and biofilm samples collected over six months for total and intact cell counts, ATP, and 16S rRNA gene sequencing analyses.

Ficha:06	TIPO **Lectura Complemento**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Chen, X., Zhang, L., Singh, V. P., & Guo, S. (2022). *Journal of Hydrology*, 604, 127208. **A causality-informed and copula-based framework for compound flooding risk assessment.** "Un marco basado en causalidad y copulas para la evaluación del riesgo de inundaciones compuestas"
Palabras claves:	Palabras claves: • Inundaciones compuestas / Análisis de causalidad / Modelos de cópulas / Eventos extremos / Riesgo hidrológico / Gestión del riesgo / Cambio climático / Probabilidad conjunta / Modelación hidrológica / Sistemas de drenaje.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 6. **Redacciones propias**	Este artículo presenta un marco metodológico para evaluar el riesgo de inundaciones compuestas, es decir, aquellas que ocurren cuando múltiples factores hidrológicos interactúan simultáneamente, por ejemplo: • lluvia intensa • crecidas fluviales • marejadas o niveles altos del mar • condiciones hidrológicas previas del suelo En el estudio se propone integrar dos enfoques analíticos: • Análisis de causalidad, que permite identificar relaciones causales entre variables hidrometeorológicas. • Modelos de cópulas, utilizados para analizar dependencias estadísticas entre variables múltiples, permitiendo estimar probabilidades conjuntas de eventos extremos. El enfoque combinado permite: • mejorar la estimación del riesgo de inundaciones • comprender la interacción entre variables hidrológicas • diseñar mejores estrategias de gestión del riesgo Además, se presentan unos diagramas del marco metodológico propuesto y gráficos de dependencias estadísticas entre variables hidrológicas, lo que permite visualizar cómo se combinan diferentes factores para producir eventos extremos. 1. Citas textuales: • "Los eventos de inundación compuesta ocurren cuando múltiples factores interactúan para producir inundaciones extremas."

	• "Comprender la estructura de dependencia entre múltiples factores es esencial para una evaluación precisa del riesgo." • "Las funciones cópula proporcionan una herramienta flexible para modelar la dependencia entre variables." • "El marco propuesto integra el análisis de causalidad con la modelización mediante cópula." 2. Redacciones propias En este estudio se propone un enfoque metodológico innovador para evaluar el riesgo de inundaciones causadas por múltiples factores que ocurren simultáneamente. Este tipo de eventos, conocidos como inundaciones compuestas, se vuelven cada vez más relevantes en el contexto del cambio climático. El marco metodológico combina análisis de causalidad con modelos de cópulas, lo que permite identificar las relaciones entre variables hidrológicas y estimar probabilidades conjuntas de eventos extremos. De esta forma, el enfoque dado permite comprender mejor el comportamiento de los sistemas hidrológicos y desarrolla evaluaciones de riesgo más precisas, contribuyendo a una mejor planificación de infraestructuras hidráulicas, con estrategias de adaptación al cambio climático.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: 3. Orientar Orienta el desarrollo de metodologías avanzadas de evaluación de riesgo de inundaciones. 4. Avalar Entrega respaldo científico al uso de modelos probabilísticos multivariados en hidrología. 5. Complementar Complementa estudios sobre gestión de riesgos hidrológicos y adaptación al cambio climático. 6. Definir Define un marco metodológico para el análisis conjunto de múltiples variables hidrológicas. 7. Contrapropuesta

	Propone un nuevo enfoque que integra análisis de causalidad con modelos de cópulas para mejorar la estimación del riesgo. 8. Otros aportes Contribuye al desarrollo de herramientas analíticas para planificación urbana, drenaje y gestión de eventos extremos.
Materiales más significantes:	 **Fig. 1.** Geographic distribution map of the Shatiansisheng and Shilongnan Stations.

Ficha:07	TIPO **Lectura Especifica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Duranceau, S. J., Wilder, R. J., & Douglas, S. S. (2012). *Desalination and Water Treatment*, 37, 185–199. **A survey of desalinated permeate post-treatment practices.** Una encuesta sobre las prácticas de postratamiento del permeado desalinizado.
Palabras claves:	• Desalinización / Post-tratamiento del permeado / Remineralización / Estabilización del agua / Corrosividad del agua / Sistemas de distribución / Ajuste de pH / Desinfección / Mezcla (blending) de aguas / Control de corrosión.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 7. **Redacciones propias**	• Citas textuales: 1. “El agua desalinizada se considera corrosiva debido a su bajo contenido mineral inherente, y puede no ser adecuada para el consumo sin medidas de postratamiento adecuadas.” 2. “La mayoría de las instalaciones indicaron que la mezcla y/o el ajuste del pH se incluían en las operaciones de postratamiento.” 3. “La desinfección primaria generalmente se lograba mediante la adición de cloro, aunque varias instalaciones informaron el uso de cloraminas para la desinfección secundaria.” 4. “Mantener una concentración de alcalinidad por encima de 80 mg/L como CaCO3 es uno de los parámetros más importantes para prevenir la liberación de iones metálicos.” • Redacción propia: Este estudio analiza prácticas reales de post-tratamiento del permeado de plantas desalinizadoras mediante una encuesta aplicada en EE.UU., Europa y el Caribe. Los resultados muestran que el agua producida por membranas (RO, NF o EDR) tiene muy bajo contenido mineral, lo que provoca corrosividad y falta de estabilidad química, por lo que requiere un tratamiento posterior antes de su distribución. Las operaciones más utilizadas en el post-tratamiento incluyen: • Ajuste de pH y alcalinidad • Remineralización o recuperación de alcalinidad • Blending con aguas naturales • Desgasificación

	• Desinfección (cloro o cloraminas) • Control de corrosión El estudio concluye que no existe un único esquema universal de post-tratamiento, ya que la selección depende de: • calidad del agua fuente • tipo de membrana • composición química del permeado • condiciones del sistema de distribución Asimismo, este estudio destaca que una adecuada alcalinidad (50-150 mg/L como $CaCO_3$) es clave para asegurar estabilidad química y evitar liberación de metales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico que se cree obtener • Orientar Permite comprender qué procesos de post-tratamiento se aplican en plantas reales de desalación. • Avalar Entrega evidencia técnica y casos reales de utilities que respaldan prácticas de remineralización y estabilización del agua desalinizada. • Complementar Complementa estudios sobre remoción de sales en desalación, agregando el enfoque de calidad final del agua y distribución. • Definir Ayuda a definir criterios operacionales de calidad del agua (pH, alcalinidad, desinfección y corrosión). • Contrapropuesta Sugiere que el diseño del post-tratamiento debe evaluarse caso a caso, considerando características locales del sistema de distribución. • Otros aportes • Proporciona datos de operación de plantas reales • Identifica problemas frecuentes en distribución (red water, corrosión, biocrecimiento). • Entrega recomendaciones para pilotaje y diseño de post-tratamiento
Materiales más significantes:	

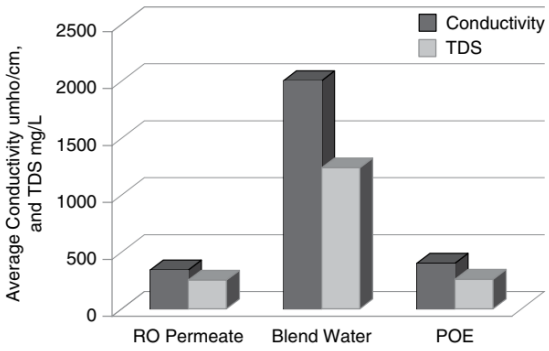


Fig. 3. Average conductivity and TDS for permeate, blend and point of entry.

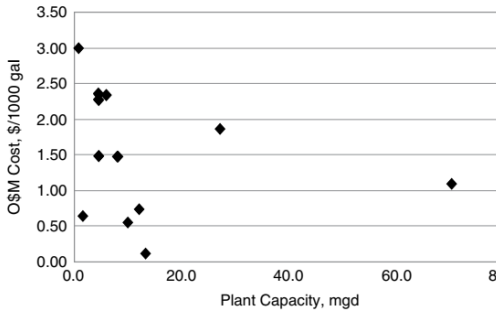


Fig. 4. Operation and maintenance cost versus plant capa

Ficha:08	TIPO **Lectura Complemento**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Hossain, M. L., & Shapna, K. J. (2025). *Cleaner Water*, 4, 100171. **Drinking water management: Challenges and adaptive strategies in salinization-affected coastal communities of Bangladesh.** Gestión del agua potable: Desafíos y estrategias de adaptación en las comunidades costeras de Bangladesh afectadas por la salinización.
Palabras claves:	• Gestión del agua potable /Salinización costera / Seguridad hídrica /Adaptación climática / Tratamiento de agua / Vulnerabilidad hídrica / Salud pública /Estrategias adaptativas /Gestión integrada del agua.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 8. **Redacciones propias**	En este documento se analizan los desafíos de gestión del agua potable en comunidades costeras de Bangladesh afectadas por la salinización de fuentes superficiales y subterráneas, un problema agravado por el cambio climático, la intrusión salina, la extracción de agua subterránea, la reducción del caudal dulce y actividades antrópicas como la camaronicultura. El estudio tiene un enfoque mixto que combina encuestas a hogares, grupos focales e informantes clave, para identificar: • los problemas que enfrentan los hogares para asegurar agua segura, y • las estrategias adaptativas viables en un contexto de escasez y deterioro de calidad. La captación de agua lluvia surge como solución clave durante el monzón, pero limitada por baja capacidad de almacenamiento y dudas sobre su inocuidad. Muchos hogares consumen agua sin tratar, lo que incrementa riesgos salud como hipertensión, diarreas, irritaciones cutáneas y problemas menstruales. Se evidencia una falta de infraestructura adecuada para almacenamiento seguro y tratamiento básico. La capacidad de adaptación está fuertemente condicionada por el nivel socioeconómico, generando desigualdad en salud y resiliencia. Se evidencia que los hogares con menos recursos dependen de soluciones improvisadas,

	mientras que los de mayores ingresos acceden a tanques y tecnologías más confiables. El estudio destaca una carga sanitaria diferenciada en mujeres, especialmente en afecciones gastrointestinales y reproductivas. Finalmente, el trabajo concluye que la solución requiere una gestión integrada del agua, que combine tecnologías apropiadas, educación comunitaria, fortalecimiento institucional, mejoras en almacenamiento, opciones de tratamiento asequibles y apoyo sostenido de gobierno y ONG. • "Citas textuales": 1. «La recolección de agua de lluvia se adopta universalmente durante el monzón». 2. «El acceso durante todo el año se ve limitado por la insuficiente capacidad de almacenamiento y las preocupaciones sobre la calidad del agua». 3. «Las mujeres obtienen una protección sustancialmente mayor gracias al tratamiento del agua». 4. «Estrategias integradas de gestión del agua que combinan tecnología apropiada, educación comunitaria e intervenciones políticas». • Redacciones propias La gestión del agua potable en territorios vulnerables no puede limitarse a identificar una fuente alternativa, sino que debe considerar algunos factores como: la disponibilidad, el almacenamiento, el tratamiento, acceso económico y la salud pública. Este estudio evidencia además, que la adaptación al cambio climático en materia hídrica no es homogénea en los distintos hogares, ya que depende de la capacidad económica, del acceso a infraestructura y del respaldo institucional disponible. El artículo también muestra que la seguridad del agua no se resuelve solo con captar agua lluvia, porque si no existen sistemas adecuados de almacenamiento, tratamiento y mantenimiento, los riesgos sanitarios continúan. Desde la mirada de gestión, el trabajo es valioso porque conecta vulnerabilidad hídrica, adaptación, salud y gobernanza, ofrece una visión más amplia de lo que significa asegurar agua potable de forma sostenible.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: 9. Orientar Orienta la comprensión de los desafíos de gestión del agua potable bajo condiciones de salinización, escasez y vulnerabilidad climática. 10. Avalar Avala la necesidad de enfoques de gestión integrada del agua que no dependan de una sola solución tecnológica. 11. Complementar Complementa una tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua incorporando dimensiones de adaptación, equidad, almacenamiento, tratamiento y salud. 12. Definir Define categorías analíticas muy útiles, como: 4. salinización como amenaza a la seguridad hídrica, 5. capacidad adaptativa de los hogares, 6. desigualdad socioeconómica en acceso al agua, 7. y relación entre tratamiento del agua y resultados de salud. • Contrapropuesta Propone superar estrategias aisladas basadas solo en captación de agua lluvia, avanzando hacia soluciones combinadas con almacenamiento, tratamiento, apoyo institucional y educación comunitaria. 13. Otros aportes Aporta una base conceptual y metodológica útil para estudiar cómo los sistemas de gestión del agua deben responder a estresores múltiples, como cambio climático, deterioro de fuentes, inequidad social y riesgos sanitarios.

Materiales más significantes:

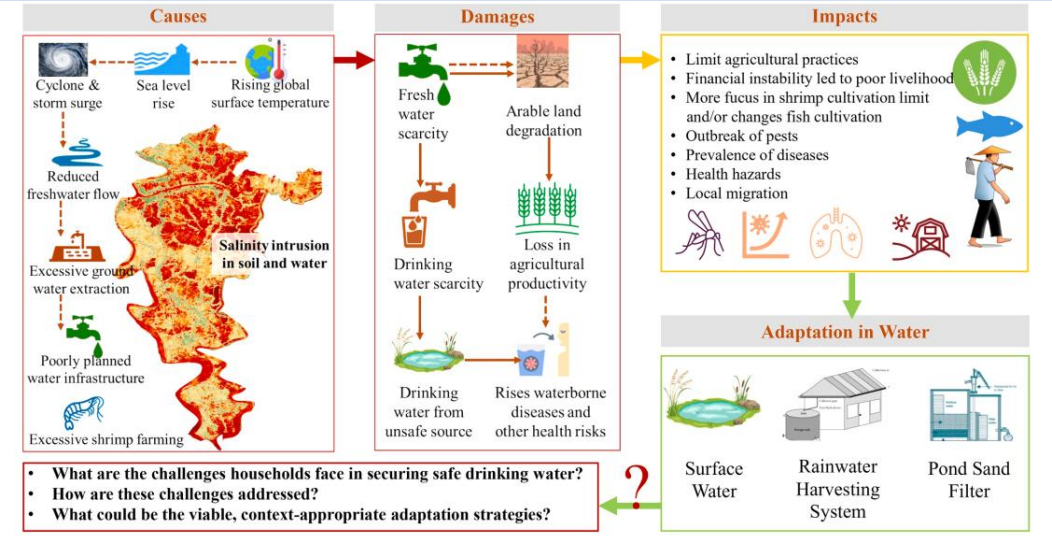


Fig. 1. Conceptual framework illustrating the pathway from drivers to impacts in coastal water management and identifying the critical research gap addressed by this study. The framework links key drivers (salinity intrusion, climate change), their direct damage (source contamination), subsequent societal impacts (health, economic burdens), and common adaptation strategies, culminating in the specific research questions this study aims to answer.

Ficha:09	TIPO **Lectura Fundamental.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rodriguez-Alvarez, M. S., Morana, L. B., Salusso, M. M., & Seghezzo, L. (2017). *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 366–376. **Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta.**
Palabras claves:	1. Agua de consumo / Calidad microbiológica /Calidad fisicoquímica / Estacionalidad /Fuentes de agua /Potabilización /Coliformes totales /*Escherichia coli* /Nitratos.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 9. **Redacciones propias**	Este estudio presenta un análisis de la calidad del agua consumida en la localidad periurbana de Vaqueros, Salta, donde la población se abastece desde distintas fuentes: plantas de tratamiento, pozo profundo clorado, acequia y pozos particulares poco profundos. A objeto de diferenciar los sitios de muestreo según la estacionalidad, el tipo de fuente y la relación entre variables microbiológicas y fisicoquímicas. Los resultados muestran que el agua proveniente de fuentes con tratamiento en general cumple mejor con la normativa, pero presenta desviaciones durante la época de lluvias, especialmente en variables como cloro residual, turbiedad, color y presencia ocasional de bacterias indicadoras. En cambio, las fuentes sin tratamiento no cumplieron de manera permanente con los requerimientos bacteriológicos, por lo que resultaron no aptas para consumo humano. Este artículo evidencia cómo la estacionalidad afecta en la calidad del agua. En época de lluvias aumentan la turbiedad, el color y los sólidos suspendidos en aguas superficiales, lo que obliga a reajustar los procesos de potabilización. Ajustes que deben ser adecuados, para evitar la presencia de bacterias en el agua tratada. Se observa, además la detección de valores altos de nitratos y bacterias de origen fecal en algunos pozos, lo cual sugiere contaminación vinculada con pozos ciegos, cámaras

	sépticas o falta de infraestructura sanitaria. Reforzando la necesidad de ampliar los sistemas de agua segura y mejorar tanto el tratamiento como el monitoreo. Metodológicamente, el trabajo es valioso porque combina análisis microbiológicos, fisicoquímicos y herramientas estadísticas como T-test, ANOVA, Kruskal-Wallis, análisis de correlación de Spearman y análisis de componentes principales (ACP), lo que permite identificar patrones espaciales y temporales en la calidad del agua. 2. "Citas textuales" 1. "las fuentes sin tratamiento no cumplieron con los requerimientos bacteriológicos en forma permanente" 2. "el agua proveniente de fuentes con tratamiento presentó desviaciones en algunas de sus variables en época de lluvias" 3. "es importante la monitorización de los sistemas locales" 1. Redacciones propias El desempeño de los sistemas de tratamiento de agua, puede verse afectado frente a determinadas condiciones estacionales. Se evidencia que la época de lluvias representa un momento crítico para los sistemas que dependen de aguas superficiales, porque aumentan la turbiedad, el color y la carga de contaminantes, lo cual exige un control más estricto del proceso de potabilización. Además este estudio muestra como las fuentes subterráneas poco profundas pueden estar altamente expuestas a contaminación fecal y nitratos cuando no existe una adecuada infraestructura sanitaria en el entorno. El monitoreo continuo es una herramienta de gestion indispensable para detectar fallas, corregir desviaciones y asegurar que los sistemas de tratamiento de agua entreguen agua potable segura a la población.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar**	Aporte específico, con relación a: 2. Orientar Orienta la comprensión de los desafíos de gestión del agua potable bajo condiciones de salinización, escasez y vulnerabilidad climática. 3. Avalar

Definir **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Avala la necesidad de enfoques de gestión integrada del agua que no dependan de una sola solución tecnológica. 4. Complementar Complementa una tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua incorporando dimensiones de adaptación, equidad, almacenamiento, tratamiento y salud. 5. Definir Define categorías analíticas muy útiles, como: 1. salinización como amenaza a la seguridad hídrica, 2. capacidad adaptativa de los hogares, 3. desigualdad socioeconómica en acceso al agua, 4. y relación entre tratamiento del agua y resultados de salud. 5. Contrapropuesta Propone superar estrategias aisladas basadas solo en captación de agua lluvia, avanzando hacia soluciones combinadas con almacenamiento, tratamiento, apoyo institucional y educación comunitaria. 6. Otros aportes Aporta una base conceptual y metodológica útil para estudiar cómo los sistemas de gestión del agua deben responder a estresores múltiples, como cambio climático, deterioro de fuentes, inequidad social y riesgos sanitarios.

Materiales más significantes:

Table 1
Water quality and quantity consequences of extreme weather events and possible mitigation strategies.

Extreme event	Duration of effect after the event[a]	Adverse supply impact	Effective mitigation strategies
Heavy rainfall and floods	Short	• Elevated turbidity due to increased particulate and soluble substances in storm runoff • Overflow of combined sewer systems • Increased pathogen and contaminant concentrations • Decreased disinfection efficacy • Damage to infrastructure, including electrical supply • Very short retention times in reservoirs due to short-circuiting	• Diversifying water sourcing options • Pre-filtration of surface waters prior to in water plants • Additional or increased disinfection proc • Supply of point-of-use filtration device water quality testing kits • Alternate delivery of potable water (*e.g.*, • Issuing of boil water advisories • Implementation of enhanced treatment o forecast event
Superstorms and high winds	Short	• Similar to "heavy rainfall and floods" above. • Loss of key staff due to transport difficulties or damage to their own property.	• Similar to "heavy rainfall and floods" abo • Building redundancy into water su including back-up power generators • Plan to have alternate staff available on c electronically • Availability of alternate water sources
Drought	Moderate	• Increased nutrient loads after extended period of drought • Large "flushes" of organic carbon once rainfall occurs • Elevated risks of algal and cyanobacterial blooms • Intrusion of saltwater in coastal area groundwater, which can lead to increased brominated disinfection by-products	• Diversifying water sourcing options • Additional filtration in early stages of production • Increased monitoring of surface water res of algal or cyanobacterial blooms
Extreme heat	Moderate	• Elevated risks of algal and cyanobacterial blooms • Accelerated loss of disinfectant residual in distribution system • Early onset of nitrification in chloraminated systems	• Diversifying water sourcing options • Careful monitoring and application of dis • Vertical mixing of water supply reservoi • Stricter nutrient management in the catc
Extreme cold	Moderate to Long	• Salinisation from de-icing salts • Lake destratification and mixing • Intake ice blockages and distribution system failures	• Careful control of road surface runoff • Enhanced distribution system m maintenance
Wildfires	Long	• Increased magnitude of storm runoff • Increased nutrient and contaminant loads • Increased organic carbon • Elevated risks of algal and cyanobacterial blooms • Elevated microbial activity and DOC transformation • Presence of fire-fighting chemicals	• Diversifying water sourcing options • Additional filtration in early stages of production • Careful monitoring and application of dis • Additional monitoring of contaminants • Prevention of particulate matter enterin (eg straw bales, construction of swales)

[a] Short = days to weeks, moderate = weeks to months, long = years.

Ficha:10	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rosborg, I., & Kozisek, F. (2019). Springer International Publishing. **Health Effects of Desalinated Water: Role of Electrolyte Disturbances in Biological Systems.** "Efectos sobre la salud del agua desalinizada: papel de las alteraciones electrolíticas en los sistemas biológicos."
Palabras claves:	**Palabras claves:** • Agua desalinizada / Salud humana / Electrolitos/ Magnesio/ Calcio/ Remineralización / Calidad del agua potable/ Deficiencia mineral/Desalinización/ Impactos sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 10. **Redacciones propias**	En este artículo se analizan los posibles efectos del consumo de agua desalinizada en la salud humana, especialmente debido a la baja concentración de minerales esenciales como magnesio y calcio. El agua desalinizada producida mediante ósmosis inversa presenta baja mineralización, lo que puede generar desequilibrios electrolíticos en el organismo cuando constituye una fuente importante de consumo. El estudio plantea que los minerales presentes naturalmente en el agua potable pueden contribuir significativamente a la ingesta diaria de micronutrientes esenciales, particularmente en regiones donde la dieta es deficiente en estos elementos. Por esta razón, este documento destaca la importancia de procesos de remineralización del agua desalinizada, los cuales permiten restablecer niveles adecuados de minerales antes de su distribución para consumo humano. También se analizan posibles asociaciones entre bajo contenido de magnesio en el agua potable y enfermedades cardiovasculares, lo que ha sido objeto de múltiples estudios epidemiológicos. • "Citas textuales":

	• El agua desalinizada carece casi por completo de minerales. • El magnesio y el calcio son electrolitos esenciales para la salud humana. • El consumo a largo plazo de agua que carece de minerales esenciales puede contribuir a un desequilibrio de electrolitos. • Se recomienda la remineralización del agua desalinizada antes de su distribución para fines de consumo. 2. Redacciones propias En este documento se indica que el agua desalinizada presenta un contenido extremadamente bajo de minerales esenciales, lo que puede afectar el equilibrio electrolítico del organismo cuando constituye una fuente significativa de consumo. Los minerales como el calcio y el magnesio cumplen funciones importantes en procesos fisiológicos, incluyendo la regulación cardiovascular, la función neuromuscular y el metabolismo celular. Debido a esto, el consumo prolongado de agua desalinizada sin remineralización puede representar un riesgo potencial para la salud humana, especialmente en poblaciones con dietas pobres en minerales. Por lo tanto, la incorporación de procesos de remineralización en el tratamiento posterior de agua desalinizada es fundamental para asegurar su idoneidad para consumo humano.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aportes específicos, con relación a: • Orientar Orienta la planificación de procesos de remineralización en plantas desalinizadoras. • Avalar Entrega evidencia científica sobre la importancia de minerales esenciales en el agua potable. • Complementar Complementa estudios sobre tratamiento del agua desalinizada con el enfoque sanitario y nutricional. • Definir Define criterios relacionados con contenido mineral mínimo en agua potable desalinizada. • Contrapropuesta Plantea la necesidad de reconsiderar estándares de calidad del agua considerando aspectos nutricionales. • Otros aportes Contribuye al debate sobre seguridad sanitaria y calidad del agua en regiones que dependen de la desalinización.

Materiales más significantes:

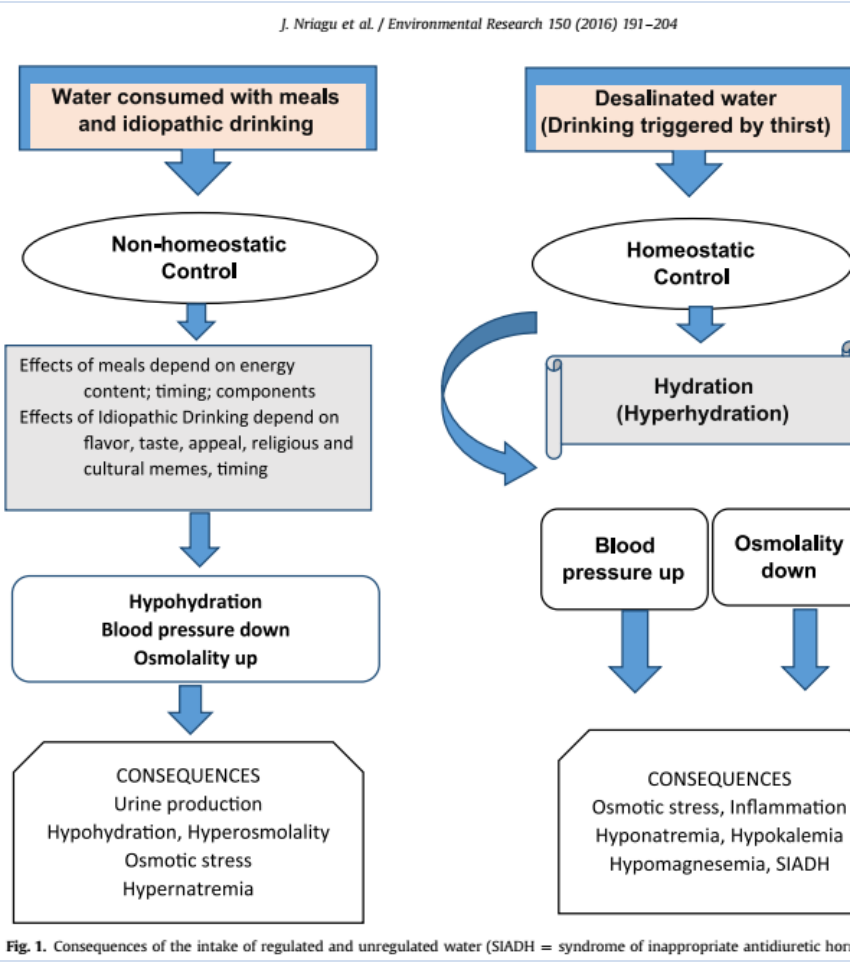
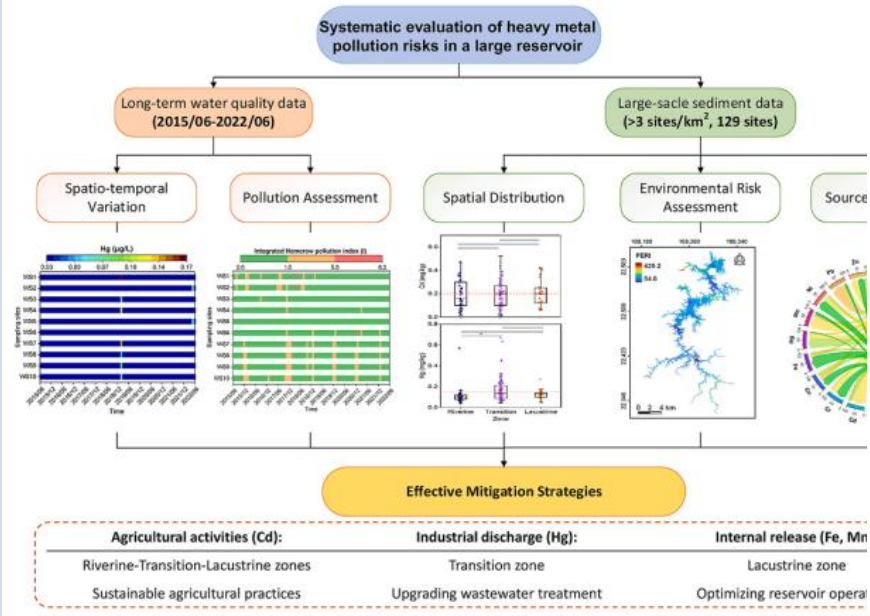


Fig. 1. Consequences of the intake of regulated and unregulated water (SIADH = syndrome of inappropriate antidiuretic hor

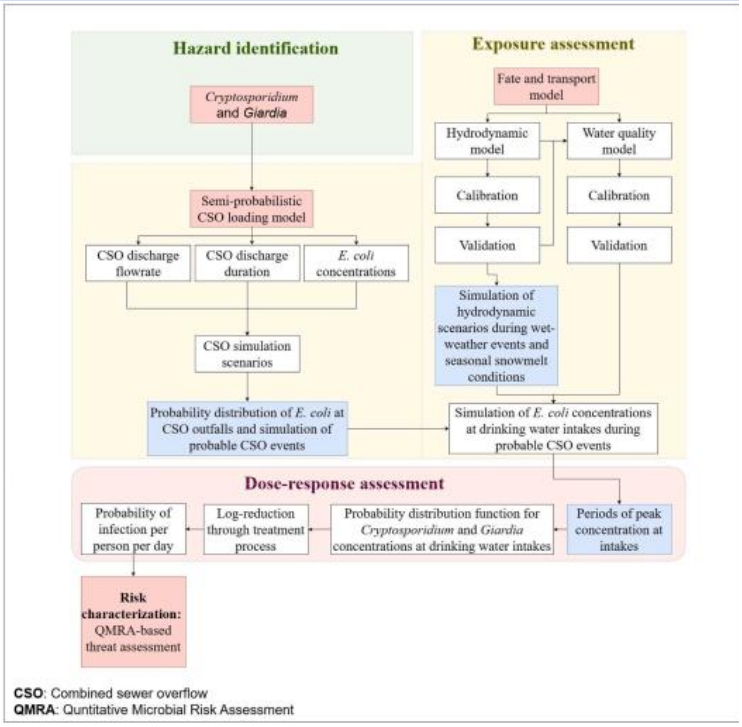
Ficha:11	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). *EXS – Experientia Supplementum*, Springer. **Heavy Metals Toxicity and the Environment.** "Toxicidad de los metales pesados y el medio ambiente".
Palabras claves:	• Metales pesados / Contaminación del agua/ Toxicidad ambiental/ Salud humana / Bioacumulación / Riesgo sanitario.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 11. **Redacciones propias**	En este articulo se estudia la presencia de metales pesados en el agua y en el medio ambiente, así como los riesgos que estos representan para la salud humana. Los metales pesados como arsénico, cadmio, plomo, mercurio y cromo pueden ingresar a los sistemas de agua debido a diversas fuentes: • actividades industriales • minería • descargas de aguas residuales • procesos naturales de lixiviación geológica Estos metales pueden bioacumularse en organismos vivos, generando efectos tóxicos incluso a bajas concentraciones. Entre los efectos en la salud humana se incluyen: • daños neurológicos • enfermedades renales • alteraciones cardiovasculares • efectos cancerígenos Este documento destaca la importancia del monitoreo y control de metales pesados en el agua potable, así como el desarrollo de tecnologías de tratamiento que permitan reducir su concentración. Se presentan tablas con niveles de toxicidad y límites recomendados para distintos metales pesados, mientras que los gráficos muestran las rutas de exposición y algunos efectos biológicos asociados. • "Citas textuales":

	• Los metales pesados son elementos que ocurren de manera natural con alto peso atómico y densidad que son tóxicos incluso a bajas concentraciones. • La exposición a los metales pesados puede ocurrir a través del agua potable, los alimentos, el aire y la exposición ocupacional. • Se sabe que muchos metales pesados causan trastornos neurológicos y fisiológicos en los humanos. • El arsénico, el cadmio, el plomo y el mercurio están entre los metales pesados más tóxicos que afectan la salud humana. • Redacciones propias Los metales pesados constituyen uno de los contaminantes más peligrosos presentes en el agua, debido a su toxicidad y capacidad de bioacumulación en organismos vivos. Las actividades industriales, mineras y agrícolas son algunas de las principales fuentes de contaminación por metales pesados en el ambiente. Cuando estos contaminantes ingresan al agua potable, pueden generar efectos adversos en la salud humana, afectando sistemas neurológicos, renales y cardiovasculares. Por esta razón, el monitoreo constante de metales pesados y el establecimiento de límites máximos permisibles en agua potable son fundamentales para proteger la salud pública.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta la evaluación de riesgos asociados a contaminantes químicos en el agua potable. • Avalar Entrega evidencia científica sobre los efectos tóxicos de los metales pesados en la salud humana. • Complementar Complementa estudios sobre calidad del agua potable y control de contaminantes químicos. • Definir Define el rol del monitoreo y control de metales pesados en sistemas de agua potable.

	• Contrapropuesta Propone la necesidad de desarrollar tecnologías de tratamiento más eficientes para eliminar metales pesados. • Otros aportes Contribuye al desarrollo de políticas ambientales y normativas para el control de contaminantes en el agua.
Materiales más significantes:	

Ficha:12	TIPO **Lectura Especifica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Teunis, P. F. M., Medema, G., & Kruithof, J. C. (2025) **Quantitative Microbial Risk Assessment for Drinking Water Intake Threats.** **Water Research.** "Evaluación Cuantitativa de Riesgos Microbianos para las Amenazas del Consumo de Agua Potable".
Palabras claves:	• Evaluación cuantitativa de riesgo microbiológico (QMRA)/ Calidad del agua potable /Contaminación microbiológica/ Patógenos en agua/ Gestión del riesgo sanitario/ Seguridad del agua/ Sistemas de abastecimiento/ Riesgos microbiológicos/ Salud pública/ Tratamiento de agua potable.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 12. **Redacciones propias**	En este artículo se presenta el enfoque de Evaluación Cuantitativa de Riesgo Microbiológico (QMRA) como una herramienta para estimar el riesgo de infección asociado a la presencia de microorganismos patógenos en el agua potable. La metodología QMRA permite: • identificar amenazas microbiológicas en fuentes de agua • estimar la probabilidad de infección en la población • evaluar la eficacia de procesos de tratamiento • apoyar decisiones de gestión en sistemas de agua potable El análisis se basa en cuatro etapas principales: • Identificación del peligro • Evaluación de la exposición • Relación dosis–respuesta • Caracterización del riesgo El estudio muestra cómo esta metodología puede aplicarse para evaluar amenazas potenciales en tomas de agua, incluyendo descargas contaminantes o eventos accidentales. Se presentan, además, los modelos conceptuales del proceso QMRA y gráficos de estimación de

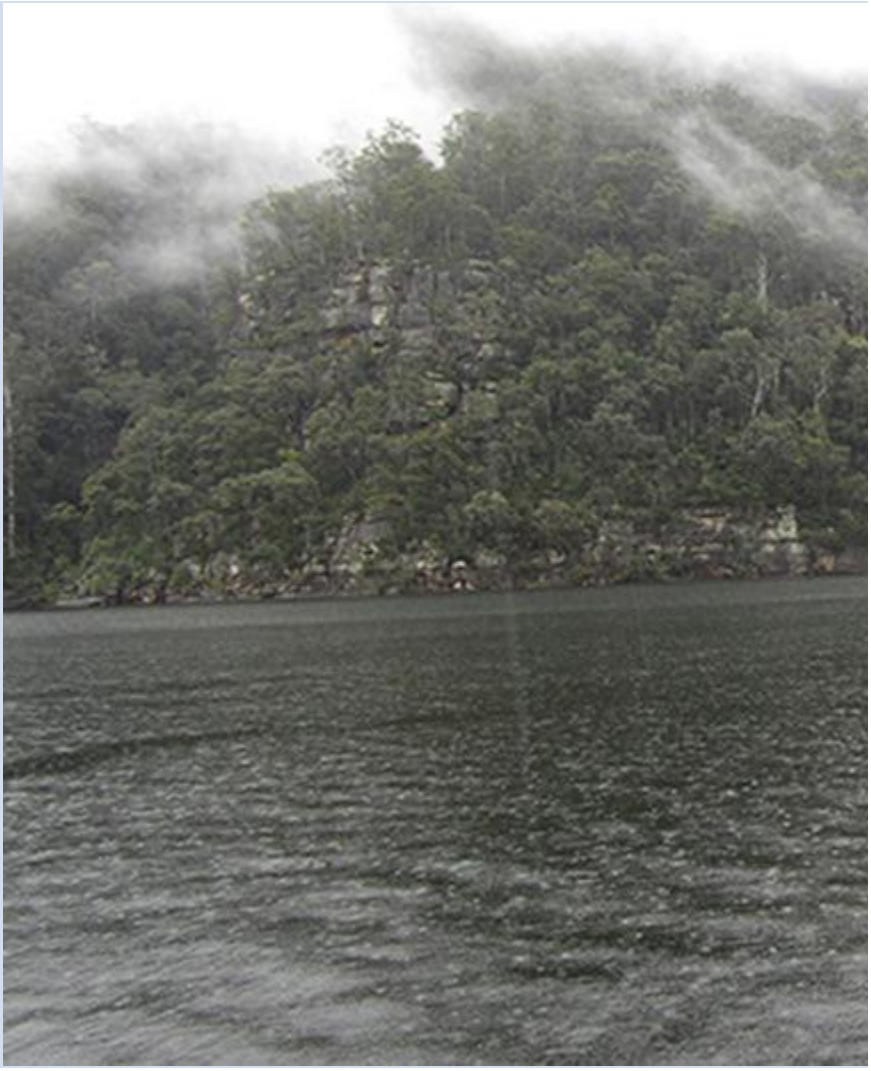
	probabilidades de infección, que permiten visualizar cómo distintos escenarios afectan el riesgo sanitario del agua potable. • “Citas textuales”: • “La evaluación cuantitativa del riesgo microbiano proporciona un marco para estimar el riesgo de infección por patógenos en el agua potable.” • “La contaminación microbiana de las fuentes de agua potable representa una amenaza importante para la salud pública.” • “La EQRM integra la evaluación de la exposición con las relaciones dosis-respuesta para estimar el riesgo de infección.” • “La evaluación de riesgos puede apoyar la toma de decisiones en la gestión de la seguridad del agua.” 2. Redacciones propias La evaluación cuantitativa del riesgo microbiológico constituye una herramienta para estimar el riesgo de enfermedades infecciosas asociadas al consumo de agua potable contaminada. Mediante la integración de información sobre la presencia de patógenos, los niveles de exposición y los modelos dosis–respuesta, el enfoque QMRA permite estimar la probabilidad de infección en la población. Este análisis resulta ser muy útil para apoyar la gestión preventiva del agua potable, permitiendo identificar vulnerabilidades en las fuentes de agua y evaluar la eficacia de los procesos de tratamiento y desinfección.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta la implementación de herramientas de evaluación de riesgo en sistemas de agua potable. • Avalar Entrega respaldo científico para el uso de QMRA en la gestión sanitaria del agua. • Complementar Complementa estudios sobre calidad del agua potable y tratamiento del agua.

	• Definir Define un marco metodológico para evaluar riesgos microbiológicos en fuentes de agua. • Contrapropuesta Propone el uso de modelos cuantitativos para mejorar la toma de decisiones en gestión del agua potable. • Otros aportes Contribuye al desarrollo de sistemas de monitoreo y control de riesgos microbiológicos en abastecimientos de agua potable.
Materiales más significantes:	 Fig. 3. Conceptual flowchart of Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) for evaluating CSO-related risks. The QMRA process includes four l identification, exposure assessment, dose-response assessment, and risk characterization.

Ficha:13	TIPO **Lectura Complemento**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Khan, S. J., Deere, D., Leusch, F. D. L., Humpage, A., Jenkins, M., & Cunliffe, D. (2015). *Water Research*, 85, 124–136. **Extreme weather events: Should drinking water quality management systems. adapt to changing risk profiles**. Eventos meteorológicos extremos: ¿Deberían los sistemas de gestión de la calidad del agua potable adaptarse a los perfiles de riesgo cambiantes?
Palabras claves:	• Eventos climáticos extremos/ Calidad del agua potable / Cambio climático / Gestión del riesgo hídrico/ Water Safety Plans/ Gestión del agua potable/ Inundaciones/ Sequías/ Contaminación microbiológica/ Resiliencia de sistemas de agua.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 13. **Redacciones propias**	Este artículo analiza cómo el cambio climático ha aumentando la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, lo que genera nuevos desafíos para los sistemas de abastecimiento de agua potable. Eventos como: • lluvias intensas • inundaciones • sequías • ciclones • incendios forestales pueden afectar diferentes componentes del sistema de agua potable: • cuencas hidrográficas • reservorios • procesos de tratamiento • sistemas de distribución Este estudio señala que los actuales sistemas de gestión del agua potable, como los Planes de Seguridad del Agua (Water Safety Plans), fueron diseñados principalmente para condiciones climáticas históricas, por lo que no considerarían los riesgos emergentes asociados al cambio climático.

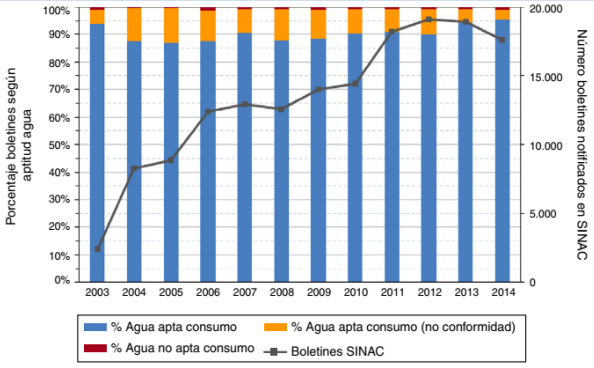
	Por esta razón, en el documento se plantea la necesidad de adaptar los sistemas de gestión de calidad del agua para incorporar escenarios de eventos extremos y mejorar la resiliencia de los sistemas de abastecimiento. • “Citas textuales” • “Los eventos climáticos extremos están asociados con diversos impactos en la calidad del agua.” • “Se proyecta que el aumento en la frecuencia y severidad de los eventos implica riesgos cambiantes para la calidad del agua.” • “Los eventos climáticos extremos incluyen lluvias intensas, inundaciones, ciclones, sequías y olas de calor, cada uno de los cuales puede afectar potencialmente la calidad del agua potable.” • “Los impactos del cambio climático amplificarán los riesgos existentes y crearán nuevos riesgos para los sistemas de suministro de agua.” • Redacciones propias Los eventos climáticos extremos representan un riesgo creciente para los sistemas de abastecimiento de agua potable, ya que pueden afectar la calidad del agua en diferentes etapas del sistema de producción. Se ha evidenciado que las lluvias intensas e inundaciones pueden incrementar la presencia de contaminantes microbiológicos y sedimentos en las fuentes de agua, mientras que las sequías pueden concentrar contaminantes y afectar la disponibilidad del recurso. Dados los actuales cambios en los patrones climáticos, se hace necesario que los sistemas de gestión del agua potable evolucionen hacia modelo adaptativos que incorporen análisis de riesgo climático, planificación preventiva y estrategias de resiliencia.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el desarrollo de estrategias de gestión del agua potable frente al cambio climático. • Avalar Entrega evidencia científica sobre impactos de eventos extremos en la calidad del agua potable. • Complementar Complementa estudios sobre gestión del agua potable con el enfoque de adaptación climática. • Definir Define la necesidad de adaptar los sistemas de gestión de calidad del agua a nuevos perfiles de riesgo climático. • Contrapropuesta Propone incorporar escenarios climáticos extremos en los planes de gestión del agua potable. • Otros aportes Contribuye al desarrollo de estrategias de resiliencia hídrica y planificación adaptativa en sistemas de abastecimiento.

Materiales más significantes:	

Ficha:14	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Gómez-Gutiérrez, A., Miralles, M. J., Corbella, I., García, S., Navarro, S., & Llebaria, X. (2016). *Gaceta Sanitaria*, 30(S1), 63–68. **La calidad sanitaria del agua de consumo.**
Palabras claves:	• Agua de consumo humano / Calidad sanitaria del agua/ Directiva 98/83/CE/ Normativa europea/ Trihalometano / Plomo / Valores paramétricos / Seguridad del agua/ Legislación sanitaria/ Gestión del agua potable
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 14. **Redacciones propias**	Este documento analiza el marco normativo que regula la calidad del agua potable en Europa y España, destacando el papel de la Directiva 98/83/CE y su implementación en España mediante el Real Decreto 140/2003. Las normativas establecen los valores paramétricos de sustancias químicas y microbiológicas para garantizar que el agua destinada al consumo humano no represente un riesgo para la salud pública. El estudio presenta evidencias de mejora en la calidad del agua potable en Cataluña a partir de los datos registrados en el sistema de información SINAC, donde se observa un incremento de agua apta para consumo humano desde un 88% en 2004 hasta un 95% en 2014. Además, el artículo analiza dos casos importantes en la gestión del agua potable: • Trihalometanos (THM) generados durante el proceso de desinfección con cloro. • Plomo en instalaciones internas, proveniente de tuberías antiguas. Finalmente, se señala que la normativa debe actualizarse para incorporar nuevos contaminantes emergentes y avances científicos, además de mejorar el acceso público a la información sobre la calidad del agua. • “Citas textuales”

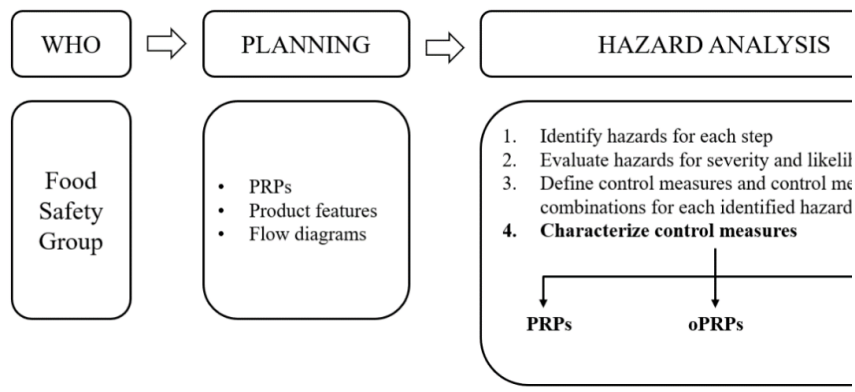
	• “Las normativas en materia de agua de consumo están destinadas a garantizar que la calidad sanitaria del agua es la adecuada para su consumo.” • “La garantía sanitaria y la aptitud para el consumo implican que el agua está libre de cualquier contaminante perjudicial para la salud.” • “Las analíticas notificadas en el programa SINAC indican que la calidad del agua en Cataluña ha mejorado en los últimos años.” • “La implantación de la Directiva 98/83/CE ha obligado a los agentes implicados a introducir alternativas de gestión viables para dar cumplimiento a los estándares de calidad.” • Redacciones propias La normativa europea sobre agua potable ha contribuido significativamente a mejorar la calidad sanitaria del agua en España. Los límites establecidos para contaminantes microbiológicos y químicos han obligado a los sistemas de abastecimiento a implementar controles más rigurosos y tecnologías de tratamiento más avanzadas. Este artículo evidencia que los sistemas de monitoreo y gestión, como el SINAC y los planes de seguridad del agua, permiten mejorar la vigilancia sanitaria y la transparencia en la gestión del recurso. Sin embargo, se señala que aún existen desafíos regulatorios relacionados con contaminantes emergentes, materiales en contacto con el agua y la necesidad de actualizar los estándares según el conocimiento científico actual.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta la comprensión de la gestión sanitaria del agua potable y su regulación normativa. • Avalar Avalar la importancia de las normativas de calidad del agua en la protección de la salud pública. • Complementar Complementa estudios sobre gestión de calidad del agua potable y sistemas de monitoreo sanitario.

	• Definir Define los parámetros regulatorios y los sistemas de control utilizados en Europa para el agua potable. • Contrapropuesta Propone la actualización de la normativa para incorporar contaminantes emergentes y nuevos criterios científicos. • Otros aportes Contribuye a la discusión sobre transparencia y acceso público a la información sobre calidad del agua.
Materiales más significantes:	 **Figura 1.** Porcentaje de boletines notificados en SINAC (Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo) según la calificación de la aptitud del ag humano (agua apta para el consumo, agua apta pero con no conformidad y agua no apta). Se incluye también el número total de boletines notific secundario). Cataluña, 2003-2014. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos extraídos del programa SINAC. Se incluyen los boletines notificados p la administración sanitaria en las infraestructuras de potabilización y en la red de distribución (no se incluyen los boletines relativos a las instalaciones i

Ficha:15	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Collivignarelli, M. C., Abbà, A., Sorlini, S., Damiani, S., & Crotti, B. M. (2018). *Environmental Engineering and Management Journal*, 17(10), 2361–2372. **From the application of Water Safety Plan to the achievement of the ISO 22000:2005 standard: A case study.** "De la aplicación del Plan de Seguridad del Agua al logro de la norma ISO 22000:2005: Un estudio de caso".
Palabras claves:	1. Water Safety Plan (WSP, Plan de Seguridad del agua) / HACCP (*Hazard Analysis and Critical Contro*l, Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control) /ISO 22000:2005 /Agua potable /Gestión del riesgo /Drinking Water Supply System (DWSS), Sistema de suministro de agua potable)/ Inocuidad del agua /Seguridad alimentaria.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 15. **Redacciones propias**	En este documento se presenta el estudio de cómo un Water Safety Plan (WSP) fue en el sistema de abastecimiento de agua potable de Mortara, Italia, adaptado e integrado al sistema HACCP para lograr la certificación ISO 22000:2005 en todas las etapas del sistema, desde la captación hasta el consumidor. Este análisis destaca como el enfoque WSP reemplaza la idea clásica de "control" por la de sistema "bajo control", centrado en proteger la salud humana mediante la identificación, mitigación o eliminación de riesgos químicos, físicos, microbiológicos y radiológicos. El documento explica que el WSP y HACCP comparten una lógica común de análisis preventivo del riesgo. A partir del Codex Alimentarius, los autores presentan los 7 principios del HACCP y muestran cómo estos son retomados por la norma ISO 22000:2005, cuya estructura combina tres componentes: • principios HACCP, • programas prerrequisito (PRPs), • y programas prerrequisito operacionales (oPRPs).

	El estudio describe la implementación práctica mediante 12 pasos, entre ellos: • conformación del equipo HACCP, • descripción del producto, • definición del uso previsto, • construcción del diagrama de flujo, • análisis de peligros, • determinación de CCPs, • establecimiento de límites críticos, monitoreo, acciones correctivas, verificación y documentación. En el caso de Mortara, el sistema de abastecimiento de agua potable comprende tres plantas de tratamiento que trabajan con agua subterránea y tratan principalmente arsénico, hierro, manganeso y amonio. La adaptación del WSP al HACCP permitió identificar peligros, validar medidas de control, clasificar medidas como PRPs, oPRPs y CCPs, y establecer sistemas de monitoreo y verificación para asegurar la inocuidad del agua distribuida. Entre los resultados más relevantes, el artículo señala que la aplicación del WSP permitió: • reducir el riesgo para la salud pública, • mejorar el cumplimiento de parámetros regulatorios, • optimizar la gestión de recursos, • fortalecer la confianza de autoridades y partes interesadas, • y finalmente obtener en septiembre de 2017 la certificación ISO 22000:2005 para todo el DWSS de Mortara. • Citas Textuales: • “El modelo del Plan de Seguridad del Agua (PSA) proporciona un enfoque completamente nuevo, transversal y multidisciplinario para la evaluación del riesgo de contaminación del agua potable.” • “Debido a sus características, el PSA se integra perfectamente con el sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC).” • “El objetivo de este estudio es evaluar cómo se integró el PSA implementado para el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable (SAAP) de

	Mortara, Italia, con el sistema APPCC, para lograr la certificación ISO 22000:2005.” • “La certificación ISO 22000:2005 se obtuvo en septiembre de 2017 para todo el SAAP de Mortara (Pavía).” • Redacciones propias Este documento nos muestra como la gestión de la inocuidad del agua potable puede fortalecerse significativamente cuando el enfoque preventivo de los Planes de Seguridad del Agua (WSP) se integra con sistemas formales de gestión como HACCP e ISO 22000. Del mismo modo, evidencia que el agua potable puede ser gestionada bajo criterios equivalentes a los de una cadena alimentaria, donde cada etapa debe estar bajo control mediante identificación de peligros, medidas preventivas, monitoreo y acciones correctivas. El estudio también muestra que la certificación no depende solo del cumplimiento analítico final, sino de una estructura de gestión completa que abarque captación, tratamiento, almacenamiento, distribución, trazabilidad y relación con el consumidor. El caso de Mortara, nos muestra cómo el análisis de riesgos puede utilizarse como eje articulador entre seguridad del agua, control operacional, documentación y mejora continua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: 1. Orientar Orienta la formulación de un modelo de gestión para evaluar la inocuidad y eficiencia del sistema de agua potable. 2. Avalar Avala la integración entre WSP, HACCP e ISO 22000 como enfoque robusto de control preventivo. 3. Complementar Complementa estudios técnicos del agua potable incorporando una visión de gestión certificable, trazabilidad y control sistemático. 4. Definir

	Define claramente conceptos y herramientas como: 1. programas prerrequisito (PRPs), 2. y programas prerrequisito operacionales (oPRPs). 3. Control de puntos críticos (CCP), 4. límite crítico, 5. verificación, 6. acciones correctivas, 7. y análisis de peligros. 8. Contrapropuesta Propone superar un esquema reactivo basado solo en control final del agua, avanzando hacia una gestión preventiva integral de toda la cadena de abastecimiento. Otros aportes Aporta una base directa para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente si se busca vincular: 1. seguridad sanitaria, 2. control de procesos, 3. cumplimiento normativo, 4. y mejora continua en plantas y redes de agua potable.
Materiales más significantes: **Otros**	 **Fig. 1.** System planning according to ISO 22000 standard

Ficha:16	TIPO **Lectura Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Chuiprasert, J., Boonprasop, S., Sopawanit, K., Intraluk, T., Taithipmathukon, N., Takkawatakarn, T., & Chaiwat, W. (2026). *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 13, 101327. **Design and process optimization of an integrated turbidity removal unit in a pilot-scale continuous-flow system using hybrid coagulants for decentralized water treatment.** "Diseño y optimización de procesos de una unidad integrada de eliminación de turbidez en un sistema de flujo continuo a escala piloto que utiliza coagulantes híbridos para el tratamiento descentralizado del agua".
Palabras claves:	8. Remoción de turbidez/ optimización de procesos/ sistema de flujo continuo/coagulantes híbridos/ PAC /PAM/ sedimentación horizontal/ placas deflectora/ filtración/ tratamiento descentralizado/ metodología de superficie de respuesta.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 16. **Redacciones propias**	Este estudio analiza el desarrollo de un sistema piloto compacto de flujo continuo para remover turbidez desde agua cruda, integrando coagulación-floculación, aireación, sedimentación y filtración. Esta propuesta está orientada para implementarse en plantas de tratamientos de zonas rurales, en condiciones de emergencias o entornos con recursos limitados. La optimización se basó en el uso combinado de PAC como coagulante inorgánico y PAM como floculante orgánico. Los autores analizaron la influencia de la dosis química, el caudal de entrada, la aireación, el número de placas deflectoras y su ángulo de inclinación, utilizando Response Surface Methodology (RSM) y análisis estadístico para predecir y maximizar la eficiencia de remoción.

	Se evidencia que la mejor condición química fue 45 ppm de PAC y 2 ppm de PAM. Bajo un caudal bajo de 0.5 L/min y con aireación de 300 mL/min, el sistema alcanzó una eficiencia de remoción de turbidez de 94.3 %. A un caudal moderado de 1.25 L/min, la mejor configuración hidráulica fue de 13 placas con una inclinación de 75°, logrando 85.3 % de remoción. La incorporación posterior de una unidad de filtración con grava, arena y antracita elevó la remoción total hasta 98.3 %. Por otra parte, se determina que variable más influyente sobre el desempeño del sistema es el caudal de entrada, mientras que el ángulo de inclinación tuvo un efecto menor. La interacción entre caudal y número de placas es estadísticamente significativa, y confirma que la eficiencia del tratamiento depende tanto de la química del proceso como del diseño hidráulico del reactor. • “Citas textuales”: • «Sistema de flujo continuo» • «Coagulantes híbridos» • «Tratamiento descentralizado de agua» • Redacciones propias La eficacia del proceso remoción de turbidez no depende únicamente de elegir un coagulante adecuado; resulta igualmente crítico ajustar el caudal, la aireación y la configuración interna del sedimentador para minimizar fenómenos indeseados como cortocircuitos hidráulicos, turbulencia excesiva y deficiencias en la sedimentación, todos ellos determinantes para la estabilidad del flóculo y la eficiencia global del tratamiento. Este estudio confirma que los sistemas compactos y modulares pueden alcanzar desempeños muy elevados cuando se optimizan sus parámetros fisicoquímicos y de transferencia de masa, lo que los convierte en alternativas especialmente valiosas para soluciones descentralizadas de potabilización, donde el espacio, la energía y la infraestructura suelen ser limitados Desde la perspectiva aplicada, este estudio aporta una base sólida para diseñar unidades de tratamiento de bajo

	costo relativo, buena eficiencia y potencial escalabilidad en contextos con limitaciones de infraestructura.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Algunos aportes: • Orientar Orienta el diseño de sistemas compactos para tratamiento descentralizado de agua y remoción de turbidez. • Avalar Avala el uso de coagulantes híbridos PAC-PAM y la optimización hidráulica como estrategia efectiva de tratamiento. • Complementar Complementa estudios sobre eficiencia del sistema de gestión del agua con una dimensión de optimización de procesos unitarios. • Definir Define parámetros operacionales críticos como: • dosis óptima de coagulante y floculante, • caudal de operación, • aireación, • número de placas, • ángulo de inclinación, • y rol de la filtración final. • Contrapropuesta Propone superar enfoques convencionales centrados solo en química de coagulación, incorporando una visión integrada entre hidráulica, sedimentación y filtración. • Otros aportes Aporta una referencia metodológica valiosa para tesis que busquen evaluar eficiencia operacional, optimización de procesos o soluciones de tratamiento aplicables a sistemas pequeños, rurales o de emergencia.

Materiales más significantes:

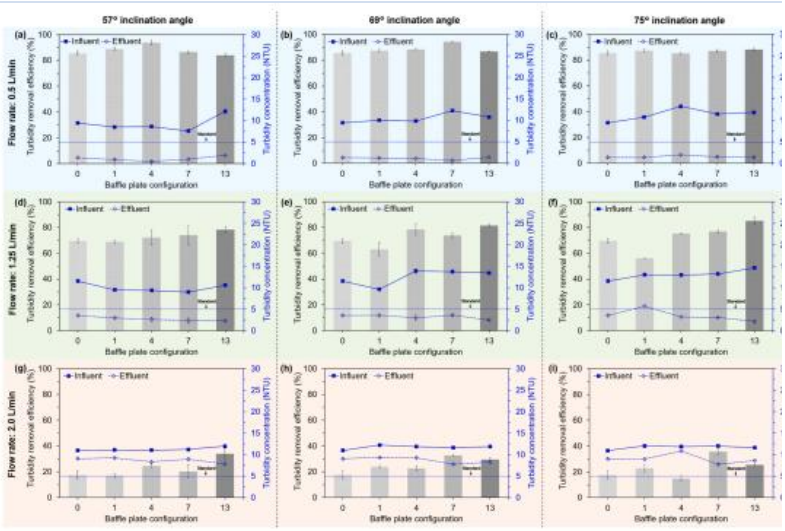


Fig. 3. Effect of flow rate, baffle plate configuration (control, one, four, seven, and thirteen plates), and inclination angle on reactor performance. 0.5 L/min: 57° (a), 69° (b), and 75° (c); at 1.25 L/min: 57° (d), 69° (e), and 75° (f); and at 2.0 L/min: 57° (g), 69° (h), and 75° (i).

Ficha:17	TIPO **Lectura Fundamental.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rodriguez-Alvarez, M. S., Morana, L. B., Salusso, M. M., & Seghezzo, L. (2017). *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 366–376. **Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta.**
Palabras claves:	5. Agua de consumo / Calidad microbiológica /Calidad fisicoquímica / Estacionalidad /Fuentes de agua /Potabilización /Coliformes totales /*Escherichia coli* /Nitratos.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 17. **Redacciones propias**	Este estudio presenta un análisis de la calidad del agua consumida en la localidad periurbana de Vaqueros, Salta, donde la población se abastece desde distintas fuentes: plantas de tratamiento, pozo profundo clorado, acequia y pozos particulares poco profundos. A objeto de diferenciar los sitios de muestreo según la estacionalidad, el tipo de fuente y la relación entre variables microbiológicas y fisicoquímicas. Los resultados muestran que el agua proveniente de fuentes con tratamiento en general cumple mejor con la normativa, pero presenta desviaciones durante la época de lluvias, especialmente en variables como cloro residual, turbiedad, color y presencia ocasional de bacterias indicadoras. En cambio, las fuentes sin tratamiento no cumplieron de manera permanente con los requerimientos bacteriológicos, por lo que resultaron no aptas para consumo humano. Este artículo evidencia cómo la estacionalidad afecta en la calidad del agua. En época de lluvias aumentan la turbiedad, el color y los sólidos suspendidos en aguas superficiales, lo que obliga a reajustar los procesos de potabilización. Ajustes que deben ser adecuados, para evitar la presencia de bacterias en el agua tratada.

	Se observa, además la detección de valores altos de nitratos y bacterias de origen fecal en algunos pozos, lo cual sugiere contaminación vinculada con pozos ciegos, cámaras sépticas o falta de infraestructura sanitaria. Reforzando la necesidad de ampliar los sistemas de agua segura y mejorar tanto el tratamiento como el monitoreo. Metodológicamente, el trabajo es valioso porque combina análisis microbiológicos, fisicoquímicos y herramientas estadísticas como T-test, ANOVA, Kruskal-Wallis, análisis de correlación de Spearman y análisis de componentes principales (ACP), lo que permite identificar patrones espaciales y temporales en la calidad del agua. 6. “Citas textuales” 7. “Las fuentes sin tratamiento no cumplieron con los requerimientos bacteriológicos en forma permanente” 8. “El agua proveniente de fuentes con tratamiento presentó desviaciones en algunas de sus variables en época de lluvias” 9. “Es importante la monitorización de los sistemas locales” 10. Redacciones propias El desempeño de los sistemas de tratamiento de agua, puede verse afectado frente a determinadas condiciones estacionales. Se evidencia que la época de lluvias representa un momento crítico para los sistemas que dependen de aguas superficiales, porque aumentan la turbiedad, el color y la carga de contaminantes, lo cual exige un control más estricto del proceso de potabilización. Además este estudio muestra como las fuentes subterráneas poco profundas pueden estar altamente expuestas a contaminación fecal y nitratos cuando no existe una adecuada infraestructura sanitaria en el entorno. El monitoreo continuo es una herramienta de gestion indispensable para detectar fallas, corregir desviaciones

	y asegurar que los sistemas de tratamiento de agua entreguen agua potable segura a la población.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Algunos aportes: 11. Orientar Orienta el análisis de la calidad del agua potable según fuente, tratamiento y estacionalidad. 12. Avalar Avala la necesidad de monitoreo permanente y de revisión de los sistemas de potabilización, especialmente durante la época de lluvias. 13. Complementar Complementa estudios de eficiencia del sistema de gestión del agua con evidencia sobre desempeño sanitario real en condiciones locales. 14. Definir Define relaciones entre variables microbiológicas y fisicoquímicas, y muestra cuáles son más sensibles a cambios por estacionalidad y por tipo de fuente. 15. Contrapropuesta Propone ir más allá del simple acceso a “fuentes mejoradas”, poniendo el foco en el concepto de agua segura y en la eficacia efectiva del tratamiento. 16. Otros aportes Aporta evidencia para sustentar la necesidad de nuevos sistemas de tratamiento, ampliación de redes seguras y mejora del mantenimiento y monitoreo del sistema de distribución.

Materiales más significantes:

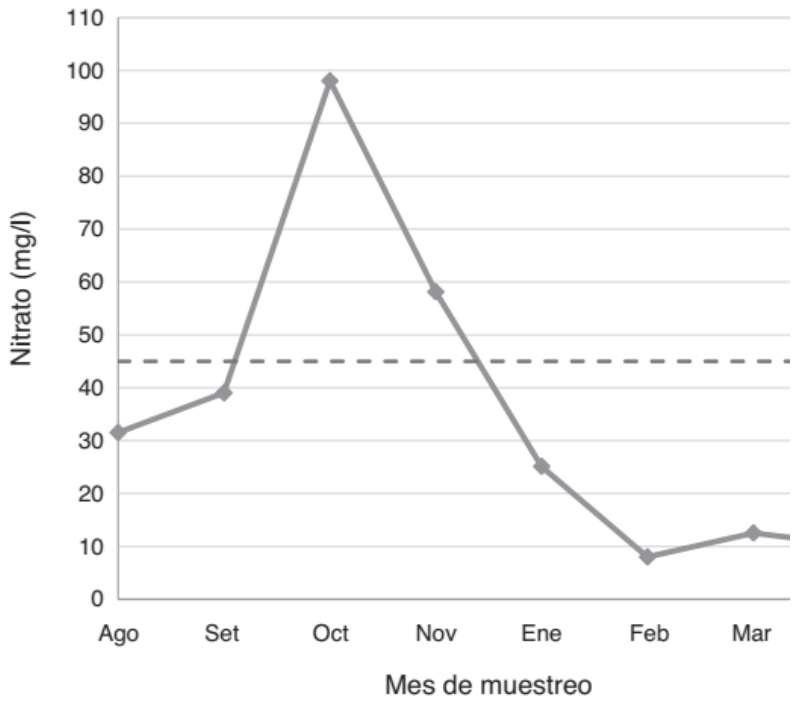
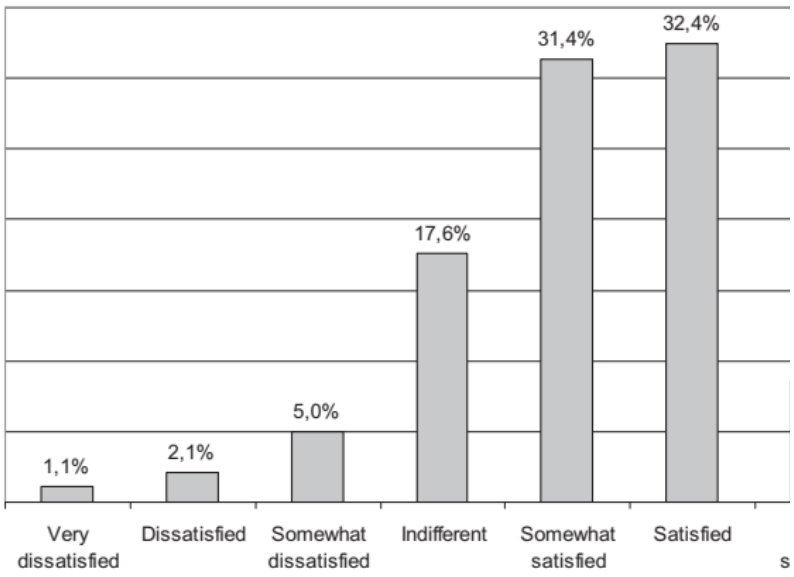


Figura 3 Valores de nitrato en muestras de pozo par

Ficha:18	TIPO **Lectura Complemento.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Escanciano, C., & Santos-Vijande, M. L. (2014). *Food Control*, 40, 50–57. **Reasons and constraints to implementing an ISO 22000 food safety management system: Evidence from Spain.** Razones y limitaciones para la implementación de un sistema de gestión de la inocuidad alimentaria ISO 22000: Evidencia de España.
Palabras claves:	1. ISO 22000/ Inocuidad Alimentaria/ Sistema De Gestión De Inocuidad/ HACCP/ Razones De Implementación/ Restricciones/ Costos/ Presión Del Mercado/ Eficiencia/ Calidad.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 18. **Redacciones propias**	Este artículo pretende estudiar el por qué las empresas españolas adoptan una norma ISO 22000 y qué limita su difusión. Se basa en una encuesta aplicada a 189 empresas certificadas a lo largo de la cadena alimentaria. Cuyo perfil típico corresponde a una PYME productora de alimentos con presencia internacional. Estas empresas suelen implementar dos o más sistemas de gestión. Y aunque existen presiones externas, predominan las motivaciones internas para adoptar la norma. Las principales razones que destacan la implementacion de esta norma son: mejorar eficiencia, productividad, calidad y procesos internos. También influyen factores como la mejora de la imagen como empresa, la confianza del cliente y las ventajas competitiva. Del análisis factorial se tiene que las principales razones se agrupan en cuatro dimensiones: calidad/eficiencia, anticipación/imagen, presión de mercado y refuerzo de otros sistemas. Las principales barreras son el desconocimiento de la norma, la percepción de que no sea necesaria y los costos económicos. A pesar de ello, la mayoría de las empresas considera que los beneficios superan los costos. 2. “Citas textuales”:

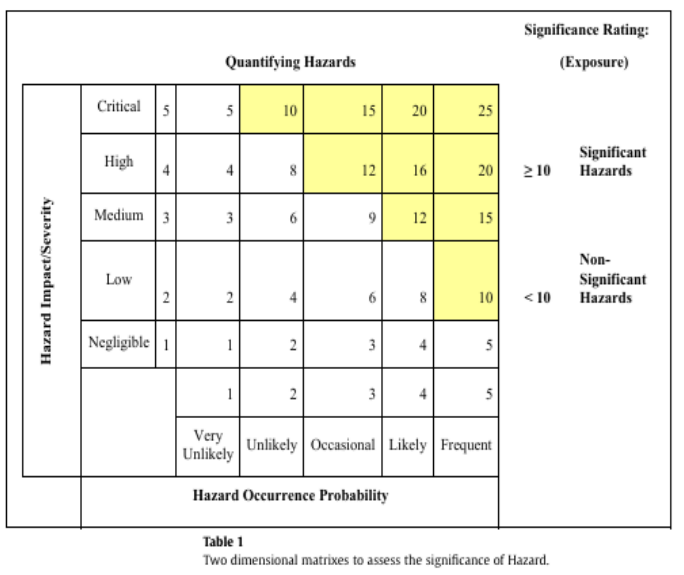
	1. «Las razones más determinantes en esta decisión son de carácter interno, concretamente el deseo de mejorar la eficiencia, la productividad y la calidad». 2. «Los resultados también identifican tres limitaciones importantes que restringen la difusión y el uso de la norma ISO 22000: no es una norma muy conocida, muchas empresas alimentarias desconocen su potencial y perciben altos costes asociados a su adopción». 3. «Las razones más valoradas fueron la mejora de la imagen en el mercado, junto con el suministro y/o la fabricación de productos más seguros y de mayor calidad». 4. «El esfuerzo financiero que las empresas invierten en la implementación del sistema y su posterior certificación se ve compensado y superado por los beneficios que obtienen». 3. Redacciones propias El artículo demuestra que la implementación de la ISO 22000 debe entenderse tambien como una decisión estratégica que muchas organizaciones adoptan para mejorar su desempeño interno. La adopción de un sistema de gestión de inocuidad depende tanto de variables técnicas como de factores organizacionales, económicos y culturales, tales como la experiencia previa en otros sistemas de gestión, la percepción de utilidad, la capacidad interna y el nivel de conocimiento de la norma. Este estudio también muestra que las barreras para implementar ISO 22000 no desaparecen aunque la norma ofrezca beneficios reales; por el contrario, la difusión del sistema puede verse limitada por desconocimiento, por ausencia de presión comercial directa o por la percepción de altos costo. Finalmente este documento aporta un marco útil para comprender por qué una organización decide avanzar o no hacia la certificación, y qué condiciones deberían fortalecerse para que el sistema funcione de manera sostenible.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aportes especificos, con relación a: 4. Orientar Orienta el análisis de los factores que favorecen o dificultan la implementación de ISO 22000 en organizaciones que buscan fortalecer su sistema de inocuidad. 5. Avalar Avala la idea de que la adopción del sistema puede estar motivada por beneficios reales en eficiencia, calidad, productividad e imagen organizacional. 6. Complementar Complementa estudios técnicos del agua potable con una mirada de gestión organizacional, necesaria para evaluar la implementación de un SGIA. 7. Definir Define categorías analíticas útiles para tesis, como motivaciones internas, presión de mercado, barreras económicas, falta de conocimiento y refuerzo de otros sistemas de gestión. 8. Contrapropuesta Propone superar la visión de ISO 22000 como simple requisito documental, mostrando que su implementación puede generar ventajas de gestión, aunque ello exige condiciones institucionales adecuadas. 9. Otros aportes Aporta una base conceptual importante para interpretar eventuales dificultades en la implementación de un SGIA en plantas de agua, por ejemplo: resistencia organizacional, costos, falta de conocimiento interno o ausencia de presión externa suficiente para sostener el sistema.

Materiales más significantes:	 **Fig. 1.** Respondents' satisfaction with the ISO 22000 FSMS.

Ficha:19	TIPO **Lectura Especifica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Soman, R., & Raman, M. (2016). *Food Control, 69*, 191–195. **HACCP system e hazard analysis and assessment, based on ISO 22000:2005 methodology.** "Sistema HACCP y análisis y evaluación de peligros, basado en la metodología ISO 22000:2005. Alimentación"
Palabras claves:	• Food safety/ hazard análisis/ OPRP / CCP / control measures / ISO 22000:2005/ PRP/
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 19. **Redacciones propias**	En este documento, se explica cómo aplicar la metodología de análisis de peligros de ISO 22000:2005, integrando PRP, OPRP y CCP dentro de un sistema de gestión de inocuidad alimentaria. De igual forma, se identifican los distintos tipos de peligros (biológicos, químicos y físicos), y se debe evaluar los riesgos considerando su probabilidad y severidad. Los peligros no significativos se controlan con PRP, mientras que los significativos requieren medidas adicionales clasificadas como OPRP o CCP. La selección de estas medidas considera criterios técnicos como efectividad, monitoreo y riesgo de falla. El documento concluye que el análisis debe ser riguroso, documentado y capaz de ajustar o crear nuevos controles para garantizar la seguridad alimentaria. • "Citas textuales" • Un problema fundamental de salud pública. • Un enfoque sistemático para la seguridad alimentaria. • El análisis de riesgos es muy importante. • Redacciones propias Para realizar el análisis de peligros y la evaluación de medidas de control conforme a la metodología de ISO 22000:2005, integrando PRP, OPRP y CCP dentro de un sistema de gestión de inocuidad alimentaria; de deben generar los procedimientos adecuados los cuales deben de conocimiento y aplicación por parte del personal de proceso.

	Se establece que los peligros alimentarios pueden ser biológicos, químicos o físicos, y que todos los peligros razonablemente previsibles deben ser identificados y registrados considerando materias primas, proceso, equipos, entorno y eslabones previos y posteriores de la cadena alimentaria. La evaluación del peligro se basa en dos dimensiones principales: probabilidad de ocurrencia y severidad del daño, las que se combinan en una matriz para distinguir entre peligros significativos y no significativos. Los peligros con valoración menor a 10 son controlados mediante PRP, mientras que los significativos requieren medidas de control adicionales que luego se clasifican como OPRP o CCP según su nivel de efectividad. La selección y categorización de medidas de control considera criterios como efecto sobre el peligro, factibilidad de monitoreo, ubicación en el sistema, probabilidad de falla, severidad de consecuencias, especificidad y efecto sinérgico. En este trabajo concluye que el análisis de peligros debe realizarse de forma científica y documentada, y que puede llevar a incorporar nuevos PRP o a reclasificar algunos como OPRP para asegurar la inocuidad alimentaria.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con respecto a: • Orientar: sí, porque entrega una ruta metodológica clara para desarrollar análisis de peligros y clasificación de controles. • Avalar: sí, porque respalda técnicamente el uso de matrices de riesgo y criterios de decisión en sistemas HACCP e ISO 22000. • Complementar: sí, porque complementa marcos generales de inocuidad con herramientas prácticas de evaluación y documentación. • Definir: sí, porque define diferencias funcionales entre PRP, OPRP y CCP, además del concepto de peligro y su evaluación. • Contrapropuesta: no de forma directa; más bien sistematiza y operacionaliza lo establecido por ISO 22000:2005.

	• Otros aportes: útil para diseñar formatos de trabajo, matrices de significancia, evaluación de medidas de control y planes OPRP/HACCP aplicables en auditorías, implementación o mejora de sistemas de inocuidad.
Materiales más significantes:	
Ficha:20	TIPO **Lectura Específica.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Quezada-Quezada, J. C., Flores-García, E., Bautista-López, J., & Quezada-Aguilar, V. (2014). Ingeniería Investigación y Tecnología, XV(1), 41–50. **Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable.**
Palabras claves:	• Pozo de agua potable /Control de variables /Adquisición de datos /Diagrama de Proceso /Monitoreo en tiempo real /Automatización (SCADA,PLC)/Protección del proceso .
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 20. **Redacciones**	Este estudio evidencia cómo la automatización industrial puede mejorar la confiabilidad operativa y apoyar la toma de decisiones del operador en sistemas de agua potable. • “Citas textuales” 9. “Sistema de control y monitoreo de descarga de agua en un pozo de agua potable” 10. “Garantizar la calidad del agua”

Quantifying Hazards — Significance Rating: (Exposure)

Hazard Impact/Severity							
Critical	5	5	10	15	20	25	
High	4	4	8	12	16	20	≥ 10 Significant Hazards
Medium	3	3	6	9	12	15	
Low	2	2	4	6	8	10	< 10 Non-Significant Hazards
Negligible	1	1	2	3	4	5	
		1	2	3	4	5	
		Very Unlikely	Unlikely	Occasional	Likely	Frequent	
		Hazard Occurrence Probability					

Table 1
Two dimensional matrixes to assess the significance of Hazard.

propias	11. “La HMI se interconecta con un controlador lógico programable (PLC)” 12. “Permiten apoyar a los operadores en la interpretación de los procesos y en la detección de fallas y la pronta solución de problemas en el sistema” • Redacciones propias La automatización de las mediciones de variables aplicados en pozos de agua potable no solo mejora la operación del sistema, sino que también fortalece la protección del proceso y la capacidad de supervisión en tiempo real. Se evidencia que la integración entre PLC y HMI permite convertir un proceso físico en un sistema supervisado visualmente, donde el operador puede comprender mejor el estado de los equipos, actuar sobre ellos y responder con mayor rapidez ante condiciones anómalas. Este estudio destaca que el control operacional no debe limitarse a la partida de equipos sino que incluir el control de variables de calidad y de operación del agua, como pH, cloro, conductividad, flujo y presión. Desde el punto de vista de gestión, este estudio muestra que los sistemas HMI-PLC constituyen una base útil para modernizar la operación de infraestructura hídrica, aunque requieren personal capacitado para desarrollar, mantener e interpretar correctamente la lógica de control y las interfaces.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con respecto a: • Orientar Orienta el diseño de sistemas de automatización, control y monitoreo aplicados a pozos de agua potable. • Avalar Avala el uso de arquitecturas HMI-PLC para supervisar variables críticas de operación y calidad del agua. • Complementar Complementa estudios de eficiencia del sistema de gestión del agua con una dimensión de automatización operativa y supervisión en tiempo real. • Definir Define elementos clave como: • señales digitales y analógicas del proceso, • variables de monitoreo, • reglas de protección, • interfaz hombre-máquina, • y lógica de control en diagrama escalera. • Contrapropuesta

	Propone superar esquemas manuales o poco integrados de operación, avanzando hacia sistemas supervisados con alarmas, protección y visualización gráfica del proceso. • Otros aportes Aporta una base técnica valiosa para tesis o proyectos que busquen incorporar digitalización, automatización y control de procesos en sistemas de abastecimiento de agua potable.
Materiales más significantes:	.

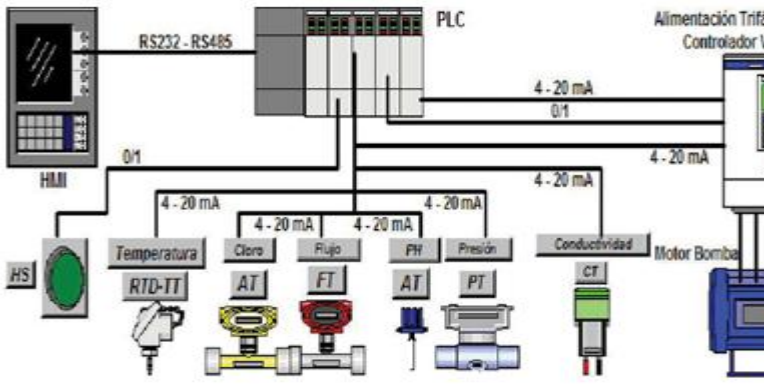


Figura 17. Ventana auxiliar de monitoreo de la variable presión



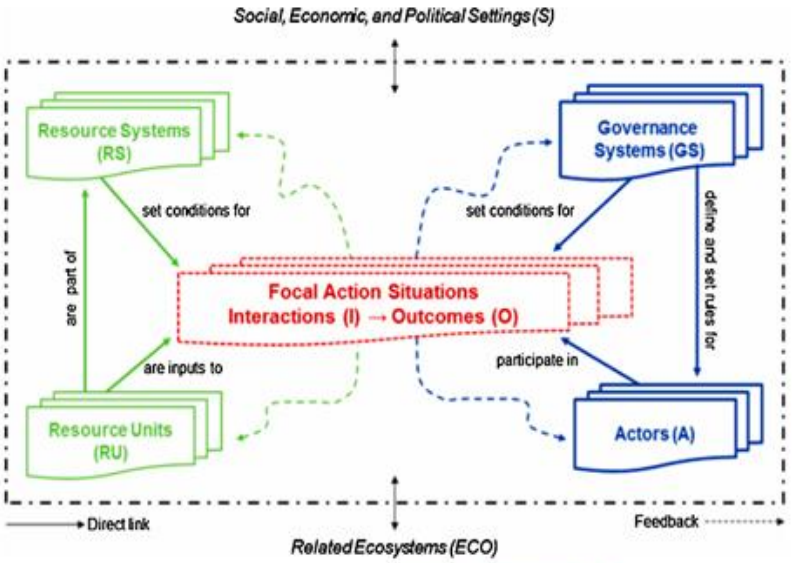
Figura 18. GUI de MONITOREO en tiempo re

Figura 2. Interconexión del sistema



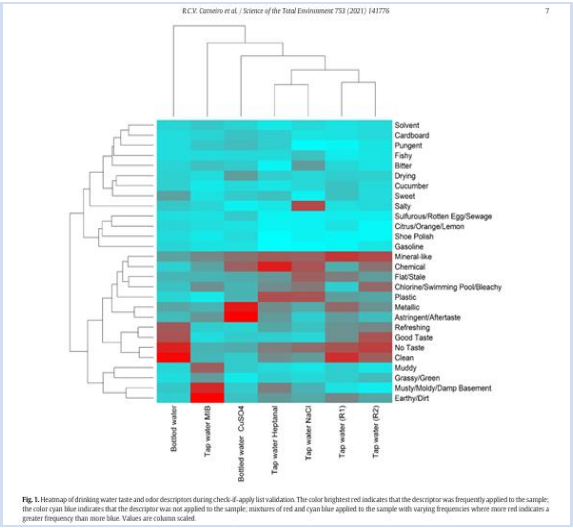
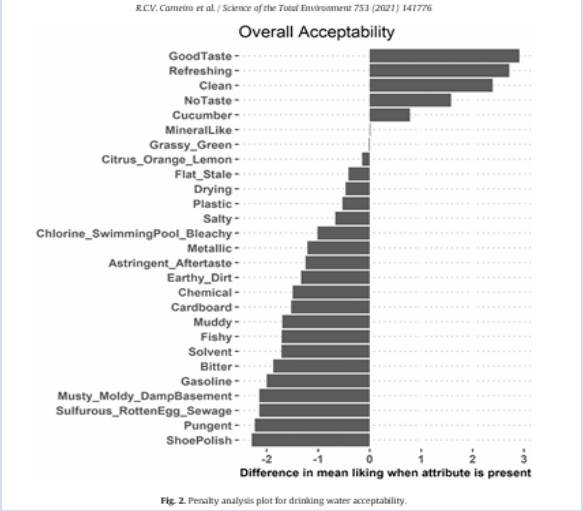
Ficha:21	**TIPO: Lectura Complemento.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Amblard, L. (2019). *Global Environmental Change*, 58, 101970. **Collective action for water quality management in agriculture: The case of drinking water source protection in France.** "Acción colectiva para la gestión de la calidad del agua en la agricultura: el caso de la protección de las fuentes de agua potable en Francia".
Palabras claves:	• Gestión de calidad del agua / Agricultura / Protección de captaciones de agua potable / Gobernanza del agua / Sistema socio ecológico/ Protección de fuentes de agua.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 21. **Redacciones propias**	En este artículo se analizan las condiciones bajo las cuales la acción colectiva entre proveedores de agua potable y actores agrícolas resulta efectiva para proteger captaciones de agua destinadas al consumo humano frente a la contaminación difusa de origen agrícola. El problema se plantea en el contexto de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea, que promueve la protección de cuerpos de agua para reducir la necesidad de tratamientos posteriores. Desde la perspectiva de: • La economía de costos de transacción, para examinar beneficios, costos y costos de coordinación; • Desde el marco de sistemas socio ecológicos (SES), para identificar variables relacionadas con el recurso hídrico, los actores, la gobernanza y el contexto económico-político. A partir de una comparación de seis casos de captaciones de agua potable en Francia, el estudio concluye que la efectividad de la acción colectiva depende de la interacción entre: • características hidrogeológicas del sistema; • número y tipo de actores involucrados; • incentivos contractuales; • apoyo de agencias públicas; • condiciones de mercado; • y adecuación entre medidas propuestas y contexto local. En las tablas se sintetizan los casos estudiados, las características de las captaciones, los procesos de acción colectiva y los factores que favorecen o limitan la cooperación.

	Asimismo, el esquema metodológico y el mapa de casos permiten visualizar el diseño comparativo de la investigación. • Citas textuales: • “La contaminación por fuentes difusas de la agricultura representa una amenaza importante para la calidad del agua en la Unión Europea.” • “Los resultados destacan la importancia de la correspondencia entre los incentivos del contrato y las características del contexto local.” • “El apoyo externo de agencias públicas reduce los costos.” • “La efectividad de la acción colectiva que involucra a proveedores de agua y a actores agrícolas destinada a proteger los recursos de agua potable depende de una serie de condiciones interactivas.” • Redacciones propias: Este estudio demuestra que la protección de las fuentes de agua potable no depende únicamente de normas o tecnologías de tratamiento, sino también de la capacidad de coordinación entre los actores que inciden sobre la cuenca, especialmente agricultores, organizaciones agrarias, autoridades y operadores de agua. La acción colectiva es más efectiva cuando existen incentivos económicos adecuados, confianza entre los participantes, liderazgo local, apoyo técnico externo y medidas adaptadas a las condiciones productivas e hidrogeológicas del territorio. Por otra parte, se evidencia que los costos de transacción pueden transformarse en una barrera importante para la cooperación, sobre todo en cuencas grandes, con muchos agricultores o con sistemas productivos intensivos. Por ello, la gobernanza y el diseño institucional son factores claves para mejorar la calidad del agua desde la fuente.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar El diseño de estrategias de gestión preventiva de la calidad del agua en cuencas abastecedoras. • Avalar La importancia de la cooperación entre actores del territorio para proteger fuentes de agua potable. • Complementar Estudios técnicos de potabilización incorporando la dimensión de gobernanza, incentivos y coordinación institucional.

	• Definir Factores que favorecen o limitan la acción colectiva para el control de contaminación difusa agrícola. • Contrapropuesta Propone una visión alternativa a los enfoques exclusivamente curativos, priorizando la protección del recurso en origen para reducir tratamientos posteriores. • Otros aportes: Aporta un marco útil para investigaciones sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, al mostrar que la calidad del agua también depende de variables institucionales, sociales y económicas.
Materiales más significantes:	 Fig. 1. SES framework (Source: McGinnis and Ostrom, 2014).

Ficha:22	**TIPO: Lectura Complemento.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Carneiro, R. C. V., Wang, C., Yu, J., O'Keefe, S. F., Duncan, S. E., Gallagher, C. D., Burlingame, G. A., & Dietrich, A. M. (2021). *Science of the Total Environment*, 753, 141776. **Check-if-apply approach for consumers and utilities to communicate about drinking water aesthetics quality.** Enfoque de "marcar si aplica" para que los consumidores y las empresas de servicios públicos se comuniquen sobre la calidad estética del agua potable.
Palabras claves:	• Calidad estética del agua potable (Sabor, Olor) /Aceptabilidad del consumidor/ Comunicación con utilities /Check-if-apply / Calidad organoléptica/ Percepción del consumidor / Gestión de servicios de agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 22. **Redacciones propias**	Este documento presenta el desarrollo y validación de una herramienta de comunicación entre consumidores y utilities para describir problemas de sabor y olor del agua potable, mediante una lista de descriptores tipo "check-if-apply", es decir, una lista de términos que el consumidor marca si considera que aplican a la muestra de agua. El estudio considera a los consumidores como evaluadores del agua potable principalmente por sus características estéticas, ya que el sabor, el olor y la apariencia son atributos perceptibles sin entrenamiento técnico. Sin embargo, los reclamos de los usuarios suelen expresarse con vocabulario disperso o confuso, lo que dificulta que las empresas identifiquen correctamente el problema. Para resolver esto, los autores construyen una lista final de 28 descriptores más "otros", a partir de literatura previa, experiencia de la Philadelphia Water Department y términos de la industria sensorial. Luego validan la herramienta con 75 consumidores no entrenados, quienes evaluaron siete muestras de agua con distintos compuestos responsables de olores o sabores, usando: • escala de 9 puntos para aceptabilidad; • lista check-if-apply para describir sabor y olor; • escala de facilidad de uso. Los resultados muestran que: • los consumidores diferenciaron adecuadamente perfiles sensoriales entre muestras; • la aceptabilidad del agua se asoció con descriptores positivos como "good taste", "refreshing", "clean" y "no taste";

	• y los descriptores negativos se asociaron a menor aceptación, como “chemical”, “metallic”, “musty/moldy/damp basement”, “earthy/dirt” y “salty”. • **“Citas textuales”** 1. «La retroalimentación de los consumidores es fundamental para la industria del agua a fin de resolver eficazmente los problemas de calidad estética del agua». 2. «Una lista de descriptores personalizada y consistente mejora la calidad y el análisis de datos para las empresas de servicios públicos». 3. «Los consumidores prefirieron un léxico como guía para evaluar los atributos estéticos del agua». 4. «La mayoría de los participantes (81 %) consideró que la lista de verificación era de "algo fácil" a "muy fácil" de usar». • **Redacciones propias** El estudio demuestra que la percepción del consumidor constituye una fuente valiosa de información para la gestión de la calidad del agua potable, especialmente respecto de problemas estéticos que pueden no ser detectados inicialmente por los sistemas técnicos de monitoreo. La propuesta del check-if-apply permite estandarizar el lenguaje con que los usuarios describen olores y sabores del agua, mejorando la calidad de los datos reportados a las utilities y facilitando una respuesta más rápida y precisa. Además, el artículo muestra que la calidad del agua no solo se relaciona con cumplimiento normativo o seguridad sanitaria, sino también con la aceptabilidad sensorial, aspecto clave para la confianza del usuario en el servicio.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta la incorporación de la percepción del usuario como insumo en la gestión de calidad del agua potable. • Avalar Avala el uso de herramientas simples y estandarizadas para mejorar la comunicación entre consumidores y utilities. • Complementar Complementa estudios técnicos de calidad del agua con la dimensión de calidad estética y aceptación del consumidor. • Definir Define una metodología práctica para registrar de forma consistente problemas de sabor y olor en agua potable. • Contrapropuesta

	Propone una alternativa a los reclamos abiertos y poco estructurados, mediante una herramienta que mejora la trazabilidad y utilidad de la información reportada por los consumidores. • Otros aportes Aporta una perspectiva relevante para la eficiencia del sistema de gestión del agua, al demostrar que la calidad del servicio también depende de la capacidad institucional para interpretar y responder a la experiencia del usuario.
Materiales más significantes:	 Fig. 1. Heatmap of drinking water taste and odor descriptors during check-if-apply list validation. The color brightest red indicates that the descriptor was frequently applied to the sample; the color cyan blue indicates that the descriptor was not applied to the sample; mixtures of red and cyan blue applied to the sample with varying frequencies where more red indicates a greater frequency than more blue. Values are column scaled.  Fig. 2. Penalty analysis plot for drinking water acceptability.

Ficha:23	**TIPO : Lectura Complemento.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Valbonesi, P., Profita, M., Vasumini, I., & Fabbri, E. (2020). *Science of the Total Environment*. **Contaminants of emerging concern in drinking water: Quality assessment by combining chemical and biological analysis.** Contaminantes emergentes en el agua potable: Evaluación de la calidad mediante la combinación de análisis químicos y biológicos.
Palabras claves:	• Contaminantes emergentes /Agua potable/ Calidad del agua/ Bioensayos / Actividad estrogénica/ Genotoxicidad/ Fármacos/ Disruptores endocrinos/ Tratamiento de agua potable.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 23. **Redacciones propias**	El artículo analiza contaminantes emergentes en agua cruda y tratada de tres plantas en Italia, combinando análisis químico por LC-MS/MS con ensayos biológicos. Confirma que los tratamientos convencionales no siempre eliminan completamente fármacos, PFAS y disruptores endocrinos. Los compuestos más detectados en agua tratada fueron cafeína, nonilfenol, PFOA, bisfenol A y carbamazepina. En general, las plantas redujeron eficazmente BPA, cafeína y carbamazepina, aunque mostraron menor eficiencia para nonilfenol y PFOA, manteniéndose aun así en niveles bajos o regulatoriamente aceptables. Desde el enfoque biológico, casi todas las muestras carecieron de actividad estrogénica o genotóxica. Concluye que integrarla combinación de análisis químicos y biológicos ofrece una evaluación más completa, al capturar posibles efectos combinados de contaminantes en concentraciones muy bajas • **“Citas textuales”** • «La presencia de contaminantes emergentes (CEC) en el agua potable representa un desafío para el medio ambiente y la salud humana». • «Los tratamientos convencionales del agua potable podrían no ser suficientes para eliminar por completo los CEC de las fuentes de agua». 24. «Se sugiere un enfoque combinado químico/biológico para evaluar la calidad del agua potable». 25. «La coexistencia de diferentes compuestos puede generar interacciones aditivas/sinérgicas que causen

	efectos inesperados en la salud humana y el medio ambiente». • **Redacciones propias** La evaluación de la calidad del agua potable no debería limitarse al monitoreo de contaminantes tradicionales, ya que existen compuestos emergentes presentes en concentraciones bajas que no son parte del control habitual. Se demuestra que los sistemas de tratamiento pueden remover parte importante de estos contaminantes, aunque la eficiencia varía según el compuesto y la tecnología aplicada. La principal contribución conceptual del estudio es que la calidad del agua debe evaluarse de manera integrada, combinando análisis químicos específicos con bioensayos que permitan detectar efectos acumulativos o interacciones entre compuestos. Esto es especialmente relevante para sistemas de agua potable que dependen de fuentes expuestas, ya que la verificación de concentraciones individuales puede no reflejar completamente el riesgo potencial.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de estrategias de monitoreo avanzado de calidad del agua potable, incorporando contaminantes emergentes. • Avalar Avala el uso de enfoques combinados de química analítica y bioensayos para una evaluación más completa del agua. • Complementar Complementa estudios tradicionales de potabilización incorporando la dimensión de mezclas químicas y efectos biológicos. • Definir Define una metodología útil para evaluar la eficacia real de los tratamientos frente a contaminantes emergentes. • Contrapropuesta Propone superar el enfoque regulatorio centrado solo en contaminantes individuales, avanzando hacia una evaluación de calidad basada también en efectos biológicos. • Otros aportes Aporta un marco de análisis útil para estudios de eficiencia del sistema de gestión del agua, al mostrar que la calidad del agua potable también debe incluir la vigilancia de compuestos no tradicionales y su posible efecto combinado.

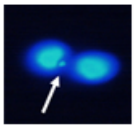
Materiales más significantes:



Fig. 1. Geographical location of Emilia Romagna, Italy and the three DWTPs in Romagna. 1 (NIP) and 2 (Standiana): District of Ravenna; 3 (Capaccio): District of Forlì-Cesena.

Table 6
Evaluation of genotoxic activity in water samples from three DWTPs (Capaccio, NIP and Standiana) collected during 4 campaigns in 2018 and 2019. Data are expressed as the mean of micronuclei (n°/1000 binucleated cells) ± SD of 4 different experiments (N = 4). Control: cells exposed to ultrapure water. Positive control: evaluation of genotoxic activity in cells exposed to bisphenol A (0.1 μM). *P < 0.05 vs control. The picture shows an example of binucleated cell detected in the present study; the white arrow marks a micronucleus.

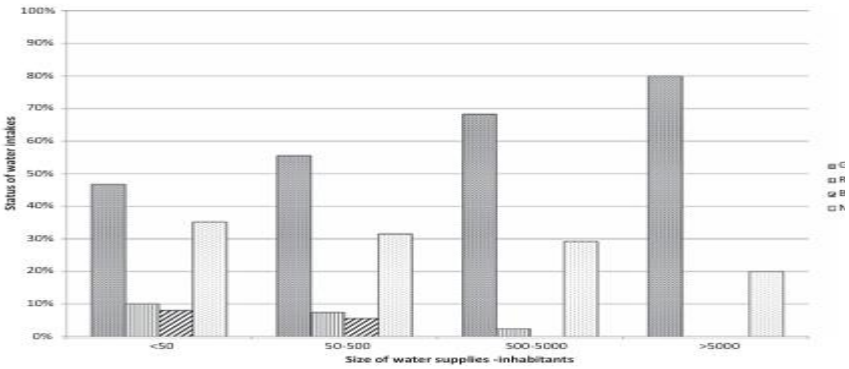
	Capaccio	NIP	Standiana	Control
Summer 2018	8.0 ± 4.8	13.3 ± 3.3	9.7 ± 4.1	12.0 ± 4.1
October 2018	7.5 ± 2.5	13.0 ± 6.6	11.3 ± 6.0	
Summer 2019	10.8 ± 4.5	9.6 ± 4.7	13.0 ± 2.6	11.3 ± 3.9
September 2019	12.8 ± 3.8	11.4 ± 3.2	9.7 ± 3.3	



		Positive control
Bisphenol A (0.1 μM)	17.1 ± 2.7	**37.2 *± 4.8**

Ficha:24	TIPO: Lectura Fundamental.
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Gunnarsdottir, M. J., Gardarsson, S. M., & Bartram, J. (2015). International Journal of Hygiene and Environmental Health, 218(2), 196–202. **Developing a national framework for safe drinking water—Case study from Iceland.** Desarrollo de un marco nacional para el agua potable segura: estudio de caso de Islandia.
Palabras claves:	• Agua potable segura / Marco nacional /Regulación del agua potable / Water Safety Plans /Gestión preventiva / Vigilancia sanitaria /Protección de fuentes Gobernanza del agua /Autoridades locales /Salud pública.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 26. **Redacciones propias**	En este documento se evalúa el marco nacional de agua potable segura en Islandia según los principios de la OMS y la Bonn Charter, destacando la necesidad de un enfoque integral desde la fuente hasta el consumidor. Analiza cuatro áreas: regulación de calidad y desempeño del sistema, protección del recurso hídrico, vigilancia de salud pública y responsabilidades del proveedor. Concluye que, aunque Islandia ha avanzado significativamente, persisten debilidades como falta de supervisión central, vigilancia insuficiente, implementación limitada de Water Safety Plans, problemas de comunicación y vacíos en pequeños sistemas. Las tablas y gráficos resaltan la distribución de responsabilidades y muestran que los sistemas pequeños son los más vulnerables. • **“Citas textuales”** 1. «El agua potable segura es uno de los pilares fundamentales de la sociedad, y la experiencia ha demostrado que se necesita un marco nacional integral para su suministro eficaz». 2. «Los requisitos legales de protección, junto con una vigilancia eficaz de la calidad del agua potable y el desempeño de las empresas de agua, así como una gestión preventiva sistemática del suministro de agua, son elementos clave de dicho marco». 3. «Entre las deficiencias se incluye la necesidad de mejorar la orientación y el control por parte del gobierno central». 4. «La comunicación con el público y entre las partes interesadas también es insuficiente». • **Redacciones propias** La seguridad del agua potable depende no solo de la infraestructura o de la calidad del recurso, sino también de la existencia de un marco nacional coherente que articule

	regulación, vigilancia, salud pública, operadores y autoridades territoriales. En la lectura se muestra que los Water Safety Plans constituyen una herramienta valiosa de gestión preventiva, pero su efectividad depende de auditorías, capacitación, seguimiento institucional y claridad en los roles de cada actor. Se evidencia además que los sistemas pequeños tienden a presentar mayores debilidades en la calidad de sus captaciones, en el monitoreo y en la implementación de medidas preventivas, por lo que requieren apoyo diferenciado. La eficiencia del sistema de gestión del agua no puede separarse de factores como gobernanza, fiscalización, comunicación pública, trazabilidad de incidentes y capacidad de coordinación entre niveles institucionales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de un marco de gestión integral del agua potable basado en prevención, vigilancia y coordinación institucional. • Avalar Avala la necesidad de contar con regulación, control y Water Safety Plans para asegurar agua potable segura de manera sostenida. • Complementar Complementa estudios técnicos de tratamiento incorporando la dimensión de gobernanza, salud pública y fiscalización del sistema. • Definir Define componentes esenciales de un marco nacional de agua potable segura, aplicables a contextos de gestión más amplios. • Contrapropuesta Propone superar enfoques fragmentados del agua potable, integrando en un solo sistema la protección de la fuente, el monitoreo, la gestión preventiva y la respuesta ante incidentes. • Otros aportes Aporta una base muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, al mostrar que dicha eficiencia depende tanto del desempeño técnico como de la estructura institucional y regulatoria.

Materiales más significantes:	M.J. Gunnarsdottir et al. / International Journal of Hygiene and Environmental Health 218 (2015) 196–  **Fig. 1.** Status of 299 water intakes 2012.

Ficha:25	**TIPO: Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Gunnarsdottir, M. J., Gardarsson, S. M., Schultz, A. C., Albrechtsen, H.-J., Hansen, L. T., Bergkvist, K. S. G., Rossi, P. M., Kløve, B., Myrmel, M., Persson, K. M., Eriksson, M., & Bartram, J. (2020). International Journal of Hygiene and Environmental Health, 230, 113627. **Status of risk-based approach and national framework for safe drinking water in small water supplies of the Nordic water sector.** Estado del enfoque basado en el riesgo y del marco nacional para el agua potable segura en los pequeños sistemas de abastecimiento de agua del sector hídrico nórdico.
Palabras claves:	14. Agua potable segura /Enfoque basado en riesgo /Water Safety Plan / Marco nacional / Vigilancia sanitaria /Transparencia de la información / Protección de captaciones /Calidad del agua /Gestión preventiva.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 27. **Redacciones propias**	En este artículo se analiza cómo los países nórdicos han implementado el enfoque basado en riesgo para asegurar agua potable segura, destacando que los pequeños sistemas de abastecimiento siguen siendo los más rezagados. Basado en los principios de la OMS (como: metas de salud, gestión preventiva del riesgo y vigilancia independiente), el estudio compara marcos legales, protección de captaciones, estructura del sector, información al consumidor y avance en herramientas preventivas en ocho jurisdicciones nórdicas. Concluye que, aunque existe un progreso significativo, los sistemas pequeños presentan mayores incumplimientos microbiológicos, menor implementación de planes basados en riesgo, menos capacitación, menor transparencia y menor apoyo institucional. El éxito del enfoque depende de capacitación, herramientas técnicas, cooperación sectorial, intercambio de conocimiento y supervisión efectiva. Las tablas comparativas y el gráfico muestran claramente la mayor vulnerabilidad de los abastecimientos pequeños. • **“Citas textuales”** 1. «El suministro fiable de agua potable es un pilar de la sociedad y fundamental para la salud pública». 2. «Los pequeños sistemas de abastecimiento de agua cumplen menos con la normativa de seguridad hídrica». 3. «Una clave para el éxito es una mayor capacitación y apoyo para los pequeños sistemas de abastecimiento».

	4. «Los tres componentes clave están bien desarrollados en los sistemas de mayor y mediano tamaño en la mayoría de los países nórdicos, pero mucho menos en los sistemas más pequeños». • **Redacciones propias** La seguridad del agua potable depende de un marco institucional que integre regulación, protección de fuentes, monitoreo y gestión preventiva. Los pequeños sistemas son el eslabón más vulnerable, con menor capacidad técnica y mayores incumplimientos microbiológicos. Presentan dificultades para implementar enfoques basados en riesgo y limitado acceso a capacitación. El estudio destaca la importancia de la cooperación sectorial y el benchmarking. También releva el valor de las plataformas nacionales de intercambio de conocimiento. La gestión eficiente requiere más que normas: demanda apoyo técnico, fiscalización y formación continua. De esta forma,el fortalecimiento institucional es clave para asegurar agua potable segura en todos los sistemas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con respecto a: • Orientar Orienta el diseño de estrategias de gestión preventiva del agua potable en sistemas pequeños y medianos. • Avalar Avala la importancia de implementar enfoques basados en riesgo y Water Safety Plans en el sector de agua potable. • Complementar Complementa estudios técnicos de tratamiento incorporando la dimensión de gobernanza, capacitación y vigilancia sanitaria. • Definir Define los principales componentes de un marco nacional para agua potable segura y los factores que condicionan su implementación. • Contrapropuesta Propone superar modelos de control reactivo, avanzando hacia una gestión preventiva con mayor apoyo a los abastecimientos pequeños. • Otros aportes Aporta evidencia útil para estudios sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, al mostrar que el desempeño del abastecimiento depende también de la capacidad institucional, la cooperación sectorial y la transparencia de la información.

Materiales más significantes:

Table 1
Criteria for defining the size of protection zones.

Land	I category	II category	III category	IV category
	Water intake zone Radius for fencing	*Near zone (primary zone)*	*Distance zone (secondary zone)*	Safety zone
Denmark[a]	10 m	60 days or 300 m and 25 m ban on cultivation	10–20 years	According to land planning
Faroe Islands	Recommend fencing	Risk assessment	Risk assessment	
Finland Åland Islands[b]	10–30 m	Not mandatory case-by-case due to geological condition	The whole aquifer	
Greenland	Not mentioned in legislation	Generally 30 m	Delineation of source watershed and assessment of land use	Delineation of source watershed and assessment of land use
Iceland[c]	5 m	Case-by-case considering soil cover and groundwater flow to the water intake. (At least 50 days travel time recommended though not in regulation)	Consider fractures and faults	
Norway[d]	10–30 m	Border defined by 60 days travel time though not in regulation	Geological condition	Evaluated if sensitive activities
Sweden[a]	10–30 m	60–100 days travel time, minimum 100 m	Whole watershed or 1-year travel time	If sensitive activities

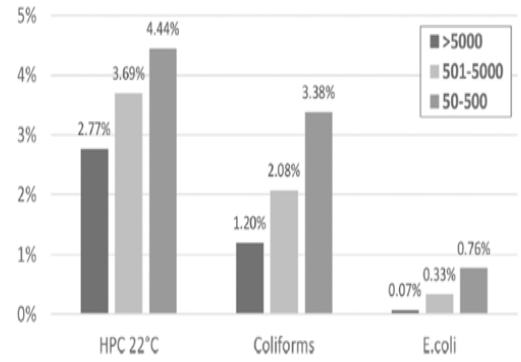
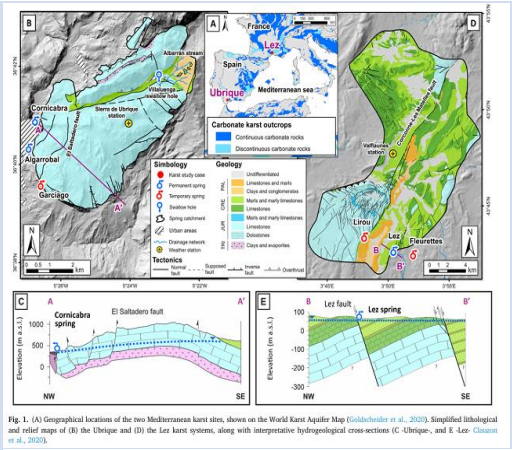
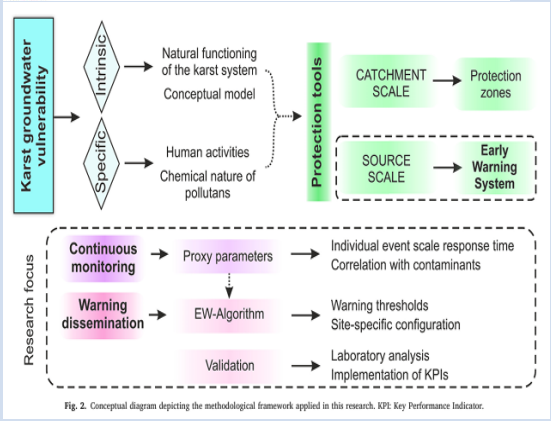


Fig. 1. Population weighted average of non-compliance in the Nordic countries according to size (from Gunnarsdottir et al., 2017).

Ficha:26	**TIPO: Lectura Específica.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Fernandez-Ortega, J., Ulloa-Cedamanos, F., Barbera, J. A., Batiot-Guilhe, C., Jourde, H., & Andreo, B. (2024). *Science of the Total Environment, 956*, 177294. **A common framework for the development of spring water contamination early warning system in western Mediterranean karst areas: Spanish and French sites.** Un marco común para el desarrollo de un sistema de alerta temprana de contaminación de aguas termales en zonas kársticas del Mediterráneo occidental: emplazamientos españoles y Franceses.
Palabras claves:	• Sistemas de alerta temprana/ aguas subterráneas kársticas/ agua potable/ contaminación/ calidad del agua /monitoreo continuo /parámetros proxy /turbidez /KPI.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 28. **Redacciones propias**	Este documento desarrolla y valida un sistema de alerta temprana para contaminación de aguas en manantiales kársticos de la región mediterránea. Su principal aporte es ofrecer un marco metodológico replicable que combina monitoreo continuo, parámetros sustitutos de contaminación, umbrales jerárquicos de alerta y validación mediante KPI. El estudio demuestra que esta herramienta puede anticipar eventos de deterioro de calidad de agua y apoyar la gestión de abastecimiento de agua potable en sistemas vulnerables. • “**Citas textuales”** • «Los recursos hídricos kársticos, tradicionalmente utilizados en todo el mundo para consumo humano, son altamente vulnerables a la contaminación.» • «Los sistemas de alerta temprana (EWS) se presentan como una estrategia eficaz de protección a escala de resorte para la identificación en tiempo real de episodios de contaminación en los puntos de captación de agua potable.» • «La estrategia de validación propuesta para el flujo de trabajo de los EWS implica la implementación de indicadores clave de rendimiento (KPI) específicos para evaluar su eficacia en la identificación de eventos de contaminación y la verificación de los umbrales de alerta estimados.» • «La novedosa metodología presentada en este estudio ha demostrado ser exitosa en el desarrollo y la validación de sistemas de alerta temprana (EWS) de contaminación en fuentes de agua potable kársticas.» • **Redacciones propias**

	Este documento propone un marco metodológico para diseñar sistemas de alerta temprana ante contaminación en manantiales kársticos usados para abastecimiento de agua potable. El estudio se aplica en tres manantiales de Francia y España afectados por contaminación fecal temporal vinculada a lluvias, escorrentía y actividades humanas. La metodología se estructura en tres pilares: parámetros proxy, umbrales jerárquicos y validación mediante indicadores de desempeño. Los parámetros clave incluyen precipitación, caudal, nivel piezométrico, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto y fluorescencia tipo triptófano. El sistema define tres niveles de alerta: precaución, peligro y detención, según el comportamiento hidrológico y la calidad del agua. La validación mostró anticipaciones entre 12 y 45 horas y una tasa de falla menor al 3 %. Los resultados evidencian la aplicabilidad operativa del enfoque para mejorar la gestión preventiva en sistemas de abastecimiento.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar: Porque entrega una metodología clara para estructurar sistemas de alerta temprana en fuentes de agua vulnerables. • Avalar: Porque respalda con evidencia que el monitoreo continuo y los parámetros proxy permiten anticipar episodios de contaminación. • Complementar: Porque añade herramientas estadísticas, análisis de eventos y validación con KPI para fortalecer estudios de gestión del agua. • Definir: Ayuda a definir parámetros críticos, umbrales de alerta y criterios de validación para la protección de agua potable. • Contrapropuesta: Plantea una mejora frente a enfoques previos al ofrecer un marco replicable y operacional. • Otros aportes: o Vincula monitoreo hidrológico con gestión sanitaria del agua. o Muestra cómo adaptar un sistema de alerta a distintos comportamientos hidrogeológicos. o Propone una lógica transferible a otros sistemas de abastecimiento de agua potable.

Materiales más significantes:	 Fig. 1. (A) Geographical locations of the two Mediterranean karst sites, shown on the World Karst Aquifer Map (Goldscheider et al., 2020). Simplified lithological and relief maps of (B) the Ubrique and (D) the Lez karst systems, along with interpretative hydrogeological cross-sections (C -Ubrique-, and E -Lez- Clauzon et al., 2020).  Fig. 2. Conceptual diagram depicting the methodological framework applied in this research. KPI: Key Performance Indicator.

Ficha:27	**TIPO: Lectura Fundamental.**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	McLellan, N., Croll, H. C., Adelman, M. J., Pernitsky, D., & Jacangelo, J. G. (2024). *Science of the Total Environment*, 954, 176593. **Applying a novel mechanistic framework for drinking water management to mitigate emerging contaminants.** Aplicación de un novedoso marco mecanicista para la gestión del agua potable con el fin de mitigar los contaminantes emergentes.
Palabras claves:	13. Contaminantes emergentes /Gestión del agua potable / Barreras de tratamiento / Remoción / Inactivación / Degradación /Destrucción / Microplásticos /Patógenos microbianos /Cianotoxinas .

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 29. **Redacciones propias**	Este artículo presenta una herramienta que clasifica las tecnologías de tratamiento de agua potable según su mecanismo principal frente a contaminantes emergentes: remoción, inactivación, degradación y destrucción. El objetivo de este studio es ayudar a los gestores a evaluar barreras de tratamiento, detectar vacíos de conocimiento y orientar decisiones tecnológicas. El marco de studio, se aplica a: cianotoxinas, patógenos, microplásticos y PFAS, mostrando que algunas tecnologías son de amplio espectro (como RO/NF), que para PFAS predominan procesos de remoción, que para microplásticos falta evidencia y que para patógenos existen barreras consolidadas como UV y oxidación. Además se destaca que RIDD complementa el enfoque de múltiples barreras y permite visualizar eficacia, subproductos y necesidades de investigación. • **“Citas textuales”** 1. Se ha desarrollado un marco novedoso que resume la eficacia de las tecnologías de tratamiento de contaminantes emergentes (CE) basándose en los mecanismos generales de mitigación de Eliminación, Inactivación/Degradación y Destrucción (RIDD). 2. El marco RIDD proporciona una metodología eficiente para que los gestores de sistemas de agua potable identifiquen las lagunas de conocimiento relacionadas con la gestión de los CE en el tratamiento del agua. 3. Las barreras de tratamiento de amplio espectro pueden resultar una inversión valiosa para las empresas de servicios públicos. 4. El marco RIDD no sustituye el principio arraigado en la comunidad del agua de emplear un enfoque de barreras múltiples para el tratamiento del agua. • **Redacciones propias** La gestión de contaminantes emergentes en agua potable requiere de una tecnología que contemple: separar, inactivar, transformar o destruir el contaminante. Esta diferenciación es clave porque muchos tratamientos que remueven contaminantes no los eliminan realmente del sistema, sino que los transfieren a corrientes residuales como lodos, salmueras o medios agotados, lo que genera nuevos desafíos de gestión. El marco RIDD permite comparar tecnologías desde una perspectiva más estratégica y útil para los gestores, especialmente en contextos donde se deben priorizar inversiones o seleccionar barreras que ofrezcan control simultáneo sobre varios contaminantes emergentes. Este estudio demuestra que, aunque algunos procesos como RO/NF ofrecen un control amplio, persisten brechas importantes en la comprensión de tecnologías aplicables a microplásticos y a la destrucción de compuestos persistentes como los PFAS.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta la selección de barreras de tratamiento frente a contaminantes emergentes en sistemas de agua potable. • Avalar Avala la necesidad de utilizar marcos de evaluación más detallados que distingan entre remoción, inactivación, degradación y destrucción. • Complementar Complementa estudios de eficiencia del tratamiento con una mirada más profunda sobre la eficacia real de las tecnologías y el destino final de los contaminantes. • Definir Define un marco conceptual útil para evaluar la eficiencia de gestión del agua potable frente a contaminantes emergentes. • Contrapropuesta Propone superar evaluaciones simplificadas basadas solo en porcentajes de remoción, incorporando una visión más integral del comportamiento de las barreras de tratamiento. • Otros aportes Aporta una herramienta de alto valor para tesis y planificación técnica, al vincular tratamiento, gestión de riesgos, inversiones, residuos de tratamiento y barreras múltiples dentro del ciclo urbano del agua.

Materiales más significantes:

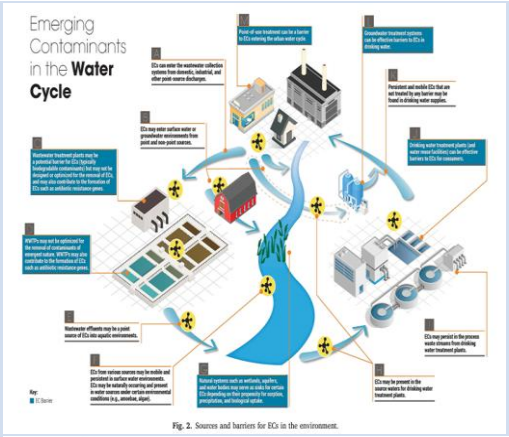


Fig. 2. Sources and barriers for ECs in the environment.

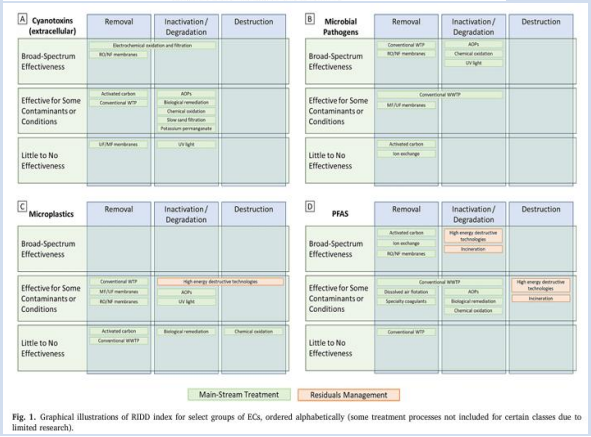
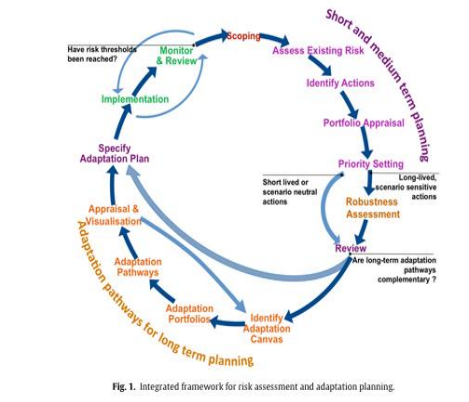
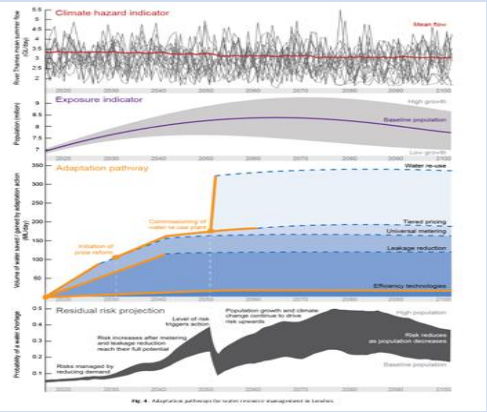


Fig. 1. Graphical illustrations of RIDD index for select groups of ECs, ordered alphabetically (some treatment processes not included for certain classes due to limited research).

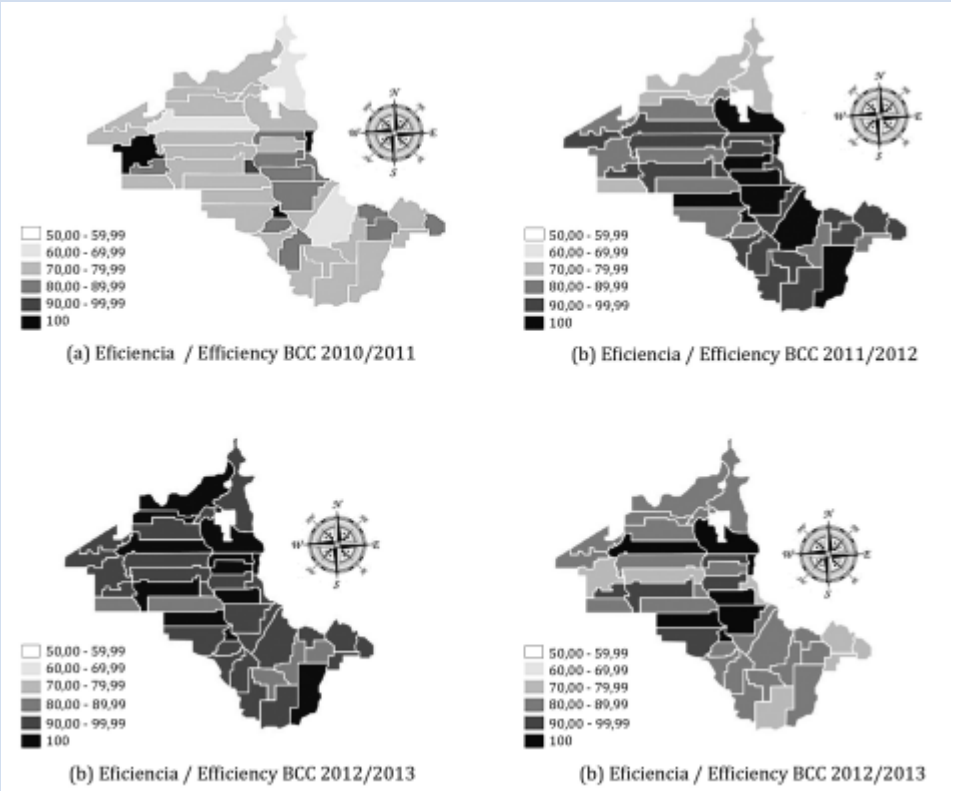
Ficha:28	TIPO : Lectura Fundamental
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kingsborough, A., Borgomeo, E., & Hall, J. W. (2016). *Sustainable Cities and Society*, 27, 386–397. **Adaptation pathways in practice: Mapping options and trade-offs for London's water resources.** Vías de adaptación en la práctica: Mapeo de opciones y compensaciones para los recursos hídricos de Londres.
Palabras claves:	• Adaptation pathways / Adaptación al cambio climático /Gestión de recursos hídricos /Toma de decisiones bajo incertidumbre / Water supply/ Riesgo hídrico/Planificación adaptativa /Escasez de agua / Gestión de la demanda.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 30. **Redacciones propias**	Este artículo plantea abordar la seguridad hídrica urbana, a traves de trayectorias de adaptación, entendidas como secuencias flexibles de decisiones para gestionar el riesgo climático bajo futuros inciertos. Del caso desarrollado Londres, se obtuvo un estudio integrado que combina evaluación de riesgo y planificación adaptativa, destacando limitaciones de los enfoques actuales basados en horizontes cortos y métodos determinísticos. A través de un *adaptation canvas* con diez acciones posibles y la construcción de seis portafolios bajo dos escenarios poblacionales, se generan 12 trayectorias que permiten comparar estrategias de demanda y oferta. Los resultados muestran que medidas de bajo arrepentimiento (como reducción de fugas y eficiencia) son más adecuadas en el corto plazo, mientras que opciones de oferta, como reúso o nuevos reservorios, podrían ser necesarias según evolucione el riesgo. • **"Citas textuales":** 1. «Una ruta de adaptación describe una secuencia estructurada de decisiones de adaptación diseñadas para gestionar el riesgo climático en un amplio abanico de posibles escenarios futuros». 2. «Adoptar un enfoque flexible de adaptación será fundamental para la gestión del riesgo en un contexto de incertidumbre». 3. «Este enfoque ayuda a conciliar múltiples plazos de decisión y demuestra a las partes interesadas el valor de la planificación estratégica de la adaptación a largo plazo». 4. «En Londres, se debe priorizar a corto plazo la gestión flexible y con bajo riesgo de pérdida de eficiencia energética, junto con los esfuerzos continuos para reducir las fugas de energía». **10. Redacciones propias** La planificación hídrica de largo plazo debe formularse como una trayectoria flexible de decisiones sucesivas, capaz de ajustarse a medida que cambian el clima, la población y el nivel de riesgo. Se evidencia que la gestión del agua puede mejorar sustancialmente cuando los análisis de riesgo se conectan con

	decisiones concretas sobre cuándo actuar, cuánto invertir y qué combinación de medidas adoptar. Este estudio muestra además; que las estrategias basadas exclusivamente en grandes obras pueden no ser las más convenientes en etapas tempranas, y que muchas veces la gestión de la demanda, el control de fugas y la flexibilidad institucional ofrecen mejores resultados iniciales. Este trabajo aporta una forma clara de visualizar trade-offs entre riesgo, costo, tiempo e intensidad de intervención, lo cual es especialmente útil para investigaciones sobre eficiencia de gestión y adaptación en sistemas de agua potable.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: 14. Orientar Orienta la formulación de estrategias adaptativas de largo plazo para sistemas de abastecimiento de agua bajo incertidumbre climática y demográfica. 15. Avalar Avala el uso de enfoques de planificación flexible, basada en riesgo y en trayectorias adaptativas, en lugar de enfoques rígidos o puramente determinísticos. • Complementar Complementa estudios de eficiencia del sistema de gestión del agua incorporando la dimensión de adaptación, robustez, trade-offs y secuenciación temporal de decisiones. • Definir Define conceptos clave como: adaptation pathways, adaptation canvas, portafolios de adaptación, riesgo residual, robustez, y evaluación probabilística del riesgo hídrico. • Contrapropuesta Propone superar la planificación tradicional centrada en horizontes cortos y escenarios determinísticos, avanzando hacia una lógica de adaptación progresiva y aprendizaje continuo. • Otros aportes Aporta una base metodológica muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente cuando se busca integrar: 15. análisis de riesgo, 16. planificación estratégica, 17. cambio climático, 18. y decisiones de inversión en infraestructura y demanda.

Materiales más significantes:	 Fig. 1. Integrated framework for risk assessment and adaptation planning. 
Ficha:29	TIPO **Lectura Especifica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Olmedo Vázquez, V. M., Minjares Lugo, J. L., Camacho Poyato, E., Hernández Hernández, M. L., & Rodríguez Díaz, J. A. (2017). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, 49(2), 127–148. **Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México).** Uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar la eficiencia de riego en los Módulos del Distrito de Riego No. 041, Río Yaqui (Sonora, México).
Palabras claves:	

	• Análisis Envolvente de Datos (DEA) /Eficiencia de riego/Gestión del agua /Inputs y outputs / Rendimientos a escala /Benchmarking / Eficiencia técnica pura/ Frontera de eficiencia.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 31. **Redacciones propias**	El artículo evalúa la eficiencia de Riego en los 42 modulo del Distrito de Riego 041 (Río Yaqui) mediante un modelo DEA-BCC orientado a reducir insumos manteniendo la producción. Utiliza como inputs la superficie regada, el volumen de agua aplicado y los costos, y como output el valor total de la producción, analizando cuatro ciclos agrícolas entre 2010 y 2014. Los resultados muestran variabilidad interanual: el ciclo 2012–2013 fue el más homogéneo y eficiente, mientras que 2010–2011 presentó las mayores diferencias entre módulos. Solo algunos módulos fueron consistentemente eficientes. La eficiencia se relaciona con factores como tipo de suelo, volumen de agua, estructura de cultivos, costos y condiciones de escala. Las tablas y mapas del estudio permiten identificar brechas y orientar mejoras en la gestión hídrica y productiva de los módulos. • “Citas textuales” • “El objetivo de la investigación fue identificar la gestión eficiente de riego y conocer hacia dónde canalizar las adecuaciones pertinentes en los próximos años agrícolas.” • “Se evalúa la eficiencia de riego en los módulos de riego, usando la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA).” • “El ciclo agrícola más homogéneo en cuanto a eficiencia fue el 2012-2013, oscilando su rango de 86,72% al 100%.” • “El DEA mostró el margen de mejora para cada módulo de riego ineficiente para lograr la frontera de eficiencia.” • Redacciones propias El DEA es una herramienta eficaz para medir la eficiencia relativa entre unidades de gestión hídrica, ya que permite identificar cuáles son los módulos que aprovechan mejor sus recursos y cuáles presentan mayores márgenes de mejora. La metodología resulta especialmente útil porque no exige definir previamente una función de producción, sino que construye una frontera eficiente a partir de los mejores desempeños observados. Además, se muestra que la eficiencia no depende únicamente del volumen de agua aplicada, sino de la relación conjunta entre superficie regada, costos, productividad y condiciones de escala. Del mismo modo, se presenta el análisis de mejoras potenciales que permite traducir los resultados en acciones concretas de

	gestión, como reducir insumos, ajustar volumen de agua, revisar costos o rediseñar prácticas productivas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de metodologías para medir eficiencia en sistemas de gestión del agua. • Avalar Avala el uso del DEA como herramienta robusta para evaluar eficiencia relativa en unidades comparables. • Complementar Complementa estudios de gestión hídrica con una perspectiva cuantitativa y comparativa basada en benchmarking. • Definir Define una forma operativa de evaluar eficiencia a partir de inputs, outputs, rendimientos a escala y frontera eficiente. • Contrapropuesta Propone superar enfoques simples de eficiencia basados solo en un indicador único, incorporando una evaluación multidimensional y comparativa. • Otros aportes Aporta una referencia metodológica útil para la tesina sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente si se busca adaptar el DEA a plantas productivas de agua potable o sistemas de abastecimiento.

Materiales más significantes:	 **Figura 3.** Eficiencia BCC para cada módulo de riego en los 4 años agrícolas analizados.

Ficha:30	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017). En *Water Resource Systems Planning and Management* (Capítulo 3). Springer **Models for Identifying and Evaluating Alternatives.** "Modelos para identificar y evaluar alternativas".
Palabras claves:	• Modelación de recursos hídricos /Simulación / Optimización /Variables de decisión / Parámetros / Formulación de planes/ Evaluación de alternativas/ Modelo conceptual/ Políticas de operación / Sistemas de agua / Toma de decisiones
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 32. **Redacciones propias**	En este capítulo se analiza como la planificación de sistemas de recursos hídricos requiere comparar alternativas de diseño y operación debido a la interacción entre componentes económicos, ambientales y sociales. Ademá se distingue entre parámetros, variables de decisión, restricciones y objetivos, y muestra cómo un problema verbal se convierte en un modelo matemático mediante optimización. También diferencia entre modelo conceptual y modelo matemático, destacando que el primero organiza el sistema y el segundo permite analizarlo formalmente. A través de ejemplos (como : el diseño óptimo de un estanque y la simulación de asignación de agua desde un embalse) el texto ilustra cómo la optimización responde a qué debería hacerse, mientras que la simulación permite explorar qué pasaría si. • Citas Textuales": 1. Optimización con restricciones junto con modelado de simulación. 2. Los modelos de simulación abordan preguntas hipotéticas. 3. La optimización puede abordar preguntas sobre cómo deberían ser las cosas. 4. Las soluciones modeladas no son sustitutas. • Redacciones propias La gestión del agua requiere transformar problemas reales en modelos que permitan representar el sistema, comparar alternativas y anticipar resultados antes de intervenir físicamente. se evidencia que la simulación y la optimización no son enfoques opuestos, sino complementarios: la optimización ayuda a identificar soluciones potencialmente convenientes, mientras la simulación permite probar cómo funcionarán bajo distintas condiciones. El documento también plantea que, una buena decisión depende de formular correctamente el problema, identificar las variables relevantes, definir restricciones realistas y reconocer que toda representación del sistema es una simplificación.

	El principal valor del capítulo es que ofrece un puente claro entre el razonamiento conceptual y la formulación matemática aplicada a sistemas hídricos.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de un marco metodológico para evaluar alternativas de gestión del agua mediante modelos. • Avalar Avala el uso combinado de simulación y optimización en estudios de planificación y operación de sistemas hídricos. • Complementar Complementa estudios de eficiencia del sistema de gestión del agua con fundamentos de modelación matemática, análisis de escenarios y selección de alternativas. • Definir Define conceptos clave como: variables de decisión, parámetros, restricciones, objetivos, modelo conceptual, simulación, optimización. • Contrapropuesta Propone superar decisiones basadas solo en experiencia o intuición, avanzando hacia una evaluación sistemática de alternativas mediante modelos. • Otros aportes Aporta una base muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente si se busca justificar el uso de herramientas cuantitativas, escenarios operacionales o análisis de políticas de operación

Materiales más significantes:

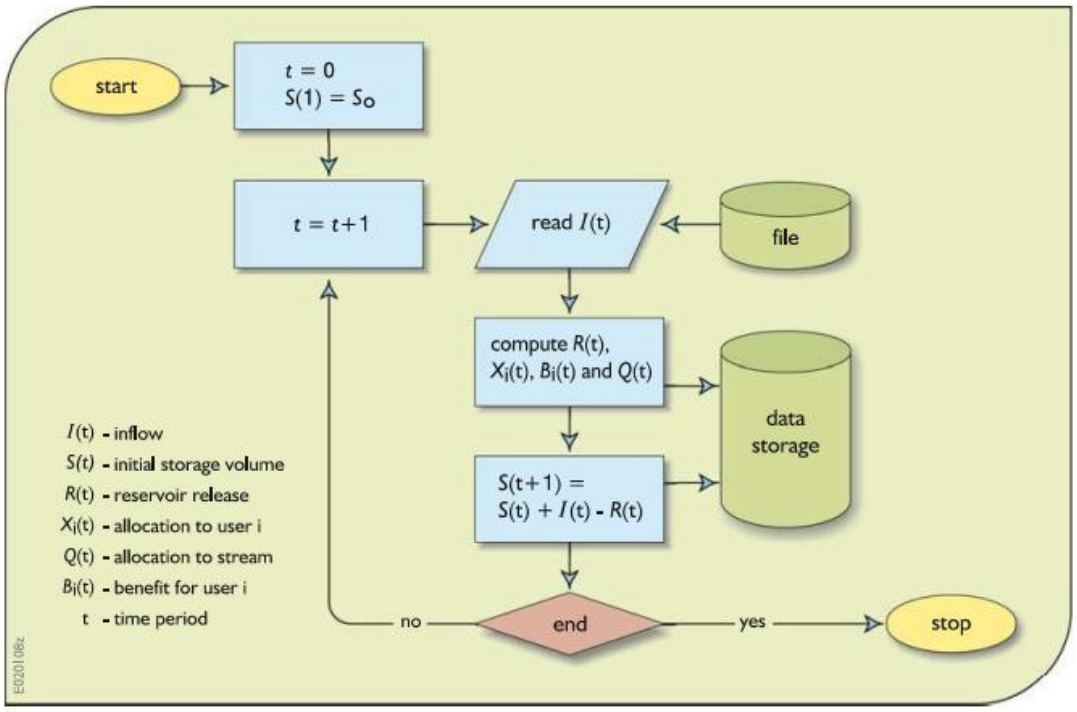


Fig. 3.5 Flow diagram of the reservoir—user allocation system simulation process. The simulation terminates after some predefined number of simulation time steps

Ficha:31	TIPO **Lectura Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Maza Ávila, F. J., Navarro España, J. L., & Puello Payares, J. G. (2012). *Entramado*, 8(1), 58–70. **¿Fue eficiente la asignación de recursos en el suministro de agua potable en el departamento de Bolívar - Colombia en el periodo 2007-2008?.**
Palabras claves:	• Agua potable /Eficiencia /Asignación de recursos / Análisis Envolvente de Datos (DEA) /Cobertura del servicio / Continuidad del servicio/ Inversión pública/ Benchmarking / Gestión pública del agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 33. **Redacciones propias**	Este artículo analiza la eficiencia con que los municipios del departamento de Bolívar utilizaron los recursos destinados al servicio de agua potable en 2007 y 2008, aplicando un modelo DEA-BCC orientado a inputs. Usando como outputs el volumen de agua producida y el número de usuarios, y como inputs la inversión total y las horas promedio de servicio, el estudio muestra que menos del 20% de los municipios alcanzó eficiencia plena en ambos años. Los resultados evidencian un uso poco eficiente de los recursos y una continuidad del servicio insuficiente, señalando un amplio margen de mejora. • “Citas textuales” “Los resultados de dicho análisis para el periodo considerado muestran que menos del 20% de los municipios bolivarenses se encuentran en la frontera de eficiencia.” “El propósito de este artículo consiste en analizar la eficiencia, mediante el Análisis Envolvente de Datos- DEA, de los 45 municipios del departamento de Bolívar (Colombia) en el suministro de agua potable a sus habitantes durante el periodo 2007 – 2008.” “El DEA mostró el margen de mejora para cada municipio ineficiente para lograr la frontera de eficiencia.” “Los resultados obtenidos arrojan que el desempeño municipal ha sido insuficiente para lograr la eficiencia en la asignación de recursos para tal fin.” • Redacciones propias La asignación de recursos públicos no garantiza una prestación eficiente del servicio de agua potable, ya que la eficiencia depende de cómo esos recursos se transforman en cobertura, continuidad y producción efectiva de agua. El uso de DEA permite comparar municipios entre sí y detectar cuáles operan cerca de la frontera eficiente y cuáles presentan mayores ineficiencias

	relativas, lo que resulta útil para procesos de control, fiscalización y mejora de gestión. Se evidencia que una parte importante de la ineficiencia se asocia a deficiencias en el uso de los insumos disponibles, especialmente inversión y continuidad del servicio, así como a limitaciones en la información reportada por los municipios. La estimación de mejoras potenciales, también permite traducir los resultados del análisis en recomendaciones concretas, orientadas a optimizar la inversión, reducir interrupciones del servicio y aumentar productos como agua producida y usuarios atendidos.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de metodologías para evaluar eficiencia en la asignación de recursos del sector agua potable. • Avalar Avala el uso de DEA como herramienta para medir eficiencia relativa en unidades territoriales o prestadores del servicio. • Complementar Complementa estudios técnicos de agua potable con una perspectiva de gestión pública, benchmarking y desempeño institucional. • Definir Define una forma operativa de medir eficiencia a partir de inputs públicos e outputs de servicio. • Contrapropuesta Propone superar evaluaciones basadas solo en ejecución presupuestaria, incorporando análisis de eficiencia relativa y potencial de mejora. • Otros aportes Aporta una base metodológica muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente si se busca adaptar el enfoque DEA a plantas productivas, utilities o sistemas municipales de abastecimiento.

Materiales más significantes:

	2007				2008			
	m³	Usuarios	Inversión	Horas	M³	Usuarios	Inersión	Horas
Promedio	12.478,15	8.244,71	6.864,35	323,61	33.945,06	9.208,55	3.628,61	264,72
Deviación	51.997,76	29.916,31	16.632,76	782,20	93.840,76	33.154,50	7.815,07	167,73
Mínimo	4,50	351	1.274,52	-3.599	4	351	837,33	4
Máximo	270.000	160.000	90.259,66	721	414.720	192.431	45.738,43	575

Tabla 2. Resumen estadístico de variables de la función de producción/aprovechamiento del recurso hídrico, cobertura y continuidad del servicio
Fuente: Cálculo de los autores

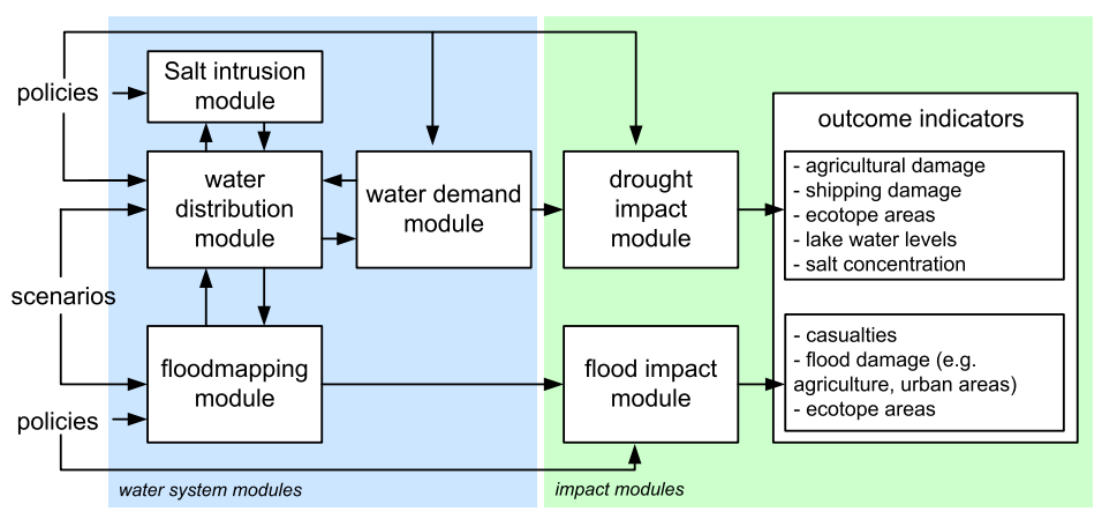
Ficha:32	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Lombardi, G. V., Stefani, G., Paci, A., Becagli, C., Miliacca, M., Gastaldi, M., Giannetti, B. F., & Almeida, C. M. V. B. (2019). Journal of Cleaner Production, 227, 1035–1043. **The sustainability of the Italian water sector: An empirical analysis by DEA.** La sostenibilidad del sector hídrico italiano: un análisis empírico mediante DEA.
Palabras claves:	• Sector agua / Eficiencia / Sostenibilidad/ Análisis Envolvente de Datos (DEA)/ Pérdidas de agua / Eficiencia técnica / Eficiencia ambiental / Eficiencia económica / Utilities / Gobernanza del agua / Regulación tarifaria.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 34. **Redacciones propias**	El artículo analiza la eficiencia sostenible de 68 empresas italianas de agua entre 2011 y 2013 mediante modelos DEA que integran dimensiones técnicas, económicas y ambientales. Incorpora por primera vez la variable de pérdidas de agua en red, clave para evaluar sostenibilidad y desempeño operativo. Usando modelos CCR y BCC con distintas orientaciones, el estudio muestra que las empresas públicas y las de menor tamaño son más eficientes, que las utilities del norte superan a las del centro y sur, y que la eficiencia del sector disminuyó durante el período pese a la reforma tarifaria. Se concluye que mejorar la sostenibilidad requiere una gobernanza más coherente, mejores incentivos regulatorios y una reducción efectiva de pérdidas. Las tablas del estudio detallan los puntajes de eficiencia por año, tamaño, propiedad y región. • “Citas textuales” • Este enfoque puede ser útil para que los responsables políticos orienten sus decisiones hacia un sector hídrico más sostenible y eficiente. • La principal novedad de este trabajo reside, en primer lugar, en el uso de una muestra más amplia de empresas, lo que la hace más representativa de los diferentes territorios italianos; en segundo lugar, para evaluar el desempeño de las empresas de agua, considera también las pérdidas de agua como variable de resultado relevante del análisis. • Las pérdidas de agua desempeñan un papel fundamental en la evaluación del desempeño de las empresas del sector hídrico. • Las empresas de propiedad pública obtienen los índices de eficiencia más altos.

	• Redacciones propias La eficiencia del sector agua no puede analizarse solo desde costos o volúmenes producidos, sino que debe incorporar también la pérdida de agua como una dimensión crítica de sostenibilidad. El DEA permite comparar utilities con distintos tamaños, regímenes de propiedad y localizaciones, identificando patrones de eficiencia y factores estructurales que afectan el desempeño. Se evidencia que las reformas regulatorias no necesariamente generan mejoras automáticas en eficiencia si no se acompañan de incentivos efectivos y mecanismos adecuados de gobernanza. Además, los resultados sugieren que la sostenibilidad del sistema hídrico depende tanto del control de costos como de la reducción de pérdidas físicas y de una mejor articulación entre regulación, estructura empresarial y desempeño operativo.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de metodologías para evaluar la eficiencia sostenible del sector agua potable. • Avalar Avala el uso de DEA para integrar eficiencia técnica, económica y ambiental en un mismo análisis. • Complementar Complementa estudios de eficiencia en agua potable incorporando la variable de pérdidas de agua, clave para la sostenibilidad. • Definir Define una forma operativa de medir eficiencia en utilities de agua considerando inputs financieros y outputs de servicio y desempeño ambiental. • Contrapropuesta Propone superar análisis de eficiencia centrados solo en variables económicas, incorporando criterios de sostenibilidad hídrica. • Otros aportes Aporta una base metodológica muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente en contextos donde las pérdidas de agua son un problema estructural relevante.

Materiales más significantes:	**Table 10** Mean efficiency scores by property type. | Efficiency by type of ownership	DEA Output Oriented		DEA Input Oriented	| |---|---|---|---|---| |	BCC-DEA	CCR-DEA	BCC-DEA	CCR-DEA | | Public	0.89	0.71	0.79	0.67 | | Mixed - majority public capital	0.77	0.51	0.64	0.49 | | Mixed - majority private capital	0.71	0.51	0.51	0.49 | | Private	0.59	0.34	0.36	0.32

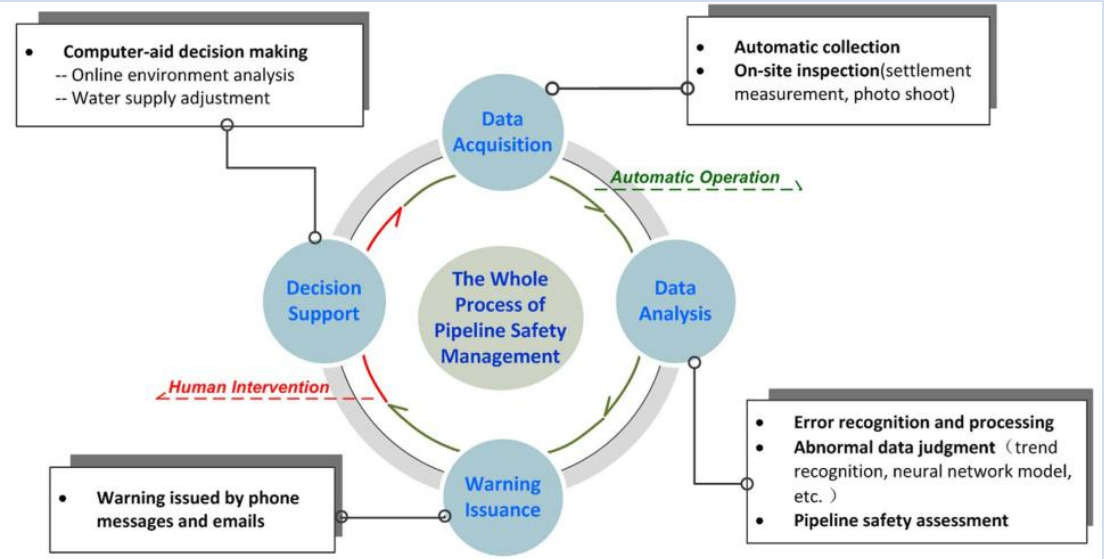
Ficha:33	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Haasnoot, M., van Deursen, W. P. A., Guillaume, J. H. A., Kwakkel, J. H., van Beek, E., & Middelkoop, H. (2014). *Environmental Modelling & Software*, 60, 99–120. **Fit for purpose? Building and evaluating a fast, integrated model for exploring water policy pathways.** ¿Es adecuado para su propósito? Desarrollar y evaluar un modelo rápido e integrado para explorar posibles vías de política hídrica.
Palabras claves:	• Adaptation pathways / Gestión del agua / Incertidumbre profunda /Modelo integrado / Metamodelo / Evaluación de políticas /Cambio climático / Planificación adaptativa /Modelación hídrica / Toma de decisiones estratégicas.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 35. **Redacciones propias**	Este artículo presenta un modelo de evaluación integrada (IAMM) para analizar trayectorias de adaptación en la gestión del agua del delta del Rin bajo escenarios inciertos de cambio climático, aumento del nivel del mar y cambios socioeconómicos. El enfoque se basa en *adaptation pathways*, que permiten planificar secuencias de medidas a lo largo del tiempo considerando *tipping points* donde una acción deja de ser suficiente. El IAMM integra módulos de distribución de agua, intrusión salina, demanda, inundaciones y sequías, y se evalúa no solo por precisión numérica, sino por su capacidad de responder preguntas relevantes para la toma de decisiones. El modelo logra simular 100 años en una hora, facilitando la exploración de escenarios, la priorización de políticas y la identificación de opciones robustas y flexibles. Se

	concluye que el IAMM es adecuado para apoyar decisiones estratégicas, aunque no reemplaza a los modelos detallados cuando se requieren estimaciones hidráulicas precisas. • "Citas textuales": 1. "Una ruta de adaptación es una secuencia de acciones políticas para alcanzar objetivos específicos." 2. "Los resultados muestran que dicho modelo se ajusta al propósito de evaluar y clasificar opciones y rutas políticas para apoyar la toma de decisiones estratégicas." 3. "Actualmente se están desarrollando planes de políticas adaptativas para la gestión del agua de la ciudad de Nueva York y el delta del Rin." 4. "Por lo tanto, el IAMM constituye un instrumento adecuado para establecer múltiples rutas, lo que permite identificar acciones de gestión integrada del agua, robustas y flexibles, para un plan de políticas adaptativas a escala deltaica en un contexto de gran incertidumbre." • Redacciones propias La planificación hídrica de largo plazo bajo incertidumbre requiere modelos suficientemente integrados para capturar relaciones entre oferta, demanda, calidad, sequía, inundación y respuesta de política, pero también suficientemente simples para correr numerosos escenarios en tiempos razonables. La utilidad de un modelo para la gestión pública no depende exclusivamente de su precisión detallada, sino de su capacidad para apoyar decisiones estratégicas, comparar alternativas y revelar en qué momento una política deja de ser efectiva. El enfoque de adaptation pathways permite estructurar la planificación como una secuencia flexible de decisiones, evitando depender de una única medida rígida frente a futuros inciertos. Este trabajo aporta una buena idea para la gestión del agua, con los modelos rápidos e integrados son especialmente útiles para screening y priorización de alternativas, mientras que los modelos complejos deben reservarse para análisis posteriores más detallados.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta la construcción de marcos metodológicos para evaluar alternativas de política hídrica bajo incertidumbre. • Avalar Avala el uso de modelos integrados simplificados como apoyo a la toma de decisiones estratégicas. • Complementar Complementa estudios técnicos de gestión del agua incorporando la lógica de trayectorias adaptativas, puntos de inflexión y evaluación de políticas. • Definir Define conceptos clave como adaptation pathways, adaptation tipping points, deep uncertainty y modelos integrados para apoyo a decisiones. • Contrapropuesta Propone superar enfoques de planificación rígidos o basados en una sola solución óptima, avanzando hacia una planificación adaptativa y secuencial. • Otros aportes Aporta una base metodológica muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente si se busca integrar modelación, escenarios, evaluación de riesgo y decisiones estratégicas en contextos complejos.
Materiales más significantes:	 **Fig. 3.** Model diagram. Section 3 describes the system characteristics. The modules are described in detail in Section 4.

Ficha:34	TIPO **Lectura Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Liu, D., Chen, J., Li, S., & Cui, W. (2018). *Automation in Construction*, 89, 24–37. **An integrated visualization framework to support whole-process management of water pipeline safety.** Un marco de visualización integrado para respaldar la gestión integral del proceso de seguridad de las tuberías de agua.
Palabras claves:	Palabras claves • Seguridad de tuberías de agua /Gestión integral del proceso / Visualización 3D GIS /Monitoreo estructural/ Redes neuronales /Toma de decisiones /Gestión de emergencias/ Proyectos de abastecimiento.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 36. **Redacciones propias**	En este artículo se analiza un marco integrado de visualización para gestionar de manera completa la seguridad de tuberías de conducción en grandes sistemas de abastecimiento. El enfoque unifica en una sola plataforma la adquisición y análisis de datos, la detección de anomalías, la emisión de alertas y el apoyo a decisiones, superando la fragmentación típica de los procesos tradicionales. El sistema combina cuatro módulos (SDAS, S2AS, SAWS y 3DMS) que permiten monitoreo continuo, análisis automático, simulación estructural y visualización 3D georreferenciada. De esta forma, se utilizan métodos de detección de anomalías basados en tendencias, valores extremos, redes neuronales e índices de monitoreo, y evalúa el riesgo tanto a nivel de punto como de segmento de tubería. El prototipo, aplicado en el proyecto de Tianjin, demostró capacidad para identificar fallas, generar alertas, ubicar zonas críticas y apoyar decisiones operativas en tiempo real. • “Citas textuales” 1. Este marco integral optimiza la recopilación y el análisis de datos, la emisión de alertas y el apoyo a la toma de decisiones en una plataforma integrada. 2. El prototipo del sistema puede evaluar automáticamente el estado estructural de las tuberías de desviación de agua y emitir las alertas correspondientes a los profesionales pertinentes. 3. El procesamiento manual de los datos de monitoreo y la falta de indicadores visuales dificultan la identificación de anomalías en las tuberías. 4. El marco propuesto optimiza todo el proceso de gestión y mejora la eficiencia de la respuesta ante emergencias.

	• Redacciones propias La seguridad de sistemas de conducción de agua puede mejorarse significativamente cuando el monitoreo, el análisis, las alertas y el apoyo a decisiones dejan de operar de forma aislada y se integran en una misma plataforma. Esta propuesta no solo automatiza la detección de anomalías, sino que también mejora la capacidad de reacción de los equipos técnicos, al ofrecer visualización georreferenciada, alertas en tiempo real y herramientas de simulación para evaluar escenarios. Este estudio muestra que la incorporación de GIS 3D, street view, bases de datos dinámicas y modelos de inteligencia artificial permite transformar el monitoreo estructural en un sistema más útil para la gestión cotidiana y la respuesta ante emergencias. El principal aporte, desde el punto de vista de gestión es demostrar que la eficiencia operativa no depende solo de disponer de sensores, sino de la capacidad para integrar la información, interpretarla rápidamente y traducirla en decisiones oportunas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de sistemas de monitoreo y gestión integrada de activos hídricos, especialmente tuberías y conducciones críticas. • Avalar Avala el uso de plataformas integradas que combinen monitoreo, análisis automatizado, alertas y apoyo visual a decisiones. • Complementar Complementa estudios de eficiencia del agua incorporando la dimensión de seguridad estructural, monitoreo operacional y gestión de emergencias. • Definir Define un marco práctico para la gestión integral de seguridad de tuberías basado en automatización, georreferenciación y evaluación multicriterio del riesgo. • Contrapropuesta Propone superar sistemas fragmentados de gestión, reemplazándolos por un enfoque integral que conecte datos, análisis, alertas y decisiones en tiempo real. • Otros aportes Aporta una referencia metodológica muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente si se quiere incorporar componentes de:infraestructura crítica, visualización operativa, digitalización, y respuesta temprana ante fallas.

Materiales más significantes:	 **Fig. 1.** Flowchart of whole-process pipeline safety management.

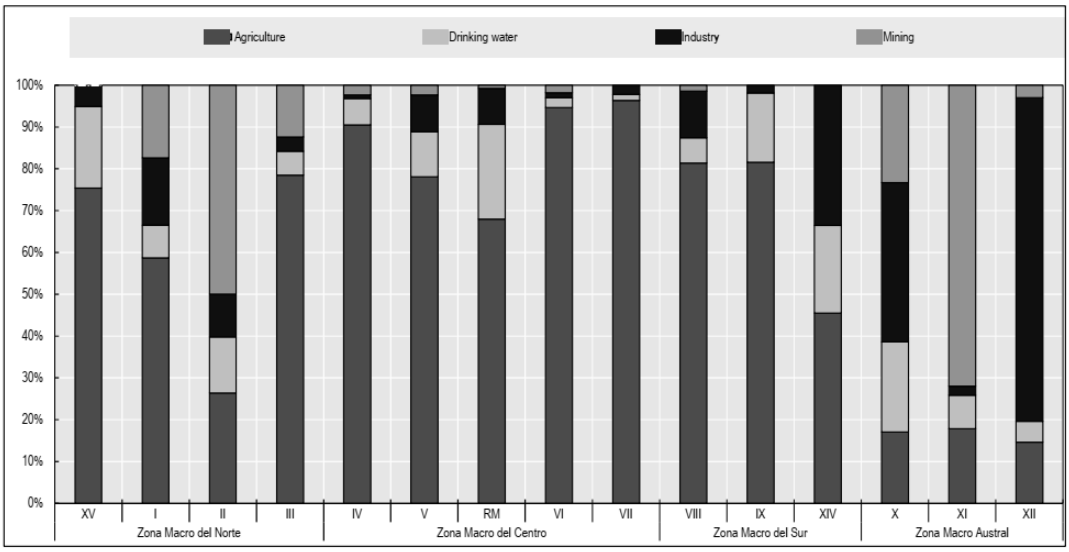
Ficha:35	TIPO **Lectura Complemento**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Krick, T., Forstater, M., Monaghan, P., & Sillanpää, M. (2005). AccountAbility, United Nations Environment Programme (UNEP), Stakeholder Research Associates Canada Inc. Primera edición inglesa: octubre de 2005. Primera edición castellana: enero de 2006. **De las palabras a la acción:" El compromiso con los stakeholders" Manual para la práctica de las relaciones con los grupos de interés. Volumen 2..**
Palabras claves:	• Stakeholders / Grupos de interés/ Compromiso con stakeholders / Gobernanza/ Participación /Inclusividad /Capacidad de respuesta / Gestión estratégica/ Responsabilidad social corporativa/ Relación con stakeholders.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 37. **Redacciones propias**	Este manual presenta una guía práctica para gestionar de manera estratégica las relaciones de organizaciones con los stakeholders. Propone un proceso estructurado en cinco etapas (pensamiento estratégico, análisis y planificación, fortalecimiento de capacidades, relación y revision) presentado como un ciclo orientado a resultados. Basado en la Serie AA1000, enfatiza los principios de relevancia, exhaustividad y capacidad de respuesta, junto con la inclusividad como eje central. Destaca que una buena gestión de stakeholders mejora la reputación, el aprendizaje organizacional, la confianza, la comprensión del contexto y la capacidad de abordar problemas complejos. Además, aporta herramientas metodológicas para mapear actores, priorizar temas, evaluar capacidades y definir niveles de relación, útiles tanto para investigación como para gestión aplicada. • "Citas textuales" • "Las relaciones exitosas con los stakeholders no sólo ayudan a las empresas a asegurar su liderazgo en un contexto cada vez más complejo y cambiante, sino que sirven también para producir los cambios sistemáticos que requiere el desarrollo sostenible." • "El esfuerzo por lograr la inclusividad implica que la organización se compromete a reflejar, en todas las etapas de un proceso de relación, los puntos de vista y las necesidades de todos los grupos de stakeholders involucrados." • "Relevancia ('Materiality'): requiere saber qué temas preocupan y son importantes para su organización y sus stakeholders."

	• "Capacidad de respuesta ('Responsiveness'): implica responder a los impactos relevantes y a las inquietudes de los stakeholders." • Redacciones propias La relación con los grupos de interés no debe entenderse solo como una acción comunicacional o reputacional, sino como un proceso estratégico que permite mejorar la calidad de las decisiones organizacionales, este Manual lo demuestra Plantea que una organización eficaz no es aquella que solo informa, sino aquella que es capaz de realizar gestión, escuchando, comprendiendo prioridades, respondiendo a preocupaciones relevantes y traducir ese aprendizaje en cambios concretos en su entorno. Desde esta perspectiva, la relación con stakeholders se transforma en una herramienta de gobernanza que fortalece la legitimidad, la anticipación de conflictos, la gestión del riesgo y la innovación.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de procesos de participación, gobernanza y vinculación con grupos de interés en organizaciones complejas. • Avalar Avala la importancia de incorporar stakeholders en la toma de decisiones estratégicas y operacionales. • Complementar Complementa estudios técnicos y operacionales con una visión de gestión institucional, diálogo, legitimidad y aprendizaje organizacional. • Definir Define conceptos clave como stakeholder, inclusividad, relevancia, exhaustividad, capacidad de respuesta y niveles de relación. • Contrapropuesta Propone superar modelos unidireccionales o reactivos de relación, avanzando hacia una gestión estratégica, participativa y orientada a resultados. • Otros aportes Aporta una base muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente para incorporar dimensiones como: gobernanza, relación con comunidades, legitimidad social, transparencia, y capacidad institucional de respuesta.

Materiales más significantes:	

Ficha:36	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	OECD (2017). En *Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile*, Capítulo 5. OECD Publishing. **La Gobernanza De La Infraestructura De Agua En Chile.**
Palabras claves:	• Gobernanza del agua / Infraestructura hídrica/ Escasez hídrica/ Desalinización / Agua potable rural /Pérdidas de agua /Gestión de riesgos hídricos/ Coordinación institucional / OCDE /Aguas lluvia /Cambio climático /Servicios sanitarios /Gestión de la demanda / Cuencas hidrográficas.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 38. **Redacciones propias**	Este capítulo analiza los desafíos de Chile en infraestructura y gobernanza del agua, mostrando que no basta con construir más obras: se requiere una estrategia integrada basada en infraestructura, instituciones e información. El país enfrenta presiones crecientes por cambio climático, expansión urbana, actividades intensivas en agua y fuertes desigualdades territoriales, con la Macrozona Norte como la más crítica. Se identifican cuatro grandes riesgos: inundaciones, sequías, contaminación y brechas de cobertura rural. El informe destaca la alta fragmentación institucional del sector, que dificulta la coordinación. En áreas urbanas persisten problemas de pérdidas y roturas de redes; en zonas rurales, aunque el APR ha avanzado, aún existen desafíos de gestión y cobertura en asentamientos dispersos. La desalinización crece en el norte, pero con altos costos energéticos, por lo que debe evaluarse estratégicamente junto a medidas de demanda, reúso e infraestructura natural • “Citas textuales” • “Chile cuenta con más de 40 instituciones relacionadas con el agua, las cuales ejecutan más de 100 funciones, lo que lo convierte en uno de los países más fragmentados en materia de la gestión del agua en la OCDE.” • “La infraestructura debe considerarse como un medio para un fin.” • “Las inversiones en infraestructura deberán ir acompañadas de marcos de gobernanza sólidos, apoyados en instituciones fuertes, y mejores sistemas de información con el fin de guiar eficazmente la toma de decisiones en todos los niveles.” • “Frente a estas futuras tendencias, Chile necesita robustas políticas de agua, con capacidad de adaptación para pasar de la gestión de la oferta

	a la gestión de la demanda, y pasar de la gestión de crisis a la gestión de riesgos.” • Redacciones propias Los problemas del agua en Chile no pueden comprenderse solo como una brecha de infraestructura, sino como una brecha de gobernanza, coordinación y capacidad institucional. Se evidencia que la presión sobre el recurso hídrico es particularmente grave en el norte y centro del país, donde coinciden escasez natural, crecimiento urbano, minería, agricultura intensiva y expansión de fuentes no convencionales como la desalinización. Este documento plantea que una gestión eficiente del agua requiere avanzar desde una lógica centrada en construir más infraestructura hacia una lógica más integral, basada en información confiable, coordinación intersectorial, planificación territorial, gestión de la demanda y reducción de riesgos. Además, muestra que la cobertura urbana de agua potable en Chile es alta, pero persisten problemas relevantes de pérdidas, envejecimiento de redes, calidad del tratamiento y diferencias entre ciudades y territorios rurales. La eficiencia del sistema de gestión del agua en Chile depende no solo de cuánto se invierte, sino de cómo se articula esa inversión con instituciones sólidas, regulación efectiva, datos oportunos y decisiones adaptadas a las particularidades territoriales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el análisis de la gobernanza del agua en Chile y la identificación de brechas entre infraestructura, instituciones e información. • Avalar Avala la necesidad de estudiar la eficiencia del sistema de gestión del agua desde una mirada integral y territorial. • Complementar Complementa estudios técnicos de agua potable incorporando dimensiones de gobernanza, coordinación intersectorial, regulación y planificación pública. • Definir Define los principales desafíos del sistema hídrico chileno en términos de: fragmentación institucional; desigualdad territorial; riesgos hídricos; pérdidas urbanas, brechas rurales; y tensión agua-energía-minería. • Contrapropuesta Propone superar un enfoque centrado exclusivamente en aumentar la oferta hídrica, avanzando hacia gestión de la demanda, infraestructura verde, reutilización, mejor información y coordinación entre sectores.

	• Otros aportes Aporta una base muy sólida para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua en Chile, especialmente en contextos del norte del país donde confluyen: escasez hídrica; desalinización; minería; demanda urbana; y alta vulnerabilidad climática.
Materiales más significantes:	**Gráfico 5.6. Uso de agua por región, 2011**  *Fuente:* DGA (2016), *Atlas del Agua: Chile 2016*, Dirección General de Aguas, disponible en: http://www.dga.cl/atlasdelagua/Paginas/default.aspx

Ficha:37	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa	van Vliet, M., & Kok, K. (2013). Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. **Combining backcasting and exploratory scenarios to develop robust water strategies in face of uncertain futures.** Combinar proyecciones retrospectivas y escenarios exploratorios para desarrollar estrategias hídricas sólidas ante futuros inciertos.
Palabras claves:	• Backcasting / Escenarios exploratorios / Estrategias robustas / Gestión del agua Futuros inciertos /Planificación adaptativa/ Participación de stakeholders/ Desarrollo de políticas / Robustez Cambio global.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 39. **Redacciones propias**	Este artículo propone una metodología que combina escenarios exploratorios y backcasting para diseñar estrategias de gestión del agua capaces de funcionar bajo futuros inciertos. Los escenarios describen contextos posibles, mientras que el backcasting permite partir de un objetivo deseado al 2050 y retroceder para identificar acciones necesarias. Aplicada en talleres participativos del proyecto europeo SCENES, la metodología sigue cinco pasos y permite detectar acciones robustas, útiles en todos los escenarios. Los resultados muestran que los escenarios influyen en los backcasts, que las estrategias robustas incluyen medidas tecnológicas, sociales, institucionales y normativas, y que el enfoque participativo es bien valorado. • “Citas textuales” • “La principal ventaja de combinar escenarios exploratorios y normativos radica en la identificación de acciones robustas: acciones que resultan efectivas en los diferentes contextos socioambientales descritos en los escenarios exploratorios.” • “Los resultados demostraron que los escenarios exploratorios influyeron en el contenido de las proyecciones retrospectivas, lo que permitió la identificación de estrategias robustas.” • “La lista de estrategias robustas incluye estrategias tanto tecnológicas como sociales/organizacionales, lo que subraya la necesidad de un enfoque integrado.” • “Una ruta de adaptación es una secuencia de acciones políticas para alcanzar objetivos específicos.” • Redacciones propias La planificación hídrica de largo plazo debe considerar varios contextos plausibles y diseñar estrategias capaces de funcionar en más de uno. El uso combinado de escenarios exploratorios y backcasting mejora la calidad de la planificación porque obliga a los participantes a pensar tanto en

	incertidumbres externas como en las acciones concretas necesarias para alcanzar metas deseadas. El estudio también evidencia que las estrategias más robustas no son exclusivamente tecnológicas, sino que incluyen cambios de gobernanza, cooperación, educación, monitoreo, financiamiento y fortalecimiento institucional. La metodología participativa facilita el aprendizaje entre actores y permite transformar visiones abstractas de futuro en rutas concretas de acción, útiles para procesos de política y gestión del agua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar Orienta el diseño de estrategias robustas de gestión del agua frente a incertidumbre climática, social y económica. • Avalar Avala el uso combinado de escenarios exploratorios y backcasting como herramienta de planificación adaptativa. • Complementar Complementa estudios técnicos de gestión del agua incorporando la dimensión de incertidumbre profunda, participación y construcción de estrategias robustas. • Definir Define una metodología concreta para identificar: objetivos deseados; obstáculos y oportunidades; acciones; estrategias; y medidas robustas. • Contrapropuesta Propone superar enfoques de planificación lineales o basados en un solo futuro esperado, avanzando hacia una planificación flexible y multi-escenario. • Otros aportes Aporta una base metodológica muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente si se busca integrar: escenarios, participación de actores, adaptación, y evaluación de estrategias robustas en contextos inciertos.

Materiales más significantes:

Table 1 Scenario characteristics. For each exploratory scenario the importance of one of the eight subject categories is given: − is low importance, + some importance and ++ high importance

Subject category	Economy First	Policy Rules	Fortress Europe	Sustainability First
Legislative/ policy	−	++	++	+
	little, market controls	very important	important, needed to steer changes	mainly on local scale
Management	−	+	+	++
	little	some, to execute the policies	some, to execute the policies	large changes, moving from top-down to bottom-up
Economic	++	+	+	−
	much attention, driving force	some attention	some, to maintain stability	economy becomes less important
Social	−	+	−	++
	low importance	important	low importance	large social changes
Environmental	−	+	−	++
	low importance	important	low importance	very important
Research/ technologies	++	+	−	+
	much innovation	some	little	some
Cooperation	+	++	+	+
	mainly global	on all levels	within EU	within eco-regions

Ficha:38	TIPO **Lectura Especifica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Molinos-Senante, M., Muñoz, S., & Chamorro, A. (2019). *Journal of Environmental Management*, 247, 613–623. **Assessing the quality of service for drinking áter supplies in rural settings: A synthetic index approach.** Evaluación de la calidad del servicio de suministro de agua potable en entornos rurales: un enfoque basado en índices sintéticos.
Palabras claves:	• Calidad del servicio /Agua potable rural/Índice sintético /Servicios de agua /Sostenibilidad económica / Gestión técnica /Gestión administrativa.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 40. **Redacciones propias**	El artículo desarrolla una metodología innovadora para evaluar la calidad del servicio en sistemas rurales de agua potable (RDWSS), argumentando que la infraestructura por sí sola no garantiza un suministro seguro y continuo. Propone un índice sintético multicriterio, construido mediante AHP y complementado con simulaciones Monte Carlo para incorporar incertidumbre en la ponderación de indicadores. La metodología se aplicó a 40 sistemas rurales en Chile. El índice se organiza en dos factores principales (Service Basics y Service Management) este último subdividido en gestión administrativa y gestión técnica, evaluados a través de 14 indicadores que abarcan continuidad, calidad del agua, sostenibilidad económica, infraestructura, capacitación, entre otros. Del análisis realizado, se evidencia que el mejor desempeño se obtiene en sistemas más antiguos, cooperativas y sistemas de tamaño medio. Este índice es una herramienta útil para priorizar inversiones, identificar debilidades específicas y fortalecer la toma de decisiones en servicios rurales de agua potable. • “Citas Textuales”: 1. «En entornos rurales, la presencia de infraestructura de abastecimiento de agua no garantiza el acceso de la población a agua potable fiable y de alta calidad». 2. «Adoptamos un enfoque innovador para evaluar la calidad del servicio de los sistemas de abastecimiento de agua potable rurales (RDWSS) mediante el proceso de jerarquía analítica (AHP) y simulaciones de Monte Carlo».

	3. «La información proporcionada por el indicador sintético sería muy útil para apoyar a los responsables de la toma de decisiones a la hora de priorizar las inversiones en sistemas de abastecimiento de agua potable en entornos rurales». 4. «Ninguno de los sistemas evaluados obtuvo un índice sintético igual a 1,0». • Redacciones propias La evaluación de los sistemas rurales de agua potable no debe limitarse a verificar si existe infraestructura o no, sino que debe analizarse la calidad efectiva del servicio que reciben las personas. La calidad del servicio rural depende de múltiples dimensiones simultáneas, como la continuidad, la calidad del agua, la sostenibilidad económica, la capacidad técnica y la participación de la comunidad. Se evidencia que los métodos multicriterio permiten transformar un conjunto amplio de indicadores dispersos en un resultado único y comprensible, útil para comparar sistemas y orientar decisiones públicas. Este trabajo es entrega una herramienta concreta para identificar brechas, ordenar prioridades de inversión y evaluar de manera integral el desempeño de servicios rurales de agua potable.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: 11. Orientar Orienta el diseño de metodologías para evaluar la calidad del servicio en sistemas de agua potable rural mediante un enfoque integral. 12. Avalar Avala el uso de índices sintéticos multicriterio como herramienta útil para apoyar decisiones sobre inversión y mejora de los sistemas. 13. Complementar Complementa estudios sobre eficiencia del sistema de gestión del agua incorporando dimensiones de gestión administrativa, técnica, económica y comunitaria. 14. Definir Define un marco claro de evaluación compuesto por:factores, subfactores, indicadores, ponderaciones, y un índice final de calidad del servicio. 19. Contrapropuesta Propone superar evaluaciones parciales basadas en uno o dos indicadores, avanzando hacia una medición holística y multicriterio del desempeño de los sistemas rurales de agua potable. 16. Otros aportes Aporta una base metodológica muy útil para tesis sobre eficiencia del sistema de gestión del agua, especialmente si se busca construir o adaptar un índice compuesto de desempeño para comparar plantas, localidades o servicios.

Materiales más significantes:

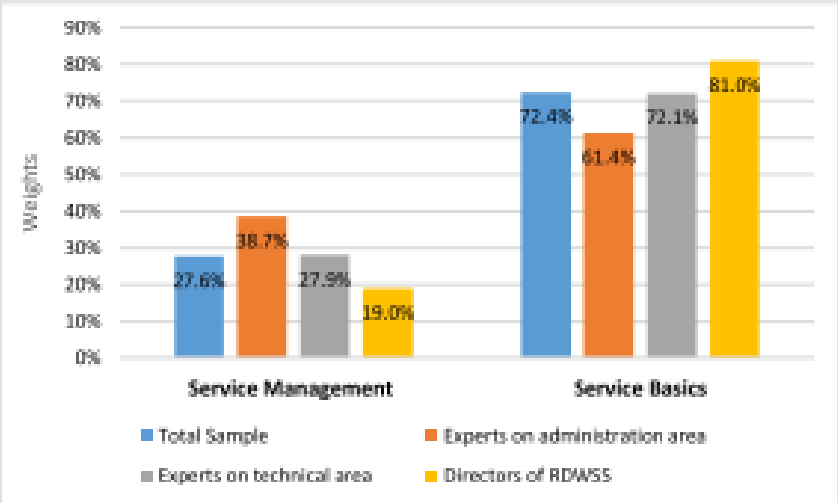


Fig. 1. Weights of factors allocated for each group of decision-makers.

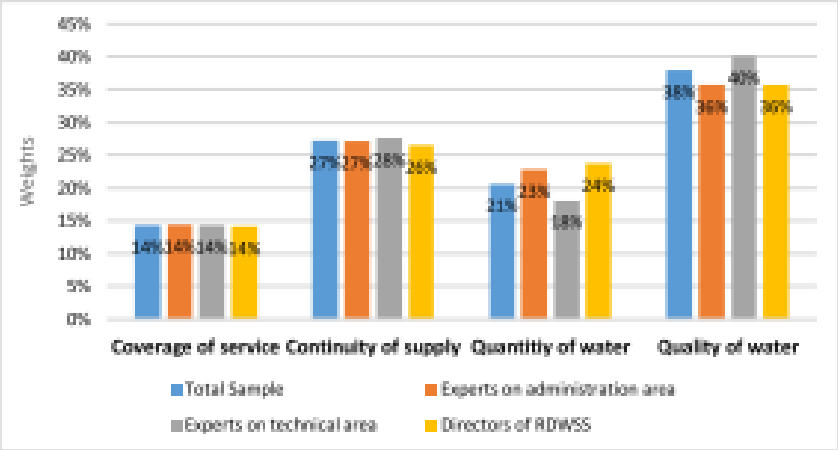


Fig. 2. Weights of indicators of service basics factor allocated for each group of decision-makers.

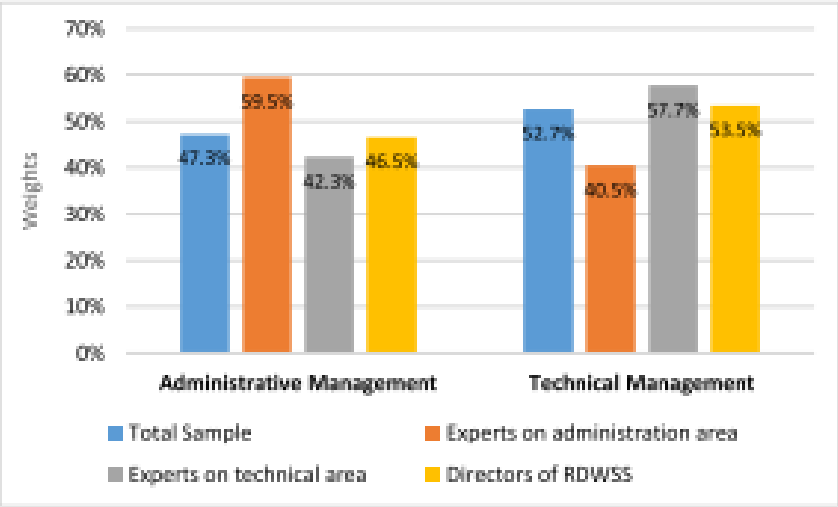


Fig. 3. Weights of sub-factors allocated for each group of decision-makers.

Ficha:39	TIPO **Lectura Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Vilarinho, H., Pereira, M. A., D'Inverno, G., Nóvoa, H., & Camanho, A. S. (2024). *Socio-Economic Planning Sciences, 92*, **Water Utility Service Quality Index: A customer-centred approach for assessing the quality of service in the water sector.** Índice de Calidad del Servicio de Agua: Un enfoque centrado en el cliente para evaluar la calidad del servicio en el sector del agua.
Palabras claves:	• Análisis de envolvente de datos (DEA)/ calidad del servicio/ evaluación comparativa; regulación del agua/ beneficio de la duda/ indicador compuesto/ Índice de calidad del servicio de servicios de agua (WUSQI)/ enfoque centrado en el cliente.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 41. **Redacciones propias**	El artículo presenta el Water Utility Service Quality Index (WUSQI) como una herramienta integral para evaluar la calidad del servicio que entregan las empresas de agua potable y saneamiento, enfocándose explícitamente en la experiencia del cliente. Este índice se construye sobre el marco del programa Utility of the Future (UoF) del Banco Mundial, que concibe la calidad del servicio a partir de cinco dimensiones clave: confiabilidad, seguridad, inclusividad, transparencia y capacidad de respuesta. Metodológicamente, el estudio combina dos enfoques complementarios. Por un lado, utiliza Data Envelopment Analysis bajo el esquema Benefit-of-the-Doubt (BoD) para asignar pesos a los indicadores de manera endógena, permitiendo que los datos revelen la importancia relativa de cada componente. Por otro lado, recurre al método Deck of Cards para construir la dimensión de transparencia, debido a que esta información no estaba disponible directamente en la base regulatoria. El índice se aplica a un conjunto de empresas mayoristas portuguesas de agua potable y aguas residuales, utilizando datos oficiales de ERSAR correspondientes al período 2016–2021. Esta aplicación empírica permite evaluar el desempeño comparado entre utilities y observar su evolución en el tiempo. Los resultados muestran que el WUSQI es una herramienta útil para diagnosticar brechas de desempeño, identificar áreas de fortaleza y debilidad, y apoyar procesos de mejora continua tanto en la gestión interna de las empresas como en la supervisión regulatoria del sector hídrico. • "Citas Textuales" • Perspectiva centrada en el cliente. • Confiable, seguro, inclusivo, transparente y receptivo.

	• Destacar áreas de mejora. • Redacciones propias: El artículo presenta el WUSQI, un índice compuesto que evalúa la calidad del servicio de empresas de agua y saneamiento desde la mirada del cliente. Basado en el marco Utility of the Future del Banco Mundial, integra cinco dimensiones: confiabilidad, seguridad, inclusividad, transparencia y capacidad de respuesta. La construcción del índice combina DEA–BoD para ponderar indicadores y el método Deck of Cards para completar la dimensión de transparencia. Aplicado a utilities mayoristas portuguesas (2016–2021), el WUSQI permite comparar desempeño, detectar brechas y orientar mejoras en la gestión y regulación del sector hídrico.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a: • Orientar: Entrega un marco metodológico claro para evaluar calidad de servicio en utilities de agua. • Avalar: Porque respalda el uso de indicadores compuestos y benchmarking regulatorio para analizar desempeño. • Complementar: Porque complementa evaluaciones técnicas, financieras o regulatorias con una mirada centrada en el usuario. • Definir: Porque delimita dimensiones concretas de calidad del servicio y sus métricas asociadas. • Contrapropuesta: Parcialmente, porque plantea una evaluación centrada en el cliente frente a enfoques más amplios basados solo en desempeño global o valor. • Otros aportes: Permite detectar áreas de mejora por empresa, comparar evolución temporal y apoyar decisiones tarifarias o regulatorias.

Materiales más significantes:

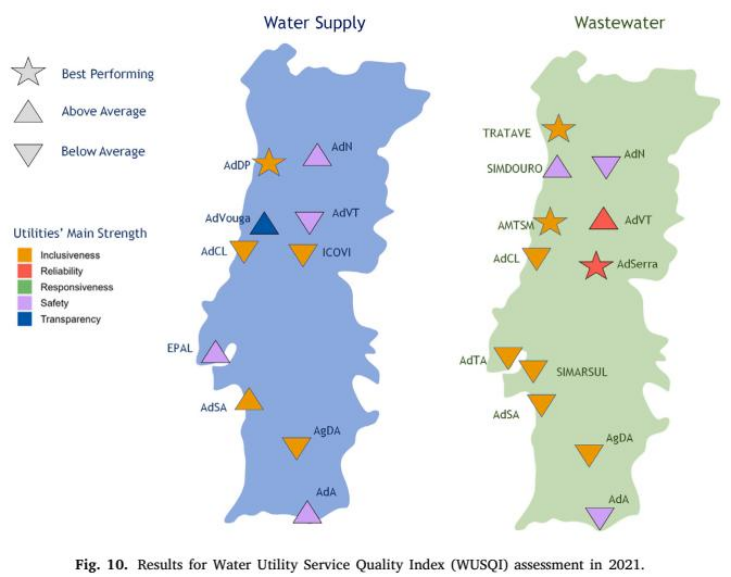
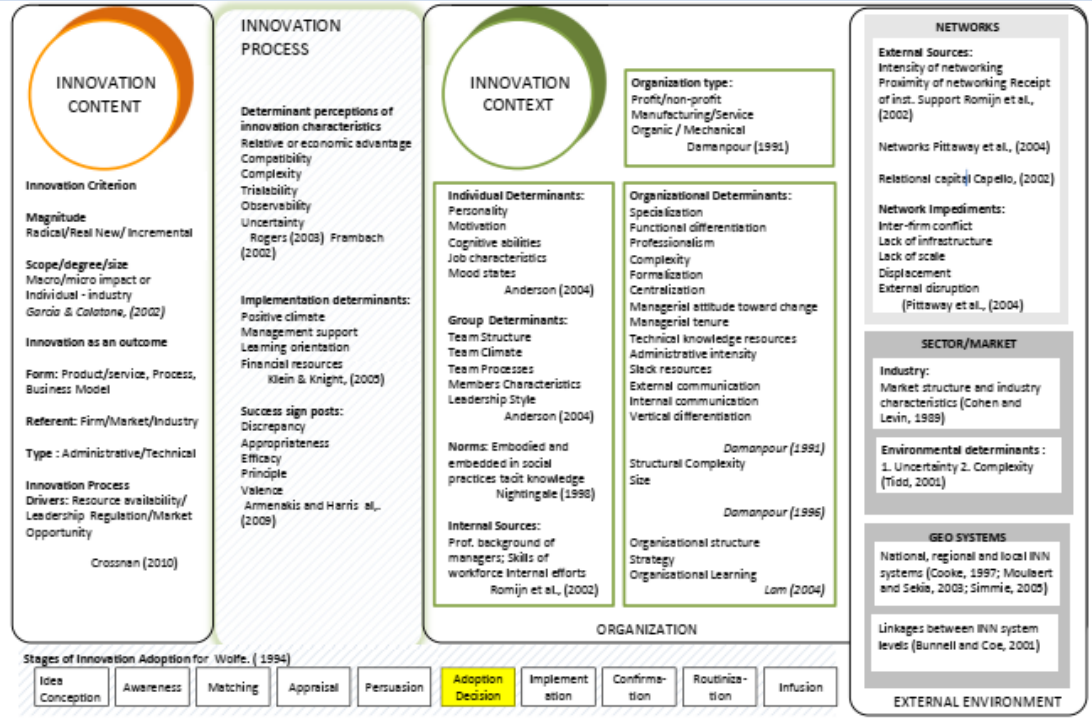


Fig. 10. Results for Water Utility Service Quality Index (WUSQI) assessment in 2021.

Ficha:40	TIPO **Lectura Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Tanner, A. S., McIntosh, B. S., Widdowson, D. C. C., & Tillotson, M. R. (2018). *Journal of Cleaner Production*, 171, S86–S96. **The water Utility Adoption Model (wUAM): Understanding influences of organisational and procedural innovation in a UK water utility.** El Modelo de Adopción de Soluciones para Empresas de Agua (wUAM): Comprender la influencia de la innovación organizativa y procedimental en una empresa de servicios de agua del Reino Unido.
Palabras claves:	• Innovación organizacional / Water utility / Adopción de innovación / Empresa sanitaria / Procesos de inversión en infraestructura / Sostenibilidad / Regulación / Riesgo organizacional /Capacidad de absorción / Toma de decisiones /Activos hídricos.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 42. **Redacciones propias**	Este artículo analiza cómo una gran empresa británica de agua y alcantarillado adopta innovaciones en sus procesos de inversión y entrega de infraestructura, identificando los factores que facilitan o dificultan su incorporación. A partir de un programa de investigación-acción de 30 meses dentro de la utility, los autores desarrollan el modelo wUAM, que organiza los impulsores y barreras en cuatro dominios: alineación con las características de la empresa, sincronía con eventos organizacionales, factores financieros y efectos sobre la prestación del servicio. El estudio muestra como la empresa tiende a adoptar innovaciones que se ajustan a la regulación, a su misión y estrategias, que ofrecen beneficios económicos claros y de corto plazo, y que implican bajo riesgo operativo. En contraste, las innovaciones más radicales o que requieren cambios culturales, estructurales o de capacidades enfrentan mayores resistencias. • “Citas textuales” 1. Los hallazgos sugieren que el desarrollo y la adopción de innovaciones en el proceso de inversión en activos tienden a favorecer las oportunidades que se alinean con la regulación, la misión institucional, las ventajas de costo, el riesgo percibido y la capacidad organizacional. 2. Integrar la sostenibilidad en la práctica dentro de una empresa de servicios de agua requerirá cambios no solo en la tecnología, la estructura y los procesos a escala organizacional, sino también en el comportamiento, la cultura, el conocimiento y las habilidades. 3. La investigación encontró que las narrativas sobre la adopción de innovaciones organizacionales se basaban comúnmente en los componentes

	asociados a las propiedades de la empresa, los eventos cronológicos, las finanzas y el impacto en el servicio. 4. Para WaSC, la selección y adopción de innovaciones organizacionales se limitó a aquellas que proporcionaban una clara ventaja de costo, que podía materializarse rápidamente y reconocerse de inmediato. • Redacciones propias La innovación en una empresa de agua no depende únicamente de disponer de nuevas ideas o tecnologías, sino de que esas ideas estén alineadas con la lógica institucional, financiera y operativa de la organización. Se evidencia que la adopción de innovaciones en utilities está fuertemente condicionada por el entorno regulatorio, los ciclos de inversión, la percepción de riesgo y la cultura interna de la empresa. Además se muestra, que existen innovaciones sostenibles que no se adoptan por entrar en conflicto con estrategias previas, con la distribución de responsabilidades o con la disponibilidad de conocimientos y recursos dentro de la organización. Desde una perspectiva de gestión, el principal aporte del artículo es que ofrece un modelo analítico para comprender por qué una utility acepta ciertas innovaciones y rechaza otras, lo que resulta especialmente útil para investigaciones sobre eficiencia, modernización institucional y mejora continua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	Aporte específico, con relación a : • Orientar Orienta el análisis de los factores organizacionales que influyen en la adopción de innovaciones dentro de empresas de agua. • Avalar Avala la idea de que la eficiencia del sistema de gestión del agua también depende de variables institucionales, financieras y culturales, no solo técnicas. • Complementar Complementa estudios técnicos del agua potable con una perspectiva de innovación organizacional, muy relevante para comprender la implementación real de mejoras o sistemas de gestión. • Definir Define dimensiones clave para estudiar la adopción de innovación en utilities, como: Liderazgo, estrategias, roles y responsabilidades, recursos y capacidades, eventos organizacionales, incentivos económicos, y riesgo sobre el servicio. • Contrapropuesta Propone superar una visión simplificada de la innovación como mera incorporación tecnológica, mostrando que el verdadero cambio requiere alineación entre estructura, cultura, recursos, regulación y narrativa organizacional.

	• Otros aportes Aporta un modelo transferible para analizar barreras y facilitadores de implementación de mejoras en sistemas de gestión del agua y modernización de procesos o gestión del desempeño.
Materiales más significantes:	 Fig. 1. Content and context determinants of organisational innovation process outcomes (adapted from Crossan and Apaydin (2010)).

Anexo 3: Preauditoria.

ISOConsulting
SOLUCIONES EN GESTION

AUDITORÍA INTERNA AL SISTEMA DE GESTIÓN DE INOCUIDAD DEL AGUA ISO 22000:2018 "AGUAS ANTOFAGASTA"

Srta. Aylin Menares T.
Auditora Lider

Santiago, 19 de Diciembre 2025

Fecha de Auditoria	Nombre del auditor líder	Equipo Auditor
15 y 16 de diciembre 2025	Aylin Menares T.	No Aplica
Objetivo de la auditoría	**Alcance de la auditoría**	**Criterio de la auditoría**
Evaluar la implementación de la norma ISO 22000:2018, en los procesos productivos del agua potable de las siguientes instalaciones: PFOH: Planta de Filtro O'Higgins y PD Taltal, Planta Desaladora de Taltal, ambas ubicadas en la Región de Antofagasta, comuna de Taltal.	Procesos de Potabilización de agua potable desde el ingreso de agua cruda hasta la salida a estanques finales previo a la red de distribución.	Norma de referencia: ISO 22000:2018

Resumen de hallazgos	Cantidad
No conformidades (NC)	7
Observaciones (Obs)	0
Oportunidades de Mejora (OM)	5

Principales fortalezas y debilidades:
Fortalezas: • Existencia de un sistema robusto de trazabilidad operativa y registro de datos de proceso, con envío sistemático de información a una plataforma central. • Implementación y operación efectiva de Programas de Prerrequisitos (PPR) asociados a higiene, control de residuos, control de insumos químicos y verificación instrumental. • Disponibilidad de diagramas de flujo de procesos por planta, con identificación preliminar de puntos de control. • Material visual y señalética operativa disponible en laboratorios y áreas críticas, que apoya la ejecución de controles. Debilidades: • Falta de integración formal de indicadores (KPIs) operativos dentro del Sistema de Gestión de Inocuidad Alimentaria. • Debilidades en la gestión documental y formalización de decisiones críticas del SGIA.

- Insuficiente claridad técnica y conceptual en la diferenciación entre PPR, PPRO y PCC, especialmente a nivel de responsables de proceso.
- Falencias en la gestión de desviaciones de PCC, particularmente en el registro de acciones correctivas y análisis de causa raíz.
- Falencias en la gestión de desviaciones de PCC, particularmente en el registro de acciones correctivas y análisis de causa raíz.

DESCRIPCIÓN DE LAS NO CONFORMIDADES

Hallazgo: NC, NCP, Obs, OM.	Requisito de la norma ISO 22000:2018.	Redacción del hallazgo.	Evidencia.
NC-01	Requisito ISO 22000:2018: Cláusula 6.2 – Objetivos del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua y planificación para lograrlos.	Redacción del hallazgo: No se evidenció que los objetivos del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua, se encuentren formalmente definidos, aprobados por la alta dirección y documentados con indicadores medibles, metas y responsables, conforme a lo establecido por la norma ISO 22000:2018.	Procedimiento de planificación de objetivos B-03-04-02-P-27 en estado de construcción. Política de Inocuidad B-03-PO-01, sin objetivos medibles explícitos. Ausencia de aprobación formal por gerencia y de indicadores integrados al SGIA
NC-02	Requisito ISO 22000:2018: Cláusula 8.5.4 – Control de peligros mediante PCC / Cláusula 8.9 – Control de no conformidades y acciones correctivas.	No se evidenció el registro formal de acciones correctivas ni el análisis de causa raíz asociado a la desviación del Punto Crítico de Control (PCC) de cloración ocurrida con fecha 02 de diciembre, correspondiente a niveles de arsénico fuera del criterio establecido en Planta	Registros operativos que indican arsénico = 9,9 ppb (02 de diciembre). Ausencia de registro de acción correctiva documentada y análisis de causa raíz. PCC identificado en etapa de cloración según Diagrama de Procesos PFOH B-03-04-02-P-14.10.
NC-03	Requisito ISO 22000:2018: Cláusula 8.5.2 – Análisis de peligros / Determinación de PCC y PPRO.	No se evidenció una definición clara, justificada y técnicamente sustentada de los Puntos Críticos de Control (PCC), ni una coherencia completa entre el análisis de peligros, los	Matriz de peligros PDTT y PFOH con debilidades en la justificación de PCC. Diagrama de Procesos PFOH B-03-04-02-P-14.10. Falta de claridad en la

		diagramas de flujo y las medidas de control establecidas, lo que dificulta la correcta gestión y control de los peligros significativos.	diferenciación entre PPR, PPRO y PCC durante entrevistas.
NC-04	Cláusula 4.3 – Determinación del alcance del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua	Alcance del SGIA: Se evidenció que el alcance del sistema, no se encuentra formalmente aprobado ni difundido.	Documento de contexto B-03-04-02-P-01.01.
NC-05	Cláusula 5.3 Roles, responsabilidades y autoridades en la organización Cláusula 7.2 Competencia	Se evidenció que el Comité de Inocuidad Alimentaria se encuentra desactualizada figurando en él una colaboradora desvinculada.	PPR-21 Acta Reunión Comité Inocuidad (SGIA).
NC-06	Cláusula 7.1.3 – Infraestructura Cláusula 8.2 – Programas de Prerrequisitos (PPR)	Durante el recorrido en planta se evidenciaron condiciones inadecuadas de higiene de recintos y mantenimiento de infraestructura, lo que podría afectar indirectamente la eficacia de los PPRO.	PPR-19 Inspección higiénico-sanitaria – Seguridad del personal operativo. PPR-22 Inspección de Recintos (Plantas AP).
NC-07	Cláusula 7.1.5 – Recursos para el seguimiento y la medición Cláusula 8.2 – Programas de Prerrequisitos (PPR)	No se pudo evidenciar la ejecución documentada del plan de mantenimiento preventivo en la planta PFOH, de bombas dosificadoras, lo que compromete la confiabilidad operativa de los equipos críticos asociados al control de los Programas de Prerrequisitos (PPR)	Plan de mantenimiento

Oportunidades de Mejora:

1) Reforzar la integración de indicadores operativos (KPIs) al SGIA, definiendo frecuencia, responsables y análisis de resultados.
2) Mejorar la estructura del análisis de peligros, diferenciando claramente entre procedimiento PPRO, PCC y justificación técnica de los PCC.
3) Implementar capacitación técnica específica en ISO 22000 sobre PPR, PPRO y PCC para responsables de proceso.
4) Fortalecer la gestión de verificación y validación de PPRO mediante registros sistemáticos.
5) Formalizar la identificación y análisis de riesgos estratégicos, complementando el enfoque de riesgos operativos.

Observaciones Adicionales:

El sistema presenta una base operativa sólida y un alto nivel de control técnico en proceso; sin embargo, se requiere fortalecer la integración sistémica, la formalización documental y la claridad conceptual para asegurar la madurez del SGIA conforme a ISO 22000:2018.

Siglas Utilizadas:

PPR: Programa de Prerequisitos
PPRO: Programa de Prerequisitos Operacionales
PCC: Punto Cristicos de Control
PFOH: Planta de Filtros O'Higgins
PDTT: Planta de Desaladora de Tal-Tal

Firma del Auditor Lider
Aylin Menares T.

Anexo 4: Objetivos SGIA 2026

aguas antofagasta Grupo epm	OBJETIVOS SGIA	B-03-04-02-P-03.01
Fecha Original 01-01-2023	N° Versión 0	Fecha Revisión: 20-01-2026	Página 1 de 1

N.	Proceso	Objetivo	Indicador	Tipo de indicador	Objetivo de la medición	Cáculo (KPI)	Meta	Frecuencia	Registro	Responsables
1	Evaluación del Desempeño (Auditorías)	Evaluar cuantitativamente el grado de cumplimiento de los requisitos del sistema de gestión mediante desempeño global por fase del ciclo : Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, con el fin de identificar brechas y priorizar las acciones de mejoras.	Índice de cumplimiento Normativo del Sistema de Gestión	Gestión / Control Interno	Evaluar el estado de cumplimiento del Sistema Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA) en cada recinto productivo AP, ante a las exigencias de la ISO 22000.	ICNSG= Ver tabla "Cálculo Evaluación del Desempeño, Tabla.01"	Nivel desempeño >=90%	Anual	Programa de Auditorías / Informes de Auditoría Interna	Líder del Equipo de Inocuidad /
2	Control de Procesos	Controlar la calidad del agua tratada en cada una de sus etapas, verificando el cumplimiento de los límites internos y los PCC del procesos	Índice de incumplimientos basado en los parámetros controlados en el proceso productivo en plantas de filtros como plantas desaladoras	Control Procesos	Verificar la continuidad y calidad de parámetros internos.medidos dentro del proceso productivo.	$KPI_2 = [\sum \frac{(n° Incumplimiento}{N° Controles Realizados}] * 100$	≥ 95%	Mensual	Informe mensual	Calidad / Operaciones
3	Mejora Continua	Asegurar la mejora continua del sistema de inocuidad	Eficacia de acciones de mejora	Gestión	Evaluar efectividad de acciones implementadas	(N° acciones eficaces / N° acciones cerradas) × 100	≥ 90%	Mensual	Planes de acción / NC	Calidad / Jefaturas
4	Gestión de Competencias y Cultura	Desarrollar y mantener el nivel de competencia y concientización en inocuidad de todo el personal con impacto en la producción.	Porcentaje de Cumplimiento del Plan Anual de Capacitación en Inocuidad.	Gestión / Desarrollo de Personas	Asegurar que el personal cuente con los conocimientos actualizados para prevenir riesgos microbiológicos o químicos	(No. de HHHH de capacitación ejecutadas / No. de HHHH programadas) x 100	≥ 95%	Semestral	Plan de Capacitación / Listas de asistencia y evaluaciones	Jefatura de Recursos Humanos / Coordinador de Inocuidad

Tabla.02

Interpretación de Resultados de la Evaluación Desempeño		
ICNSG (%)	**Nivel de Cumplimiento**	**Interpretación**
90 – 100%	Excelente	Cumplimiento alto, sin hallazgos críticos. Se recomienda mantener y mejorar el Sistema de Gestión.
75 – 89%	Adecuado	Cumplimiento adecuado, con hallazgos menores o medianos. Se requiere plan de acción correctivo antes de certificación.
60 – 74%	Regular	Cumplimiento regular. Existen no conformidades significativas que impiden certificación hasta corregir.
< 60%	Deficiente	cumplimiento Deficiente. Se recomienda asesoria externa para una revisión completa del sistema.

Anexo 5: Política SGIA

POLITICA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INOCUIDAD DEL AGUA POTABLE

B-03-PO-01

Aguas Antofagasta S.A se compromete en producir agua de calidad apta para el consumo humano. Para respaldar sus operaciones, la empresa ha implementado un Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua (SGIA), cuyo alcance es desde el ingreso de agua cruda a planta hasta la producción de agua potable; cumpliendo con los requisitos normativos establecidos en la NCh409/1:2005 y los requisitos de la norma ISO 22000:2018.

En la presente política la alta gerencia declara su compromiso con la inocuidad del agua potable producida en sus recintos productivos, bajo la cual todas las partes interesadas apoyan desde su competencia el cumplimiento de los siguientes objetivos:

1. Garantizar la disponibilidad de recursos para el logro de la eficiencia del Sistema de Gestión Inocuidad del Agua.

2. Mantener la eficacia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua, según la normativa ISO 22000:2018 implementada en la organización, en post de la mejora continua.

3. Formar al personal de la organización con el fin de comprometer la producción de agua potable segura y su familiarización con la información documentada del SGIA, comunicando interna y externamente a sus partes interesadas pertinentes.

4. Asegurar que se efectúe el control de los procesos bajo estándares internos y de acuerdo con lo establecido en la información documentada propia del Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua.

5. Velar por el cumplimiento de los requisitos normativos de la calidad del agua potable producida en cada una de sus plantas productivas.

Anexo 6: Diploma participación curso Interpretación y Análisis de la Norma ISO 22000: 2018



BUREAU VERITAS

DIPLOMA OTORGADO A

PAULA SABINA GARCES SAAVEDRA

Quién aprobó satisfactoriamente el curso

"INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LA NORMA ISO 22000 VERSIÓN 2018"

Realizado en modalidad ONLINE

Del 11 AL 15 DE MAYO DE 2026

Duración 16 horas cronológicas

Dennis Méndez Paletto
Sub-Gerente de Capacitación

Número Serie: **CL/BVCAP2026/C0640**

Nota: "Actividad de capacitación financiada, total o parcialmente, a través de la franquicia tributaria de capacitación, administrada por el Servicio Nacional de Capacitación y Empleo, Gobierno de Chile. Actividad no conducente al otorgamiento de un título o grado académico.

Anexo 7: Formulación Matemática Detallada del Modelo DEA-BCC - PDTT

Formulación Matemática Detallada del Modelo DEA-BCC

Evaluación de eficiencia relativa de calidad diaria - Planta Desaladora Taltal

Propósito del documento: presentar una formulación matemática completa y explicada del modelo DEA-BCC orientado a outputs aplicado a la evaluación de eficiencia relativa de calidad diaria de la Planta Desaladora Taltal. El documento está redactado para servir como anexo metodológico y apoyo a presentación técnica.

1. Contexto y alcance del modelo

El modelo propuesto se orienta a evaluar la eficiencia relativa diaria de la Planta Desaladora Taltal a partir de los datos disponibles de operación y calidad final del agua. En esta versión, el enfoque no busca estimar la eficiencia física completa de la etapa de ósmosis inversa, ya que no se consideran variables internas como presión de operación, energía específica, caudal de rechazo, permeado por tren, conductividad de alimentación o estado de membranas.

El alcance metodológico corresponde a un benchmarking relativo de calidad y desempeño operacional observado. En términos simples, el modelo compara cada día de operación contra los mejores días observados, considerando los recursos o condiciones de entrada disponibles y los resultados alcanzados en caudal tratado y calidad final del agua.

Interpretación correcta: la eficiencia DEA obtenida representa la distancia relativa de cada día respecto de una frontera eficiente construida con datos históricos observados. No representa una eficiencia absoluta de diseño, ni demuestra causalidad, ni calcula directamente dosis óptimas de operación.

2. Unidad de análisis: DMU

En DEA, cada unidad evaluada se denomina DMU, por sus siglas en inglés Decision Making Unit. Para este caso, se define:

DMU = un día de operación de la Planta Desaladora Taltal.

Esto significa que cada fila de la base corresponde a una observación diaria y será evaluada respecto de todas las demás observaciones diarias disponibles.

Elemento	Definición en el modelo
DMU	Día de operación
Inputs	Recursos o condiciones utilizadas por la planta
Outputs	Resultados deseados de calidad y desempeño
Eficiencia	Medida relativa respecto de los mejores días observados

3. Variables consideradas

El modelo utiliza variables promedio diarias. Las variables se clasifican en inputs y outputs según la lógica DEA: los inputs son magnitudes que, para un mismo nivel de resultados, se desea utilizar en menor cantidad; los outputs son resultados que, para un mismo nivel de recursos, se desea maximizar.

3.1 Inputs del modelo

Input	Descripción	Interpretación DEA
caudal_ingreso	Caudal promedio de ingreso a la planta o sistema observado.	Representa la magnitud de agua de entrada requerida para producir agua tratada. Si se incluye como input, el modelo favorece días que logran más salida con menor o igual ingreso.
hipoclorito_sodio_10	Dosificación o consumo promedio de hipoclorito de sodio al 10%.	Recurso químico asociado principalmente al control de cloro residual y desinfección.
floruro_sodio	Dosificación o consumo promedio de fluoruro de sodio.	Recurso químico asociado al ajuste del fluoruro en el agua final.
hidroxido_sodio	Dosificación o consumo promedio de hidróxido de sodio.	Recurso químico asociado al ajuste de pH o alcalinidad.

3.2 Outputs del modelo

Los parámetros de calidad no se incorporan directamente como outputs crudos, porque en DEA un output debe interpretarse como "más es mejor". Sin embargo, en calidad de agua esto no siempre ocurre: más turbiedad no es mejor, más SDT no es mejor, y variables como pH, cloro y fluoruro tienen rangos aceptables. Por esta razón se transforman en márgenes de cumplimiento.

Output DEA	Variable original asociada	Interpretación
caudal_tratado_ls_prom	Caudal tratado promedio	Mayor caudal tratado se interpreta como mejor desempeño productivo, si se mantiene la calidad.
margen_cloro	cloro_salida_prom	Mayor margen indica mejor ubicación dentro del rango de cloro definido.
margen_turbiedad	turbiedad_salida_prom	Mayor margen indica menor turbiedad respecto del límite máximo.
margen_ph	ph_salida_prom	Mayor margen indica mayor cercanía al centro del rango permitido de pH.

margen_fluoruro	fluoruro_salida_prom	Mayor margen indica mayor cercanía al rango objetivo de fluoruro.
margen_sdt	sdt_salida_prom	Mayor margen indica menor concentración de sólidos disueltos totales respecto del límite máximo.

4. Construcción de márgenes de cumplimiento

Los márgenes transforman mediciones de calidad en variables continuas compatibles con DEA. Su objetivo es que un valor más alto represente mejor desempeño. Se evita así el problema de usar variables binarias del tipo cumple/no cumple, las cuales pierden sensibilidad.

4.1 Parámetros con límite máximo

Para parámetros donde menor es mejor, como turbiedad o SDT, se usa una transformación del tipo:

margen_pj = (U_p - c_pj) / U_p

donde U_p es el límite máximo permitido y c_pj es el valor observado del parámetro p en la DMU j. Si el valor observado supera el límite, el margen se trunca en cero.

Caso	**Valor**	**Margen**	**Interpretación**
Muy favorable	Turbiedad = 0,2 con límite 2,0	(2,0 - 0,2) / 2,0 = 0,90	Alto margen de cumplimiento
Cercano al límite	Turbiedad = 1,8 con límite 2,0	(2,0 - 1,8) / 2,0 = 0,10	Bajo margen
Fuera de límite	Turbiedad = 2,5 con límite 2,0	Se trunca a 0	Incumplimiento o situación crítica

4.2 Parámetros con rango permitido

Para parámetros con rango, como pH, cloro residual o fluoruro, no basta con decir que más es mejor. Se define un valor objetivo como el punto medio del rango y se mide la cercanía al centro del rango:

objetivo_p = (L_p + U_p) / 2

semirango_p = (U_p - L_p) / 2

margen_pj = 1 - |c_pj - objetivo_p| / semirango_p

Si el valor cae fuera del rango, el margen puede ser negativo; por consistencia con DEA, se trunca en cero.

Parámetro	Rango	Valor observado	Margen conceptual
pH	6,5 a 8,5	7,5	Cercano al centro del rango; margen alto
Fluoruro	0,6 a 0,8	0,7	Valor objetivo; margen máximo
Cloro residual	0,2 a 2,0	2,3	Fuera de rango; margen cero

5. Formulación matemática del modelo DEA-BCC orientado a outputs

5.1 Conjuntos

Símbolo	Definición
J	Conjunto de DMU o días de operación observados.
I	Conjunto de inputs del modelo.
R	Conjunto de outputs del modelo.

5.2 Parámetros

Símbolo	Definición
x_ij	Valor del input i en la DMU j.
y_rj	Valor del output r en la DMU j.
x_io	Valor del input i en la DMU evaluada o.
y_ro	Valor del output r en la DMU evaluada o.

5.3 Variables de decisión

Variable	Definición
lambda_j	Peso asignado a la DMU j para construir el benchmark de la DMU evaluada.
phi_o	Factor de expansión proporcional de outputs para la DMU evaluada o.

5.4 Modelo matemático

Para cada DMU evaluada o, se resuelve el siguiente problema de programación lineal:

Maximizar phi_o

sujeto a:

Σ(j en J) lambda_j x_ij <= x_io para todo i en I

Σ(j en J) lambda_j y_rj >= phi_o y_ro para todo r en R

Σ(j en J) lambda_j = 1

lambda_j >= 0 para todo j en J

phi_o >= 0

6. Interpretación de las restricciones

6.1 Restricciones de inputs

La restricción de inputs establece que el benchmark construido por el modelo no puede utilizar más recursos que la DMU evaluada. Por ejemplo, si se evalúa un día específico, la combinación de días usada como referencia debe usar igual o menor caudal de ingreso y reactivos que ese día.

En términos simples: el modelo no permite comparar un día contra un benchmark que obtiene mejores resultados usando más recursos.

6.2 Restricciones de outputs

La restricción de outputs exige que el benchmark alcance al menos phi veces los outputs de la DMU evaluada. Como el modelo maximiza phi, busca cuánto podrían expandirse los resultados del día evaluado manteniendo los mismos inputs.

6.3 Restricción BCC

La restricción Σ lambda_j = 1 es la característica central del modelo BCC. Esta condición obliga a que el benchmark sea una combinación convexa de días observados, es decir, un promedio ponderado de días reales. Esto permite modelar rendimientos variables a escala y evita que el benchmark se construya mediante escalamiento artificial.

7. ¿Cómo se calcula phi?

Phi no se calcula mediante una fórmula directa. Phi es una variable de decisión que encuentra el solver al resolver el problema de programación lineal. Para cada DMU evaluada, el solver busca simultáneamente los valores de lambda_j y phi que cumplen todas las restricciones y maximizan el valor de phi.

El proceso conceptual es el siguiente:

10. Se selecciona una DMU objetivo, por ejemplo un día de operación.
11. El modelo considera todas las demás DMU observadas como posibles referencias.
12. Se crean pesos lambda_j para construir un benchmark ponderado.
13. El benchmark debe usar igual o menos inputs que la DMU evaluada.
14. El benchmark debe alcanzar al menos phi veces los outputs de la DMU evaluada.
15. El solver maximiza phi.
16. El resultado phi se transforma en eficiencia mediante 1/phi.

7.1 Ejemplo simplificado de phi

DMU	FeCl3	Margen calidad
Día A evaluado	4,0	0,80
Día B benchmark	4,0	1,00

El día B usa la misma cantidad de FeCl3 que el día A, pero obtiene mayor margen de calidad. La restricción de output es:

1,00 >= phi * 0,80

Por lo tanto: phi <= 1,25. Como el modelo maximiza phi, el resultado sería phi = 1,25.

La eficiencia del Día A sería:

Eficiencia = 1 / 1,25 = 0,80

Interpretación: el Día A alcanzó aproximadamente un 80% del desempeño relativo del benchmark observado.

8. Composición del benchmark y significado de lambdas

Cuando el resultado muestra peers o referencias, por ejemplo:

2025-08-20: 0,65; 2025-11-04: 0,35

significa que para evaluar la DMU objetivo el modelo construyó un benchmark compuesto por 65% del comportamiento del 20 de agosto y 35% del comportamiento del 4 de noviembre.

El modelo no compara de forma secuencial una DMU contra otra. Para cada DMU evaluada, considera todas las DMU al mismo tiempo. El solver decide cuáles usar y con qué peso. Normalmente la mayoría de lambdas queda en cero y sólo unas pocas DMU aparecen como peers relevantes.

8.1 Ejemplo conceptual de benchmark combinado

DMU	NaClO	Caudal tratado	Margen calidad
Día B	0,50	35	0,90
Día C	0,60	40	0,80
Benchmark 50%B + 50%C	0,55	37,5	0,85

El benchmark no necesariamente corresponde a un solo día real. Puede ser una combinación ponderada de días observados. Esto permite construir una referencia más flexible que capture mejores prácticas observadas en distintos días.

9. Cálculo e interpretación de la eficiencia

En un modelo orientado a outputs, la eficiencia se calcula como:

Eficiencia_o = 1 / phi_o

Phi	Eficiencia	Interpretación
1,00	1,00	La DMU está en la frontera eficiente.
1,10	0,91	Existe una referencia que permitiría expandir outputs en torno a 10%.
1,25	0,80	La DMU está más alejada de la frontera eficiente.

Una eficiencia igual a 1 no significa que el día sea perfecto en términos absolutos; significa que, dentro del conjunto de datos disponible, no se encontró una combinación de días que logre mejores resultados con iguales o menores inputs.

Una eficiencia menor a 1 no implica necesariamente incumplimiento normativo. Un día puede cumplir todos los parámetros, pero ser ineficiente si lo hace con menor margen de seguridad, menor caudal tratado o mayor uso relativo de reactivos.

10. Interpretación específica para la Planta Desaladora Taltal

Con las variables definidas, el modelo responde la siguiente pregunta operacional:

¿Qué tan eficiente fue cada día en transformar caudal de ingreso y reactivos utilizados en caudal tratado y calidad final del agua, comparado con los mejores días observados?

Si el modelo incluye caudal de ingreso como input y caudal tratado como output, captura indirectamente una noción de aprovechamiento hidráulico. Un día será favorecido si, para un caudal de ingreso similar o menor, logra mayor caudal tratado y mejores márgenes de calidad.

Si en una futura versión se desea hacer más explícito este concepto, se puede construir un output llamado rendimiento_hidraulico = caudal tratado / caudal ingreso, y evaluar la eficiencia con reactivos como inputs y rendimiento hidráulico más márgenes de calidad como outputs.

11. Diagnóstico complementario de calidad

Para que los resultados no se limiten al valor de eficiencia, se agregan indicadores de diagnóstico:

Indicador	Uso
parametros_fuera_rango	Indica qué parámetros estuvieron fuera del rango o límite definido.
parametro_mas_critico	Identifica el margen más bajo entre los parámetros de calidad.
margen_mas_critico	Muestra el valor del menor margen de calidad.
peers	Indica los días que componen el benchmark de referencia.

Estos diagnósticos permiten explicar por qué un día aparece como relativamente ineficiente. La ineficiencia puede deberse a baja calidad, bajo caudal tratado, alto uso de reactivos o una combinación de estos factores.

12. Análisis temporal de resultados

Una vez calculada la eficiencia diaria, los resultados pueden agregarse por mes o año para observar tendencias. Por ejemplo:

Eficiencia promedio anual = promedio de eficiencias diarias del año

Eficiencia promedio mensual = promedio de eficiencias diarias del mes

Este análisis permite revisar si la eficiencia relativa mejora, empeora o se mantiene estable a lo largo del tiempo. Sin embargo, una mejora temporal no demuestra causalidad por sí sola. Para evaluar impacto de inversiones o mejoras operacionales se requeriría un diseño cuasi experimental, como diferencia en diferencias o serie temporal interrumpida.

13. Alcances y limitaciones

Aspecto	Interpretación
Benchmarking relativo	La eficiencia se mide respecto de los días observados, no respecto de un óptimo físico absoluto.
No causalidad	El modelo no demuestra que una variable cause eficiencia o ineficiencia.
No optimización operacional	El modelo no entrega directamente dosis óptimas ni setpoints.
Dependencia de datos	Los resultados dependen de la calidad, consistencia y selección de inputs y outputs.
Frontera observada	La frontera eficiente se construye sólo con datos históricos disponibles.

14. Frase metodológica sugerida para presentación

Se propone un modelo DEA-BCC orientado a outputs para evaluar la eficiencia relativa diaria de la Planta Desaladora Taltal. El modelo compara el uso de caudal de ingreso y reactivos con los resultados obtenidos en caudal tratado y márgenes de calidad final del agua. La eficiencia calculada representa la distancia relativa de cada día respecto de una frontera eficiente construida con los mejores desempeños observados, permitiendo identificar días eficientes, días ineficientes y benchmarks internos para apoyar la gestión operacional.

15. Recomendaciones de uso

- Usar DMU diaria para el cálculo base, evitando usar mediciones intradía como DMU si generan demasiada carga computacional o ruido.
- Reportar resultados agregados por mes o año para análisis ejecutivo.
- Complementar la eficiencia DEA con diagnóstico de parámetros críticos.
- No interpretar la eficiencia como cumplimiento normativo absoluto.
- Utilizar los peers para investigar mejores prácticas operacionales observadas.
- En futuras versiones, incorporar energía, presión, recuperación, conductividad de entrada, permeado y rechazo para aproximar eficiencia propia de ósmosis inversa.

Documento metodológico preparado para análisis interno de eficiencia relativa mediante DEA-BCC.

Anexo 8: Formulación Matemática Detallada del Modelo DEA-BCC - PFOH

Formulación matemática del modelo DEA para benchmarking de eficiencia relativa

Aplicación conceptual a planta de filtro Ohiggins - cumplimiento de parámetros de calidad de agua

Este documento presenta una formulación matemática detallada para implementar un modelo DEA orientado a outputs, enfocado en comparar la eficiencia relativa de periodos operacionales de una planta de agua potable/desaladora. La formulación está pensada para ser implementada posteriormente en Python mediante PuLP.

- El modelo no busca determinar setpoints óptimos de operación.
- El objetivo es benchmarking relativo: identificar qué días operaron de forma más eficiente respecto de otros días observados.
- Los resultados permiten detectar periodos benchmark, brechas de eficiencia y posibles mejores prácticas operacionales.

1. Enfoque metodológico

El análisis envolvente de datos, o DEA por sus siglas en inglés, es una metodología no paramétrica de optimización lineal que permite evaluar la eficiencia relativa de unidades comparables. En este caso, cada unidad comparable corresponde a un periodo de operación de la planta.

La lógica general es la siguiente: una DMU será eficiente si no existe otra DMU, o combinación de DMU, que logre iguales o mejores resultados utilizando igual o menor cantidad de recursos.

Concepto	Aplicación en este caso
DMU	Cada día de operación, considerando que los datos ya vienen agregados como promedio diario.
Inputs	Variables que representan recursos utilizados o condiciones que se desea reducir.
Outputs	Variables que representan resultados deseables que se desea maximizar.
Frontera eficiente	Conjunto de días que representan las mejores combinaciones observadas de recursos y resultados.
Eficiencia relativa	Comparación de cada día contra la frontera construida con los demás días observados.

2. Definición de DMU

La unidad de análisis, o DMU, se define como un día de operación de la planta. Esta decisión es conveniente porque permite disponer de un mayor número de observaciones que la agregación mensual, manteniendo al mismo tiempo una frecuencia suficientemente estable para reducir el ruido propio de mediciones puntuales cada pocas horas.

Por ejemplo:

DMU	Interpretación
2025-01-01	Operación promedio del 1 de enero de 2025.
2025-01-02	Operación promedio del 2 de enero de 2025.
2025-01-03	Operación promedio del 3 de enero de 2025.

3. Variables consideradas

Para una primera versión del modelo, se recomienda utilizar pocas variables, bien medidas y operacionalmente interpretables. En DEA, incorporar demasiadas variables puede provocar que muchas DMU resulten artificialmente eficientes.

3.1 Inputs

Input	Notación	Interpretación
naclo_pre_mgl_prom	x_1j	Dosis promedio diaria de hipoclorito de sodio en pretratamiento, expresada en mg/L.
fecl3_mgl_prom	x_2j	Dosis promedio diaria de cloruro férrico, expresada en mg/L.
caudal_tratado_ls_prom		

Estos inputs representan recursos químicos utilizados en la operación. En el modelo, menores valores de input son preferibles, siempre que se mantengan o mejoren los outputs de desempeño.

3.2 Outputs

Output	Notación	Interpretación
caudal_tratado_ls_prom	y_1j	Caudal tratado promedio diario, expresado en L/s.
margen_cloro	y_2j	Margen de cumplimiento respecto al rango objetivo de cloro residual.
margen_arsenico	y_3j	Margen de cumplimiento respecto al límite máximo de arsénico.
margen_hierro	y_4j	Margen de cumplimiento respecto al límite máximo de hierro.
margen_turbiedad	y_5j	Margen de cumplimiento respecto al límite máximo de turbiedad.

Se recomienda utilizar márgenes continuos de cumplimiento en lugar de variables binarias de cumplimiento, ya que una variable binaria solo distingue entre cumple y no cumple, pero no diferencia qué tan lejos o cerca se encuentra una medición del límite normativo u operacional.

4. Construcción de márgenes de cumplimiento

Los márgenes de cumplimiento son variables derivadas. No vienen directamente en la base de datos; se calculan a partir de los valores promedio diarios y los límites definidos para cada parámetro.

4.1 Parámetros con límite máximo

Para parámetros como arsénico, hierro o turbiedad, donde se desea que el valor observado sea menor o igual a un límite máximo, se propone el siguiente margen:

```
margen_pj = (U_p - c_pj) / U_p
```

Donde:

- U_p: límite máximo permitido o criterio operacional del parámetro p.
- c_pj: valor observado promedio del parámetro p en la DMU j.
- margen_pj: margen relativo de cumplimiento del parámetro p en la DMU j.

Si el margen es cercano a 1, el desempeño está muy por debajo del límite y, por tanto, tiene holgura. Si el margen es cercano a 0, el parámetro está muy cerca del límite. Si el margen es negativo, existe incumplimiento; para efectos del DEA, se trunca en 0 para evitar outputs negativos.

Ejemplo	Valor observado	Límite	Margen
Hierro	0,03 mg/L	0,30 mg/L	(0,30 - 0,03) / 0,30 = 0,90
Hierro	0,29 mg/L	0,30 mg/L	(0,30 - 0,29) / 0,30 = 0,03
Hierro	0,35 mg/L	0,30 mg/L	Valor negativo; se trunca a 0

4.2 Parámetros con rango objetivo

Para parámetros con rango, como cloro residual, se propone medir la cercanía al centro del rango objetivo. Si el rango aceptable es [L_p, U_p], el objetivo central se define como:

```
objetivo_p = (L_p + U_p) / 2
radio_p = (U_p - L_p) / 2
```

El margen se calcula como:

```
margen_pj = 1 - |c_pj - objetivo_p| / radio_p
```

Luego, al igual que en los parámetros con límite máximo, los valores negativos se truncan en 0. Así, un valor dentro del rango y cercano al objetivo central obtiene un margen alto, mientras que un valor fuera del rango obtiene margen 0.

Caso	Cloro observado	Rango objetivo	Interpretación
Cercano al centro	2,20 mg/L	2,15 - 2,25 mg/L	Margen alto; desempeño deseable.
Cerca del límite	2,15 mg/L	2,15 - 2,25 mg/L	Margen bajo; cumple, pero con poca holgura.
Fuera de rango	2,10 mg/L	2,15 - 2,25 mg/L	Margen negativo; se trunca a 0.

5. Conjuntos del modelo

Conjunto	Descripción
J	Conjunto de DMU. Cada j en J representa un día de operación.
I	Conjunto de inputs considerados en el modelo.
R	Conjunto de outputs considerados en el modelo.

Ejemplo aplicado:

```
J = {2025-01-01, 2025-01-02, ..., 2025-12-31}
I = {NaClO pre, FeCl3}
R = {caudal tratado, margen cloro, margen arsénico, margen hierro, margen turbiedad}
```

6. Parámetros del modelo

Parámetro	Descripción
x_ij	Valor del input i utilizado por la DMU j.
y_rj	Valor del output r generado por la DMU j.
x_io	Valor del input i en la DMU evaluada o.
y_ro	Valor del output r en la DMU evaluada o.

La letra o representa la DMU que se está evaluando. El modelo DEA se resuelve una vez por cada DMU. Por ejemplo, si existen 365 días, se resuelven 365 problemas lineales independientes.

7. Variables de decisión

Variable	Descripción
lambda_j	Peso asignado a la DMU j para construir el benchmark de la DMU evaluada.
phi_o	Factor de expansión proporcional de los outputs de la DMU evaluada o.

Las variables lambda_j permiten construir una combinación ponderada de días observados. Esta combinación representa el benchmark contra el cual se compara la DMU evaluada.

8. Formulación DEA-BCC orientada a outputs

Para cada DMU evaluada o, se resuelve el siguiente problema de programación lineal:

```
Maximizar:
    phi_o
Sujeto a:
    sum_{j en J} lambda_j * x_ij <= x_io             para todo i en I
    sum_{j en J} lambda_j * y_rj >= phi_o * y_ro    para todo r en R
    sum_{j en J} lambda_j = 1
    lambda_j >= 0                                    para todo j en J
    phi_o >= 0
```

8.1 Función objetivo

La función objetivo maximiza phi_o. Este valor representa cuánto podrían expandirse proporcionalmente los outputs de la DMU evaluada manteniendo como referencia el mismo nivel de inputs o menos.

En términos simples, el modelo pregunta: dado el nivel de recursos utilizados por este día, ¿existe una combinación de otros días que logre mejores resultados? Si existe, phi_o será mayor que 1.

8.2 Restricciones de inputs

```
sum_{j en J} lambda_j * x_ij <= x_io    para todo i en I
```

Estas restricciones obligan a que el benchmark construido con otras DMU utilice una cantidad menor o igual de cada input que la DMU evaluada. Es decir, el día evaluado no puede ser comparado contra un benchmark que usa más recursos que él.

8.3 Restricciones de outputs

```
sum_{j en J} lambda_j * y_rj >= phi_o * y_ro    para todo r en R
```

Estas restricciones exigen que el benchmark genere al menos phi_o veces los outputs de la DMU evaluada. Al maximizar phi_o, el modelo busca cuánto pueden expandirse los resultados de la DMU evaluada respecto de la frontera eficiente.

8.4 Restricción BCC

```
sum_{j en J} lambda_j = 1
```

Esta restricción corresponde al modelo BCC, que asume rendimientos variables a escala. En términos prácticos, permite que las comparaciones sean más flexibles y realistas, ya que no obliga a que todos los periodos operen bajo rendimientos constantes.

9. Interpretación del resultado

Una vez resuelto el modelo para la DMU o, se obtiene un valor phi_o. La eficiencia relativa orientada a outputs se calcula como:

```
E_o = 1 / phi_o
```

Resultado	Interpretación
phi_o = 1 y E_o = 1	La DMU es eficiente. Está en la frontera eficiente.
phi_o > 1 y E_o < 1	La DMU es ineficiente. Existen otras DMU, o combinaciones de DMU, que logran mejores resultados con igual o menor uso de inputs.
E_o = 0,80	La DMU alcanza el 80% de eficiencia relativa respecto de la frontera. Equivale a decir que podría expandir sus outputs en un 25%, ya que phi_o = 1 / 0,80 = 1,25.

10. Interpretación de los peers

Además del score de eficiencia, el modelo entrega los valores lambda_j positivos. Estos indican qué DMU conforman el benchmark de la DMU evaluada.

Ejemplo de peer	Valor lambda	Interpretación
2025-01-05	0,60	El 60% del benchmark proviene del comportamiento observado en ese día.
2025-01-12	0,40	El 40% del benchmark proviene del comportamiento observado en ese día.

Esto permite identificar días de referencia y luego revisar operacionalmente qué ocurrió en esos periodos: dosis química, caudal, calidad de salida, lavados, estabilidad de proceso u otras condiciones relevantes.

11. Relación con PuLP

En PuLP, cada vez que se evalúa una DMU se crea un problema lineal independiente. Las variables lambda_j y phi_o se declaran como variables continuas no negativas. La función objetivo corresponde a maximizar phi_o.

```
modelo = pulp.LpProblem(name="DEA_BCC_Output", sense=pulp.LpMaximize)
phi = pulp.LpVariable("phi", lowBound=0)
lambdas = {j: pulp.LpVariable(f"lambda_{j}", lowBound=0) for j in dmus}
modelo += phi
```

Las restricciones de inputs y outputs se implementan recorriendo las listas input_cols y output_cols. Por eso es importante que los nombres de las columnas del DataFrame coincidan exactamente con los definidos en el código.

12. Consideraciones metodológicas

- DEA mide eficiencia relativa, no eficiencia absoluta. Un día eficiente solo lo es respecto de los días incluidos en la base.
- El modelo no estima una función y = f(x). No explica causalidad ni determina setpoints óptimos de operación.
- El modelo es sensible a la selección de inputs y outputs. Incorporar demasiadas variables puede reducir la capacidad discriminante.
- No se deben reemplazar datos faltantes por cero, salvo que el cero represente realmente una medición operacional válida.
- Los márgenes continuos son preferibles a variables binarias de cumplimiento porque entregan mayor sensibilidad al modelo.
- Los resultados deben interpretarse junto con conocimiento operacional de la planta.

13. Propuesta de lectura ejecutiva

Una forma adecuada de comunicar el resultado del modelo sería:

> *"El modelo DEA-BCC orientado a outputs permite comparar la eficiencia relativa diaria de la planta, considerando el uso de insumos químicos y los resultados asociados a caudal tratado y márgenes de cumplimiento de parámetros de calidad. Los días eficientes conforman una frontera empírica de mejores prácticas observadas, mientras que los días ineficientes presentan oportunidades de análisis operacional respecto de sus peers o días benchmark."*

14. Variables recomendadas para visualización

Visualización	Objetivo
Serie temporal de eficiencia DEA	Identificar estabilidad, caídas de desempeño y periodos eficientes.
Ranking de DMU eficientes	Mostrar los mejores días operacionales observados.
Scatter FeCl3 vs eficiencia	Explorar si existen zonas de dosificación asociadas a mejor desempeño relativo.
Scatter NaClO vs eficiencia	Explorar la relación entre dosificación de hipoclorito y eficiencia relativa.
Tabla de peers	Identificar los días benchmark utilizados para evaluar cada DMU ineficiente.

15. Síntesis final

La formulación propuesta permite implementar un modelo DEA-BCC orientado a outputs para benchmarking diario de eficiencia relativa. La función objetivo maximiza el factor phi_o, que representa la expansión proporcional posible de los outputs de una DMU, dado su nivel de inputs. La eficiencia se calcula como 1 / phi_o. El modelo no reemplaza un modelo de optimización operacional, pero constituye una etapa inicial sólida para identificar mejores periodos observados, construir benchmarks internos y orientar análisis posteriores de causalidad u optimización.

Anexo 9: Plan de Seguridad del Agua

1. OBJETIVO/PROPÓSITO

El objetivo de este documento es establecer, estructurar y estandarizar el Plan de Seguridad del Agua (PSA) bajo un enfoque integral de evaluación y gestión de riesgos. Esto garantiza de forma continua la producción y el suministro de agua potable inocua y de calidad desde la captación en las fuentes de abastecimiento hasta la entrega en los estanques de almacenamiento de distribución (TK O'Higgins y TK Barazarte), asegurando el estricto cumplimiento de la normativa sanitaria vigente para agua Potable (Norma Chilena NCh 409/1 Of.2005.).

2. ALCANCE

Este procedimiento es de aplicación obligatoria para todas las actividades operacionales, de mantenimiento, de prevención de riesgos y de control de calidad operacional ejecutadas en:

2.1 **Planta de Filtros O'Higgins (PFOH):** Desde la captación de agua subterránea (Pozos Aguas Verdes[1]) con un caudal nominal total de 30 L/s, pasando por los procesos inyección de insumos químicos, coagulación en filtro (oxidación) y filtración, hasta su almacenamiento en el Estanque de AP TK O'Higgins.

2.2 **Planta Desaladora Taltal (PDTT):** Desde la captación de agua salobre (Pozos 1 y 2), pasando por las etapas de pretratamiento, filtración por membranas de ósmosis inversa con un caudal de producción entre 12 a 14 L/s, post-tratamiento de remineralización y estabilización, hasta su entrega en el Estanque de Almacenamiento Barazarte.

El alcance incluye a todo el personal de operaciones, supervisores, personal interno, externo y empresas contratistas de Aguas Antofagasta.

3. RESPONSABLES DEL DOCUMENTO

El departamento de producción y la Unidad Control Calidad de Aguas son responsables de hacer efectivo, auditar, validar y mantener actualizado este documento.

[1] Sistema Agua verde: Pozos AV-48, 834, 844, 845, 846 y 868

4. DOCUMENTOS RELACIONADOS

- Norma Chilena NCh409/1 Of.2005.: Agua potable – Requisitos y métodos de muestreo y análisis.
- Manual de Operación y Mantenimiento – Planta de Filtros O'Higgins.
- Manual de Operación y Mantenimiento – Planta Desaladora Taltal.
- Flujo Procesos Planta De Tratamiento De Agua Potable PDTT (B-03-04-02-P-14.10.1)
- Flujo Procesos Planta De Tratamiento De Agua Potable PFOH (B-03-04-02-P-14.10.2)
- Procedimientos de Seguridad Operacional – Unidad de Prevención de Riesgos.
- *Safe Drinking-water from Desalination*, World Health Organization (WHO/HSE/WSH/11.03) – Guías de la OMS para la Calidad del Agua Potable.
- Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua, Guías de la OMS para la calidad del agua potable, tercera edición, 2004
- Planes de Seguridad del Agua Una Estrategia Mundial, Marlies Sepúlveda Sandoval División de Políticas Públicas Saludables y Promoción Subsecretaría de Salud PúblicaSantiago de Chile, julio 2018.

5. DEFINICIONES

- PSA (Plan de Seguridad del Agua): Planteamiento integral de evaluación y gestión de riesgos que abarca todas las etapas del sistema de abastecimiento para garantizar la inocuidad, calidad y continuidad del agua de consumo humano.
- PCC (Punto Crítico de Control): Etapa o punto del proceso donde se aplican medidas de control operacionales esenciales para prevenir, eliminar o reducir un peligro grave para la seguridad del agua a niveles aceptables.
- SGIA: Sistema de Gestión de Inocuidad del Agua Potable basado en la ISO ISO 22000:2018.
- Ósmosis Inversa (OI): Proceso de separación por membranas semipermeables de alta presión utilizado para desalinizar el agua quitando la carga salina (Sólidos disueltos).
- Carbonatación/Remineralización: Proceso de acondicionamiento químico anterior a la desinfección y posterior a la filtración por OI, diseñado para añadir minerales esenciales (calcio/magnesio) y ajustar el pH/alcalinidad, evitando que el agua sea agresiva o corrosiva para la infraestructura.

6. ACTIVIDADES

Las plantas operan bajo esquemas continuos de tratamiento específicos según la naturaleza de su agua cruda. La PFOH remueve altas concentraciones de metaloides (Arsénico natural) mediante procesos físico-químicos, mientras que la PDTT remueve la carga salina extrema (>45.000 µS/cm de conductividad) mediante barreras de filtración y membranas de osmosis inversa.

6.1 Control de Calidad en Fuentes de Abastecimiento e ingreso de Planta.

1. **Responsable(s):** Jefatura Planta / Personal de Planta / Unidad de Captación.
2. **Operación en sistema Agua Verde:** Monitoreo de los pozos: AV48, 844, 834, 845, 846, 868, del sistema de Agua Verde para asegurar la entrega a PFOH de 30 L/s. Muestreo obligatorio en el ingreso con frecuencia cada 4 horas para evaluar principalmente turbiedad.
3. **Operación en PFOH:** Monitoreo del agua Cruda c/2 hrs. para pH, temperatura, turbiedad y conductividad, Arsénico total c/12 hrs. y medición de la presión hidráulica en la aducción (manómetro) c/2 hrs (aducción al interior de la planta).
4. **Operación en PDTT:** Monitoreo de agua salobre de los pozos 1 y 2, Estanque de agua cruda-mezcla cada 2 hrs, para medición de pH, C.E, Turbiedad y Temp.

6.2 Proceso de Tratamiento y Filtración.

1. **Responsable(s):** Jefatura Planta / Supervisor de Planta / Operador de Turno.
2. **Operación en PFOH:** Adición de coadyuvantes químicos en la zona de mezcla (Dosificación óptima de Cloruro Férrico al 42% p/p utilizado para la co-precipitación del arsénico y remoción de turbiedad, e Hipoclorito de Sodio NaClO al ~10% p/p para la oxidación del arsenito a arseniato sólo en el caso de presencia de As^{+3}). Conducción del flujo hacia la Batería de Filtros 1 y 2 (15 L/s cada uno. Muestreo operacional cada 4 horas en la entrada de los filtros para medición de Hierro, Cloro Libre, temperatura, turbiedad. Lavado de filtros programado de acuerdo con la pérdida de carga o por elevada turbiedad/hierro, derivando el lodo del lavado a los espesadores de lodo (2 unidades), luego el sobrenadante de la decantación se redirige a retorno cabecera de la planta y la purga de lodos al alcantarillado.
3. **Operación en PDTT:** Impulsión del agua cruda desde los respectivos estanques pasando secuencialmente por la filtración multimedia (muestreo c/2 hrs de pH, C.E., Turbiedad, Temp.) y posterior filtración por cartuchos (muestreo diario del Índice de Suciedad o SDI). Inyección en la línea de desincrustante químico (Metabisulfito de Sodio) para proteger las membranas antes del ingreso al módulo de Ósmosis Inversa.

Separación física del flujo en Agua de Rechazo (retorno al mar) y agua permeada desmineralizada.

6.3 Proceso de Post-Tratamiento, Re-mineralización, Desinfección, Punto Crítico de Control (PCC).

1. **Responsable(s)**: Jefatura Planta / Supervisor de Planta / Operador de Turno.
2. **Operación en PFOH**: Adición de NaClO (~10% p/p) en la línea de agua filtrada para la desinfección final con un cloro libre en dosis adecuada para un residual que cumpla con la normativa NCh409/1 Of.2005. En esta etapa del proceso se deberán monitorear los siguientes parámetros de calidad: pH, Turbiedad, Cloro Libre, Arsénico Total y Temperatura.
3. **Operación en PDTT**: El agua permeada, por recomendación estricta de la OMS debido a su baja mineralización y alta agresividad corrosiva, es conducida al sistema de postratamiento químico obligatorio. Se aplica dosificación en la línea para su carbonatación (alcalinidad Ec.01) con CO_2 y posterior paso por reactores de mineralización con calcita (Piedra Caliza) para el aporte mayoritariamente de iones de calcio (Ec.02)., estabilizando el Índice de Langelier (muestreo 3 veces por semana para IL, ver anexo.04). Posteriormente, en la línea se adiciona una dosis adecuada de NaClO (~10% p/p) para obtener una concentración de cloro libre residual que cumpla con la normativa NCh409-1:2005, Fluoruro de Sodio (NaF) para fluoración, e Hidróxido de sodio (NaOH al 50%) para el ajuste final de pH. El muestreo del agua tratada es realizado cada 2 horas analizando los siguientes parámetros de calidad: pH, C.E., Turbiedad, Cloro Libre, Fluoruro, y Temperatura.

   Ecuación que describe el proceso de carbonatación y mineralización en agua potable en plantas de osmosis inversa:

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^- \quad \text{Ec.01}$$

$$CaCO_{3(s)} + H_2CO_3 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2\,HCO_3^- \quad \text{Ec.02}$$

6.4 Almacenamiento de Agua Potable.

1. **Responsable(s):** Jefatura Planta / Supervisor de Planta / Operador de Turno.
2. **En PFOH (TK O'Higgins):** El agua tratada almacenada en esta unidad es monitoreada según plan de monitoreo establecido por la jefatura y unidad de calidad de aguas, asegurando que los parámetros de calidad cumplan con los requisitos normativos establecidos en la NCh409-1:2005. La frecuencia del monitoreo a la salida del estaque

es cada 4 horas, obteniendo resultados de los siguientes parámetros de calidad: pH, Turbiedad, Cloro Libre, Arsénico, y Temperatura. En caso de valores de calidad fuera de los rangos establecidos la jefatura de planta en conjunto con supervisor de turno establecerá la frecuencia de monitoreo y llevar un seguimiento estricto de los resultados informando a las áreas relacionadas con la calidad e inocuidad del agua suministrada a la red de AP.

3. **En PDTT (TK Barazarte):** El agua tratada es impulsada al TK Barazarte en donde la salida se monitorea cada 12 horas, verificando las analíticas de inocuidad y calidad: Turbiedad, pH, conductividad eléctrica, fluoruro, cloro libre residual y temperatura. En caso de valores de calidad fuera de los rangos establecidos la jefatura de planta en conjunto con supervisor de turno establecerá la frecuencia de monitoreo y llevar un seguimiento estricto de los resultados informando a las áreas relacionadas con la calidad e inocuidad del agua suministrada a la red de AP.

7. DIAGRAMA DE FLUJO

Los diagramas de flujo representan visualmente, el paso a paso, la secuencia de etapas y decisiones de un proceso como las líneas de dosificación o etapas de operación, frecuencias de muestreo y la ubicación exacta de o los puntos críticos de control (PCC) los que se encuentran identificados bajo los diagramas de procesos adjuntos en este documento bajo los códigos:

1) **Planta de Filtros O´Higgins:** Diagrama de Flujo Img.01 FP-01-PFOH (ver anexo.01).
2) **Planta Desalación Taltal:** Diagrama de Flujo Img.01 FP-01-PDTT (ver anexo 02)

8. PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA

Descripción de la emergencia: Desviación crítica de parámetros calidad e inocuidad en punto crítico de control (PCC) (Ej: Alto nivel de arsénico en PFOH o desinfección deficiente en PDTT)

8.1 Detección y rectificación Inmediata de la calidad e inocuidad del caudal tratado**.**

1. **Responsable**: Supervisor/Operador de turno de la planta afectada.
2. Ante una alerta en el PCC que indique niveles fuera de especificación, por ejemplo, arsénico ≥ 10 ppb en la salida de PFOH o un aumento súbito de la conductividad

eléctrica (> 1365 µS/cm) o pérdida de cloro libre en la PDTT, se procederá a la rectificación inmediata del agua tratada que se impulsa hacia los estanques de almacenamiento (TK O'Higgins / TK Barazarte). Se deberá calcular su volumen del agua fuera de especificación para estimar el impacto en la red de distribución. Toda anomalía del sistema debe ser registrada para posterior revisión de o los responsables de supervisar la calidad e inocuidad u operación del sistema afectado.

3. Para el caso de la PFOH con turbiedades mayor a 50 UNT en agua cruda, se deberá evaluar by-pass del agua de ingreso hasta registrar turbiedades por debajo de este valor. Para ambas plantas se procederá a la verificación e inspección física de los sistemas de dosificación química (verificación de bombas dosificadoras de $FeCl_3$, Cloro, Fluoruro, Ajuste de pH, desincrustante) y la integridad física y operativa de los sistemas de Filtración.
4. Realizar muestreo y analizar aquellos parámetros fuera de especificación en un plazo no mayor a 30 minutos para confirmar la raíz de la desviación.
5. Dependiendo de la gravedad o situación de emergencia, se deberá coordinar con servicio de muestreo licitado por la compañía para la toma de muestras microbiológicas en estanques o en sistemas de distribución (en caso de que el agua Potencialmente No inocua haya sido distribuida) las que deberán ser transportadas cuanto antes al laboratorio central de ADASA (UCCA) para su análisis.
6. No se reanudará la producción al sistema de aquella(s) unidad(es) que presente niveles fuera de especificación en parámetros críticos como turbiedad, cloro libre, arsénico total, etc.
7. Antes de reanudar la producción de agua tratada inocua y de calidad, el operador o supervisor de la planta afectada deberá asegurar el valor del parámetro anómalo después de 3 muestreos consecutivos en el PCC cada 10 minutos y que validen el cumplimiento estricto de los parámetros operacionales de la NCh409/1 Of.2005 y la normativa de inocuidad (ISO 22000:2018).

8.2 Activación del Comité de Emergencia y Evaluación de Ocurrencias.

1. **Responsable**: Jefe de Planta / Agente Zonal / Personal del área de calidad de aguas.
2. Notificar formalmente al departamento de producción, al comité del sistema de inocuidad del agua y al personal de operaciones sobre el estado de las plantas una vez informada la emergencia o desviación mayor de la calidad e inocuidad del agua tratada.
3. El Departamento de producción deberá emitir un informe sobre la ocurrencia producida y que derivó en la activación del comité de emergencia.

9. EVALUACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS

9.1 Matriz de Riesgo (Plan de seguridad del Agua)

#	Planta / Recinto	Etapa	Tipo de peligro	Evento peligroso	Causa	Probabilidad	Severidad	Magnitud de Riesgo	Clasificación De Riesgo	Consecuencia / Impacto
1	Agua Verde	Fuente "Agua Verde" (6 pozos)	Químico - Arsénico	Concentración de As entre 60 a 90 ppb	Origen geológico / hidrogeoquímico de los acuíferos	2	4	8	Importante	Falla etapa de coagulación y remoción se incrementa concentración de As total en Agua tratada
2	Agua Verde	Aducción ~ 65 km	Físico / Microbiológico	Rotura de cañería	Antigüedad, presión, movimientos de terreno, intervención de terceros	1	4	4	Moderado	Alza brusca de turbiedad, posible ingreso de contaminantes externos, pérdida de presión y caudal
3	PFOH	Ingreso PFOH - Inyección coagulante ($FeCl_3$)	Operacional / Químico	Subdosificación o sobredosificación de $FeCl_3$	Falla de bomba dosificadora, alta turbiedad de entrada (especialmente tras rotura de aducción)	1	4	4	Moderado	Impacto directo en remoción de As y turbiedad final
4	PFOH	Ingreso PFOH - Pre-cloración	Químico / Microbiológico	Subdosificación de NaClO	Falla de dosificación	1	4	4	Moderado	Afecta oxidación de As(+3) que no interacciona con $FeCl_3$ provocando exceso de As total en agua tratada
5	PFOH	Filtros arena-antracita (6 filtros)	Físico / Microbiológico	Colmatación, rotura de lecho filtrante	Falta de retro lavado oportuno, sobrecarga hidráulica por aumento de turbiedad de entrada	1	4	4	Moderado	Alza de turbiedad, As y microorganismos hacia la post-cloración
6	PFOH	Post-cloración (unión de ductos)	Químico / Microbiológico	Cloro residual fuera del rango	Dosificación incorrecta, Falla bomba de dosificación, variación de la demanda de cloro por carga orgánica o Fe residual	2	4	8	Importante	Subdosificación: riesgo microbiológico; Sobredosificación: Fuerte Olor a Cloro subproductos de desinfección y rechazo organoléptico
7	PFOH	TK O'Higgins (3.200 m3)	Microbiológico / Físico	Recrecimiento microbiano, demanda de cloro residual, ingreso de contaminantes	Tiempo de retención prolongado, temperatura, falta de mantenimiento	1	4	4	Moderado	Proliferación de Microorganismos y reducción de cloro libre
8	PDTT	Fuente PDTT (Pozo-1, Pozo-2, Noria)	Físico / Químico	Variabilidad de calidad de agua cruda por mezcla diferencial entre módulos	Operación de módulos con o sin mezcla de fuentes, sin estandarizar	1	2	2	Aceptable	Proceso se controla posteriormente

#	Planta / Recinto	Etapa	Tipo de peligro	Evento peligroso	Causa	Probabilidad	Severidad	Magnitud de Riesgo	Clasificación De Riesgo	Consecuencia / Impacto
9	PDTT	Estanques de agua cruda	Microbiológico	Crecimiento biológico, sedimentación	Tiempo de residencia, falta de limpieza periódica	1	2	2	Aceptable	Calidad el agua cruda "buena". Tiempo de retención mínimo.
10	PDTT	Filtros multimedia / cartucho	Físico	Colmatación, fuga de partículas hacia membranas	Falta de cambio oportuno de cartuchos	1	4	4	Moderado	Fouling bacteriológico en membranas de OI. Carrera de filtración reducida en tiempo y calidad efluente.
11	PDTT	Membranas OI (3 módulos, 2 en operación)	Microbiológico / Químico	Pérdida de integridad de membrana (rotura o fuga de sello)	Desgaste, presión excesiva, fouling	1	4	4	Moderado	Paso de patógenos y sales (Anexo 2, OMS WHO/HSE/WSH/11.03), Posible Agua Potencialmente No Inocua (APN) incumplimiento calidad según NCh 409/1 Of.2005.
12	PDTT	Módulo OI en stand by	Microbiológico	Estancamiento, formación de biofilm en módulo detenido	Inactividad prolongada sin protocolo de mantenimiento	1	1	1	Trivial	módulos son continuamente utilizados (por tuno).
13	PDTT	Carbonatación CO_2 + Reactores de Calcita	Químico	Dosificación incorrecta de CO_2 o calcita	Falla de control, variabilidad del agua tratada por OI, falta de insumo químico	2	2	4	Moderado	Generación de agua agresiva no estabilizada lo que genera corrosión en el sistema de distribución.
14	PDTT	Estanque post-tratamiento (NaClO, NaF, NaOH)	Químico	Sobre o sub-dosificación de flúor, cloro o pH fuera de rango	Falla de dosis de insumos químicos o falla de bombas de dosificación (descalibración de bbas.)	2	4	8	Importante	Agua Potencialmente Corrosiva concentración de calcio o alcalinidad deficiente este último provoca desplome de pH.
15	PDTT	Bombeo a TK Barazarte	Físico / Operacional	Falla de bombas de impulsión, contaminación en puntos de transferencia	Falla mecánica, falta de hermeticidad	1	4	4	Moderado	Provoca desabastecimiento de AP en TK Barazarte
16	TK Barazarte	TK Barazarte	Microbiológico / Químico	Resultado de análisis fuera de norma detectado solo cada 12 horas	Frecuencia de monitoreo insuficiente para eventos agudos	1	2	2	Aceptable	Estante con movimiento de agua permanente según demanda de población. Estanque bien protegido y a temperatura más baja que el ambiente exterior.

10. VERIFICACIÓN

Verificación de la Eficacia del PSA

1. Comparar periódicamente los resultados de laboratorio (análisis externos u oficiales) con los parámetros operacionales registrados, para confirmar que el control operativo se traduce en el cumplimiento de la NCh409-1.2005.
2. Indicadores clave de verificación: Arsénico total de salida de PFOH (límite operativo < 8 ppb, objetivo ≤ 5 ppb), cloro residual 0,6-1,8 mg/l PFOH y 1,0-1,5 mg/l para PDTT, y turbiedad < 2 UNT del agua tratada en ambas plantas.
3. Realizar auditorías internas y/o supervisiones periódicas del cumplimiento de los protocolos de dosificación, retro lavado y pruebas de integridad de membranas.

11. TABLAS CONTROL PROCESOS

1) Tabla Control Proceso PFOH (ver anexo)
2) Tabla Control Proceso PDTT (ver anexo)

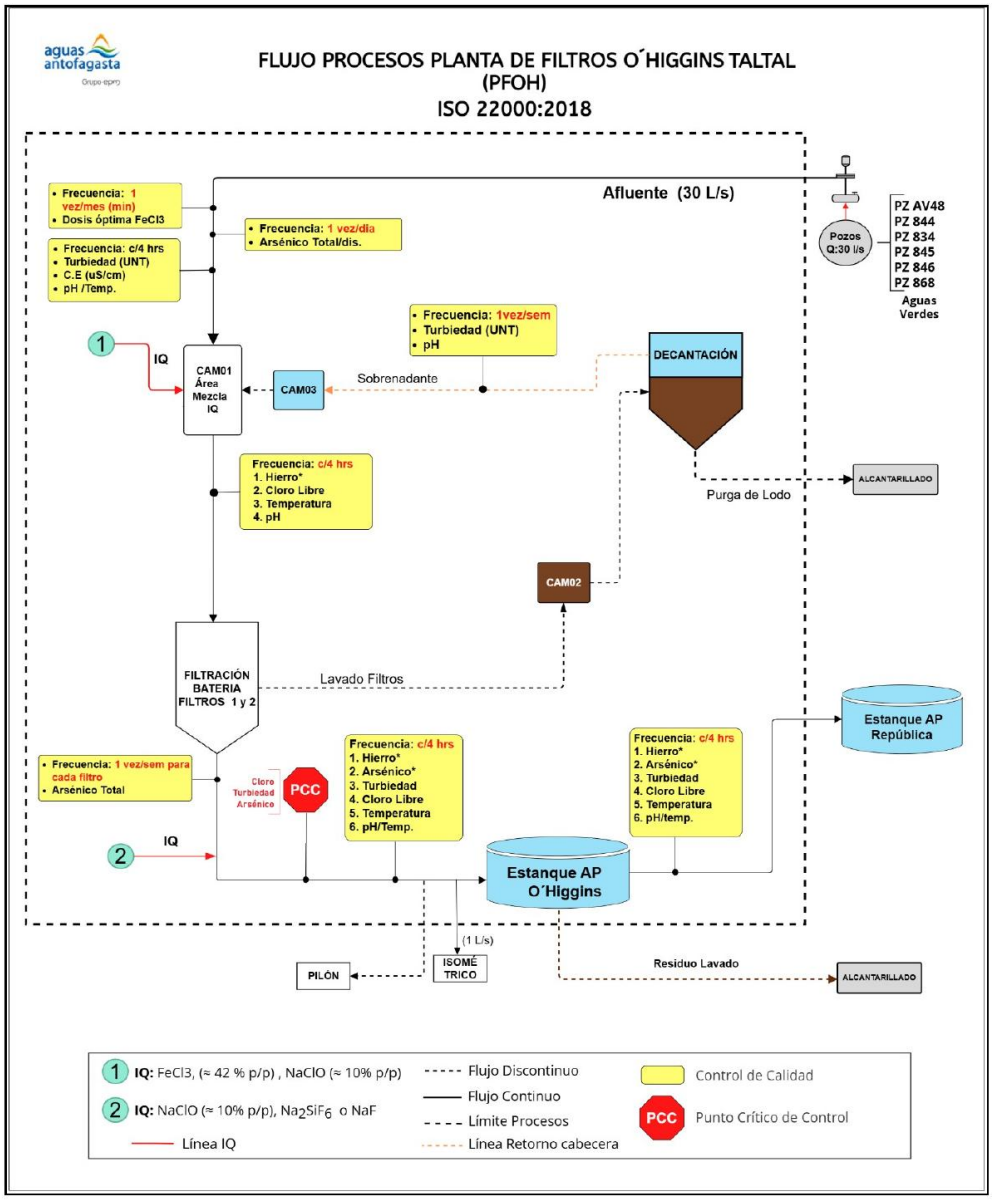
12. REVISIONES

REVISIÓN	FECHA	NATURALEZA DEL CAMBIO
01	12-06-2026	Inicio documento. Creación y unificación del Plan de Aseguramiento de la Calidad (PAC / PSA) para las plantas PFOH y PDTT, estructurado según formato corporativo e incorporando directrices sanitarias de desalinización de la OMS.

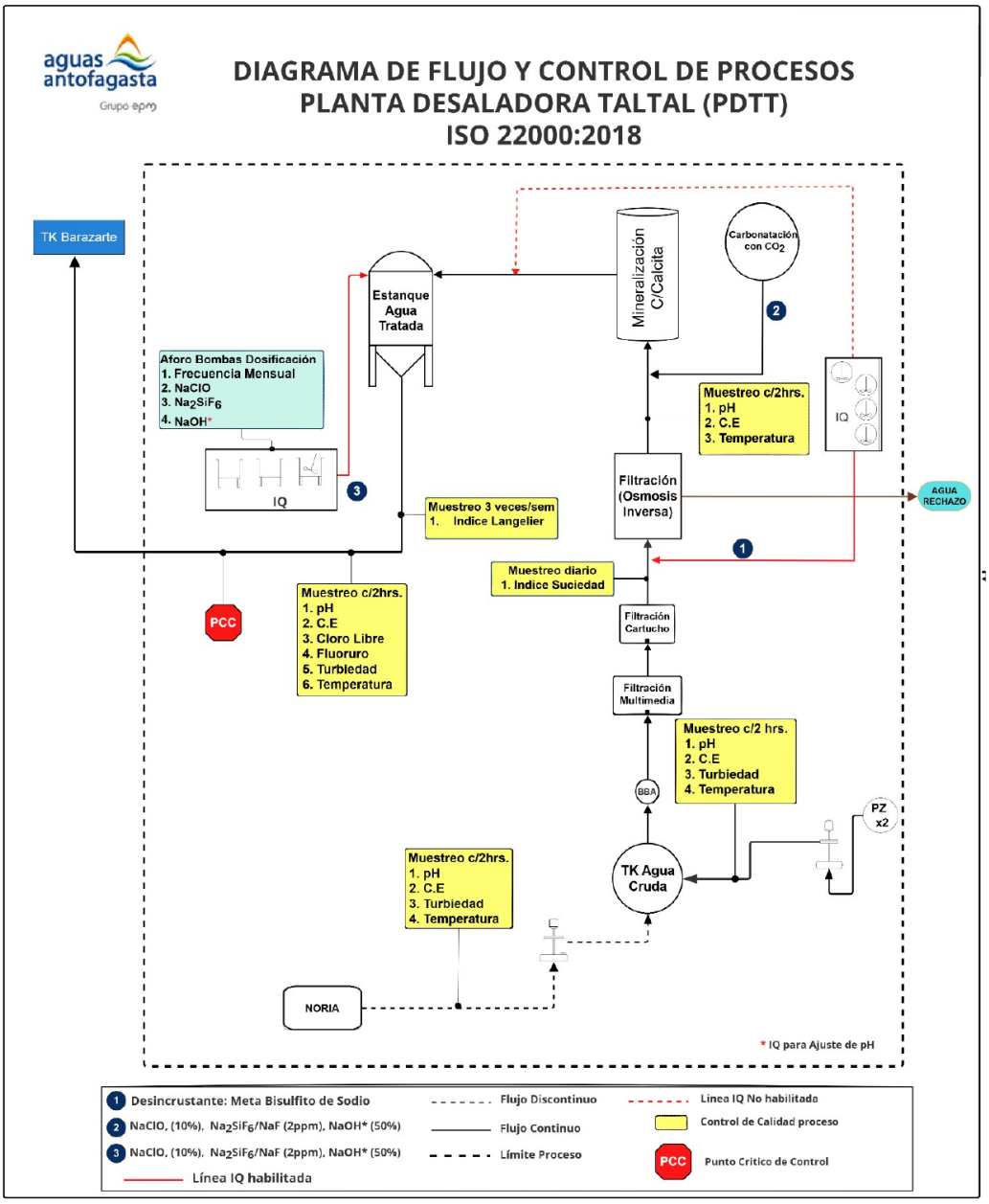
13. ANEXOS

Anexo.01: Diagrama de Flujo Proceso Img.01 FP-01-PFOH
Anexo.02: Diagrama de Flujo Proceso Img.01 FP-01-PDTT
Anexo.03: Tabla Control Proceso PFOH
Anexo.04: Tabla Control Proceso PDTT

Anexo.01
Diagrama de Flujo Proceso Img.01 FP-01-PFOH



Anexo.02
Diagrama de Flujo Proceso Img.01 FP-01-PDTT



Anexo.03
Tabla Control Proceso PFOH

Proceso	Subproceso	Unidad	Nivel de control Procesos		Método de Control/Análisis				Acción de rutina/correctiva/informativa	
			Parámetro de control	Rango/Limite	Persona Responsable	Frecuencia	Instrumento medición	Registro	Acción	A quien avisar/reportar
Tratamiento de Agua Potable	Suministro de Agua Cruda (sitema Agua Verde)	Ingreso Planta	pH	7,5 - 8,0	Operador de planta	Cada 4 horas	pH-metro	Planillas/PC Operaciones	1. Confirmar el Resultado/análisis 2. Comunicar via correo 3. Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			Conductividad	< 2000 uS/cm			Conductimetro			
			Temperatura	N/A			Termómetro			
			Turbiedad	< 50 UNT			Turbidímetro			
			Hierro Total	N/A		Semanal	Colorímetro			
			Arsénico Total	N/A			Equipo Kemio			
			Manganeso	Programa interno. Según requerimientos operativos y /o por solicitud de autoridad competente.	Muestrea Operador Planta Ejecuta análisis: Laboratorio UCCA/Lab externo*	Lunes Martes Miercoles de cada semana	Absorción atómica con Digestión ácida y gene.H	Plataforma LIMS	Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe de planta
			Hierro Total				Absorción atómica con Digestión ácida			
			Solidos Totales Disueltos				Gravimetría			
			Sulfato				Gravimetría			
			Cloruro				Titulación con AgNO3			
			Conductividad				Conductimetro			
			Fluoruro				Electrodo ISE-Fluoruro			
			Hierro Total				Absorción atómica con Digestión ácida			
			Coliformes Totales				Tubos multiples			
			E.coli				Tubos multiples			
	Filtración	Entrada Módulo Filtros 1 y 2	Cloro libre residual	> = 0,5 mg/l	Operador de pl	Cada 4 horas	pH-metro	Planillas/PC Operaciones	Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			Hierro Total	2,15 - 2,25 mg/l			Termómetro			
		Salida Modulos Filtros 1 y 2	Arsénico Total	3 - 8 ppb			Cinta Color conc. As total			
			Turbiedad	≤ 1,0 UNT			Turbidímetro			
	Agua Tratada	Entrada TK O´Higgins	Turbiedad	≤ 1,0 UNT	Operador de planta	Cada 4 horas	Turbidímetro	Planillas PC Operaciones	Repetición del muestreo y ensayo para verificación	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			Arsénico Total	3 - 8 ppb			Equipó Kemio			
			Hierro Total	<0,25 mg/l			Colorímetro			
			pH	7,0 - 8,0			pH-metro			
			Temperatura	N/A			Termómetro			
			Cloro libre residual	0,6 - 1,8 mg/l			Fotómetro			
			pH	Según 409/1 Of. 2005- Requisitos (Tabla 1, 2, 3, 4, 5 y Tabla 7). Tabla 6 a requerimiento de la autoridad o por motivos de estudios.	Muestrea Operador Planta Ejecuta análisis: Laboratorio UCCA/Lab externo*	Lunes Martes Miercoles de cada semana	pH-metro	Sistema informático LIMS	Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			C.E				Conductivímetro			
			Turbiedad				Turbidímetro			
			Color				Análisis visual			
			Olor				Organoléptico			
			Sabor				Organoléptico			
			Fluoruro				Electrodo Ión selectivo Fluoruro			
			Hierro total				Absorción Atómica			
			Microbiologia							
			Arsénico Total				Absorción Atómica			
		Salida TK O´Higgins de	Cloro libre residual	0,9 -1,8 mg/l	Operador de planta	Cada 4 horas	Fotómetro	Planillas PC Operaciones	Evaluación de funcionamiento de los equipos y estado de los procesos. Actualización de consignas si corresponde.	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			Arsénico Total	3 - 8 ppb			Equipó Kemio			
			Hierro Total	<0,25 mg/l			Colorímetro			
			Turbiedad	≤ 1,0 UNT			Turbidímetro			

Anexo.04
Tabla Control Proceso PDTT

Proceso	Subproceso	Unidad	Nivel de control Procesos		Método de control/Análisis				Acción de rutina/correctiva/informativa	
			Parámetro de control	Rango/Límite Prevensión	Persona Responsable	Frecuencia	Instrumento medición	Registro	Acción	A quien avisar/reportar
Tratamiento de Agua Potable	Suministro de Agua Cruda	Noria Pozo N°1 Pozo N°2	pH	7,0 - 8,0	Operador de planta	Cada 2 horas	pH-metro	Planillas/PC Operaciones	Confirmar el Resultado/análisis Comunicar via correo	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			Conductividad	N/A			Conductimetro			
			Temperatura	15 - 30 °C			Termómetro			
			Turbiedad	< 10 UNT			Turbidímetro			
			Arsénico Total	Según requerimientos operativos y /o por solicitud de autoridad competente	Muestrea: Operador Ejecuta: Laboratorio UCCA/Lab externo*	Lunes Martes Miercoles de cada semana	Absorción atómica con Dig.ác.gene.Hid.	Plataforma LIMS	Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe de planta
			Hierro Total				Absorción atómica con Digestión ácida			
			Solidos Totales Disueltos				Gravimetría			
			Sulfato				Gravimetría			
			Cloruro				Titulación con AgNO3			
			Conductividad				Conductimetro			
			Fluoruro				Electrodo ISE-Fluoruro			
			Manganeso				Absorción atómica con Digestión ácida			
			Coliformes Totales				Tubos multiples			
			E.coli				Tubos multiples			
	Pretratamiento	Salida pretratamiento	Turbiedad	Según consigna establecida	Operador de planta	Cada 2 horas	Turbidímetro	Planillas/PC Operaciones	Evaluación de funcionamiento de los equipos y estado de los procesos. Actualización de consignas si corresponde	Jefe de planta
			pH				pH-metro			
			Temperatura				Termómetro			
	Filtración Osmosis Inversa	Salida Módulo Filtros Osmosis (permeada)	pH	7,0 - 8,0	Operador de planta	Cada 2 horas	pH-metro	Planillas/PC Operaciones	Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			Conductividad	< 2100 uS/cm			Conductimetro			
			Temperatura	N/A			Termómetro			
			Turbiedad	< 2 UNT			Turbidímetro			
		Entrada Estanque AP	pH	7,0 - 8,0	Operador de planta	Cada 2 horas	pH-metro	Planillas/PC Operaciones	Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			Conductividad	< 2100 uS/cm			Conductivímetro			
			Temperatura	N/A			Termómetro			
			Indice Langelier	-0,3< IL <0,3			Titulador			
	Agua Tratada	Estánque de Planta (producción planta)	Turbiedad	< 2 UNT	Operador de planta	Cada 2 horas	Turbidímetro	Planillas/PC Operaciones	Repetición del muestreo y ensayo para verificación	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			pH	7,0 - 8,0			pH-metro			
			Temperatura	N/A			Termómetro			
			Cloro libre residual	1,0 - 1,5 mg/l			Fotómetro			
			Fluoruro	0,9-1,15 mg/L			Fotómetro			
			Conductividad	≤ 2300			Conductivímetro			
			pH	Según 409/1 Of. 2005- Requisitos (Tabla 1, 2, 3, 4, 5 y Tabla 7). Tabla 6 a requerimiento de la autoridad o por motivos de estudios.	Muestrea: Operador Ejecuta: Laboratorio UCCA/Lab externo*	Lunes Martes Miercoles de cada semana	pH-metro	Sistema informático LIMS	Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			C.E.				Conductivímetro			
			Turbiedad				Turbidímetro			
			Color				Análisis visual			
			Olor				Organoléptico			
			Sabor				Organoléptico			
			Fluoruro				Electrodo Ión selectivo Fluoruro			
			Hierro total				Absorción Atómica			
			Arsénico Total				Absorción Atómica			
		Salida TK Barazarte	Cloro libre residual	0,9 -1,8 mg/l	Operador de planta	Cada 2 horas	Fotómetro	Planillas PC Operaciones	Evaluación de condición de planta y actualización de consignas	Jefe(a) de Planta/Supervisor
			Flúor	0,9-1,15 mg/L			Fotómetro			
			pH	7,9 -8,3			pH-metro			
			Conductividad	<1.300 uS/cm			Conductivímetro			
			Temperatura	N/A			Termómetro			
			Turbiedad	≤ 1,0 UNT			Turbidímetro			