

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

SANEAMIENTO RURAL INTERCONECTADO: FACTIBILIDAD, GOBERNANZA Y GESTIÓN INTEGRAL PARA CINCO SERVICIOS SANITARIOS RURALES EN SAN PEDRO, REGIÓN METROPOLITANA

Miguel Ángel Cisternas Villenas
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA
JULIO 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: Saneamiento rural interconectado: factibilidad, gobernanza y gestión integral para cinco servicios sanitarios rurales en San Pedro, Región Metropolitana.

Nombre del candidato(a): Miguel Ángel Cisternas Villenas

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: 14-10-2026 Firma:

Estudiante o Candidato(a)

Fecha: 14-10-2026 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

SANEAMIENTO RURAL INTERCONECTADO: FACTIBILIDAD, GOBERNANZA Y GESTIÓN INTEGRAL PARA CINCO SERVICIOS SANITARIOS RURALES EN SAN PEDRO, REGIÓN METROPOLITANA

Tesis de magister presentada por
Miguel Ángel Cisternas Villenas
Como requisito para optar al Grado de
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA

Director de Tesis:
Mg. Marcelo Bravo Fortune
Julio 2026

TITULO DE TESIS:

Saneamiento Rural Interconectado: Factibilidad, Gobernanza y Gestión Integral para Cinco Servicios Sanitarios Rurales en San Pedro, Región Metropolitana.

AUTOR:

MIGUEL ANGEL CISTERNAS VILLENAS

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

Dr. Patricio Rubio Romero.
Correferente Interno

Mg. José Verdugo Cerón.
Correferente Externo

Santiago, Julio 2026

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

Nombre: Miguel Ángel Cisternas Villenas

Firma: 

Fecha: Santiago, julio de 2026

AGRADECIMIENTOS

Esta memoria es el resultado de un camino que no recorrí solo, y quiero dejar constancia de mi gratitud hacia quienes lo hicieron posible.

Agradezco, en primer lugar, a los integrantes del panel de expertos que participaron desinteresadamente en esta investigación, aportando su experiencia en proyectos, operación, academia y regulación del sector sanitario rural. Sus juicios y observaciones fueron decisivos para fundamentar la selección tecnológica y dar solidez a los resultados de este trabajo. De manera especial, agradezco al profesor Jacobo Homsi, quien conversé extensamente por teléfono sobre el saneamiento rural y sus desafíos; su generosidad para compartir conocimiento y experiencia, y su disposición a discutir ideas con franqueza y profundidad, enriquecieron esta tesis mucho más allá de lo que estas líneas pueden reflejar.

Agradezco también a los 77 Servicios Sanitarios Rurales de la Región Metropolitana que respondieron la encuesta de percepción de esta investigación. Detrás de cada respuesta hay dirigentes y trabajadores que, además de sostener día a día el agua potable de sus comunidades, se dieron el tiempo de compartir sus experiencias, limitaciones y anhelos en materia de saneamiento. Su voz es la base de este trabajo y un recordatorio permanente de que la gestión comunitaria del agua rural se construye con esfuerzo y compromiso muchas veces invisibles.

A mi pareja, Daniela González, por el apoyo emocional en los momentos de cansancio, por asumir los quehaceres que yo dejé pendientes durante largas jornadas de estudio, y por cuidar de mí en los detalles cotidianos, como del plato de comida que aparecía junto al computador cuando yo perdía la noción del tiempo. Este logro es tan suyo como mío.

Finalmente, dedico esta tesis a mi hijo Máximo, que con apenas seis meses de vida ya es el motor de todo mi esfuerzo. Escribí buena parte de estas páginas mientras él dormía, y su llegada le dio a este trabajo su sentido más profundo: contribuir, aunque sea con un grano de arena, a un país donde el agua y el saneamiento dignos lleguen a todas las familias, en especial a las del mundo rural. Que algún día, cuando pueda leer esto, sepa que fue mi mayor inspiración.

RESUMEN EJECUTIVO

El saneamiento constituye la principal brecha de infraestructura básica del mundo rural chileno: cerca del 83% de la población rural carece de conexión a alcantarillado y el 88% de los 2.475 Servicios Sanitarios Rurales (SSR) del país no dispone de infraestructura de saneamiento adecuada, situación que en la Región Metropolitana alcanza al 77% de los servicios. Esta investigación evalúa la factibilidad técnica, económica y de gestión de un sistema de saneamiento rural diferenciado por morfología territorial para cinco SSR de la comuna de San Pedro, provincia de Melipilla (Las Loicas, Nihue, El Prado, Corneche y La Manga; 5.422 habitantes y 2.448 viviendas), articulados mediante interconexión operativa, y propone un modelo de gobernanza participativa para su gestión conjunta, aprovechando la oportunidad estratégica que abre el proyecto de interconexión de agua potable entre estas localidades, con ejecución proyectada al año 2030.

La metodología se estructuró en seis fases: revisión documental y marco teórico; análisis de percepción regional aplicado al universo de SSR de la Región Metropolitana; análisis multicriterio mediante panel de expertos; diseño conceptual del sistema; evaluación de factibilidad a nivel de prefactibilidad; y formulación del modelo de gobernanza, factores críticos de éxito y lineamientos de replicabilidad, complementados con el análisis del marco normativo vigente.

Los resultados validan un esquema mixto: colector primario convencional con ramales de alcantarillado condominial y tratamiento mediante lombrifiltro para las zonas concentradas y semiconcentradas, y fosas sépticas comunitarias para las zonas dispersas, con un desarrollo en etapas. La inversión total se estima entre 90.840 y 127.610 UF (aprox. $3.709 a $5.210 millones), financiable a través del Programa de SSR del MOP y fuentes complementarias, y la sostenibilidad operacional requiere una tarifa de alcantarillado de entre $3.100 y $4.900 mensuales por vivienda, similar al cargo fijo de agua potable. En lo organizacional, se propone la constitución de una cooperativa de segundo grado, como operador conjunto del sistema de saneamiento con un modelo de gobernanza participativa que integra a las comunidades desde el diseño hasta la operación. Se concluye que el sistema es factible en sus tres dimensiones y que la interconexión operativa de múltiples SSR permite superar las limitaciones de escala que hacen inviable el saneamiento individual. Identifica, además, brechas normativas que condicionan el saneamiento interconectado, y formula recomendaciones contrastadas con el Boletín N°17.877-33 en tramitación. El modelo resultante se plantea como un piloto replicable para otros territorios rurales de la Región Metropolitana, aportando bases metodológicas para transitar desde la gestión fragmentada hacia una gobernanza integral del agua como política pública territorial.

ABSTRACT

Sanitation is the main basic-infrastructure gap in rural Chile: about 83% of the rural population lacks a sewerage connection, and 88% of the country's 2,475 Rural Sanitary Services (SSR, by its Spanish acronym) have no adequate sanitation infrastructure, a condition that reaches 77% of the services in the Metropolitan Region. This research assesses the technical, economic, and management feasibility of a rural sanitation system differentiated by territorial morphology for five SSR in the municipality of San Pedro, Melipilla Province (Las Loicas, Nihue, El Prado, Corneche, and La Manga; 5,422 inhabitants and 2,448 dwellings), articulated through operational interconnection, and proposes a participatory governance model for their joint management, building on the strategic opportunity opened by the drinking-water interconnection project among these localities, scheduled for execution by 2030.

The methodology was structured in six phases: document review and theoretical framework; regional perception analysis applied to the universe of SSR in the Metropolitan Region; multi-criteria analysis through an expert panel; conceptual design of the system; feasibility assessment at pre-feasibility level; and formulation of the governance model, critical success factors, and replicability guidelines, complemented by an analysis of the current regulatory framework.

The results validate a mixed scheme: a conventional primary collector with condominial sewerage branches and vermifilter treatment for concentrated and semi-concentrated areas, and community septic systems for dispersed areas, developed in stages. Total investment is estimated between 90,840 and 127,610 UF (approximately CLP 3,709 to 5,210 million), fundable through the Ministry of Public Works' SSR Program and complementary sources, while operational sustainability requires a sewerage tariff of CLP 3,100 to 4,900 per dwelling per month, comparable to the fixed drinking-water charge users already pay. On the organizational side, the study proposes establishing a second-tier cooperative as the joint operator of the sanitation system, under a participatory governance model that involves the communities from design through operation. The research concludes that the system is feasible in all three dimensions and that the operational interconnection of multiple SSR overcomes the scale limitations that make individual sanitation unviable. It also identifies regulatory gaps that constrain interconnected sanitation and formulates recommendations contrasted with Bill No. 17,877-33 currently under legislative discussion. The resulting model is proposed as a replicable pilot for other rural territories in the Metropolitan Region, providing methodological foundations to move from fragmented management toward integrated water governance as a territorial public policy.

ÍNDICE

1. INTRODUCCION 13

2. ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO 16

2.1 Origen y Propósito del Estudio 20

3. OBJETIVOS 22

3.1 Objetivo General 22

3.2 Objetivos Específicos 22

4. ESTADO DEL ARTE 24

4.1 Antecedentes del Estado del Arte 24

4.1.1 Review Bibliográfico 24

4.1.2 Percepción Nacional 29

4.1.3 Comparativa Experiencia Internacional 32

4.1.4 Hallazgos Clave del Contraste Internacional 33

4.2 Sistematización de Conceptos Claves 34

4.3 Sujeto de Estudio 39

4.3.1 Ubicación Geográfica 39

4.3.2 Resultados Encuesta Socio-Económica 39

4.3.3 Situación Sanitaria 40

4.3.4 Actividad Económica 42

4.3.5 Viviendas área de estudio 43

4.4 Marco Teórico del Estado del Arte 45

5. PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO 46

5.1 Fase 1: Revisión documental, percepción y marco teórico del saneamiento rural 46

5.2 Fase 2: Percepción regional y caracterización del sujeto de estudio 47

5.3 Fase 3: Diseño Conceptual de implementación de saneamiento rural 47

5.4 Fase 4: Evaluar la factibilidad técnica, económica y de gestión 48

5.5 Fase 5: Modelo de Gobernanza y aplicabilidad de solución 48

5.6 Fase 6: Conclusiones y Recomendaciones 49

5.7 Programación Etapas del estudio 49

6. APLICACIÓN METODOLÓGICA 52

6.1 Criterios Técnicos, Normativos y Tecnologías en Chile 52

6.1.1 Normativa Existente 52

6.1.2 Tecnologías Aplicadas para el tratamiento de Aguas Servidas en ámbito rural en Chile 53

6.2 Análisis de Percepción Regional de los SSR en la Región Metropolitana .. 55

6.2.1 Universo de SSR vs Encuestas 56
6.2.2 Año de Construcción 56
6.2.3 Saneamiento actual de los SSR 58
6.2.4 Percepción de Implementación de saneamiento 59
6.2.5 Percepción de Beneficios del saneamiento 61
6.2.6 Brechas de saneamiento de SSR 63
6.2.7 Contraste con percepción desde Federación Nacional APR's Chile 63

6.3 Análisis Multicriterio: Panel de Expertos 63
6.3.1 Panel Expertos 64
6.3.2 Tecnología Apropiada para zonas rurales en RM 64
6.3.3 Criterios Relevantes para saneamiento Rural 66
6.3.4 Factibilidad de implementar sistemas de Reúso 67
6.3.5 Apreciación de normativa en saneamiento 68
6.3.6 Recomendaciones al momento de diseñar 70
6.3.7 Implementación de sistemas de alcantarillado rural 71

6.4 Consideración selección de alternativa 72

7. RESULTADOS 73

7.1 Caracterización del área de estudio 73
7.1.1 Proyección de Red de Aguas Servidas 74
7.1.2 Cobertura Red Aguas Servidas y Esquema recomendado de desarrollo de etapas 78

7.2 Selección de tecnologías de saneamiento en sujeto de Estudio 79
7.2.1 Criterios de Evaluación Tecnológica 79
7.2.2 Horizonte temporal y evolución tecnológica 80
7.2.3 Evaluación para Zonas Concentradas y Semiconcentradas 81
7.2.4 Evaluación para Zonas Dispersas 82
7.2.5 Síntesis de la Selección Tecnológica 82

7.3 Evaluación de Factibilidad de la Propuesta del Sistema de Saneamiento .. 83
7.3.1 Factibilidad Técnica 83
7.3.2 Factibilidad Económica 84
7.3.3 Factibilidad Gestión 87
7.3.4 Síntesis de la Evaluación de Factibilidad 88

7.4 Modelo de Gestión Integral para operación 88
7.4.1 Fundamento Jurídico del Modelo 88
7.4.2 Arquitectura del Modelo en Dos Etapas 89
7.4.3 Estructura de Gobierno de la Cooperativa de Segundo Grado 91
7.4.4 Modelo de Coordinación Operativa entre Niveles 91
7.4.5 Modelo Tarifario del Saneamiento 92
7.4.6 Vinculación con Actores Externos 92
7.4.7 Síntesis del Modelo de Gestión 92

7.5 Análisis del marco normativo y brechas legales 93
7.5.1 Brechas de la Ley N°20.998 93
7.5.2 Brechas del Decreto Ley N°3.516 de 1980 94

7.5.3 Recomendaciones sobre el DFL N°5 de 2003 — Ley General de Cooperativas 95
7.5.4 Brechas técnicas del Manual DOH 95
7.5.5 Síntesis del análisis normativo..... 96
7.5.6 Factores críticos de éxito para la implementación de Saneamiento Rural .. 97

7.6 Replicabilidad del Modelo de Saneamiento en SSR en RM 100
7.6.1 Alcance y Propósito de los Lineamientos..... 100
7.6.2 Perfil de Territorios Candidatos a la Replicación..... 100
7.6.3 Guía de Pasos Metodológicos para la Replicación 101
7.6.4 Variables de Adaptación del Modelo..... 102
7.6.5 Síntesis de los Lineamientos de Replicabilidad 103

7.7 Modelo de gobernanza integral 104
7.7.1 Diagrama del modelo de gobernanza participativa 104

8. CONCLUSIONES..... 105

8.1 Conclusiones por Objetivo Específico..... 105

8.2 Conclusión General..... 109

9. RECOMENDACIONES..... 111

9.1 Recomendaciones profesionales 112

9.2 Recomendaciones de aplicación..... 112

9.3 Recomendaciones personales 113

10. BIBLIOGRAFÍA 114

11. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS..... 120

11.1 Glosario de Términos 120

12. ANEXOS..... 125

12.1 Formulario Percepción Regional: Saneamiento en los Servicios Sanitarios Rurales 125

12.2 Formulario Panel Expertos: Saneamiento en Servicios Sanitarios Rurales Interconectados en la R.M. 130

12.3 Review Bibliográfico..... 136
12.3.1 Fichas Bibliográficas..... 136

12.4 Palabras Claves o Conceptos 347

12.5 Diagnóstico Nacional de Saneamiento Rural – Federación Nacional APR'S Chile 386

12.6 Resultados Detallados..... 391
12.6.1 Evaluación para Zonas Concentradas y Semiconcentradas (Extensión) .. 391
12.6.2 Análisis detallado del marco normativo y brechas legales 392
12.6.3 de los factores críticos externos de carácter normativo-territorial (FCE-E3 a FCE-E9) 398
12.6.4 Guía detallada de fases metodológicas para la replicación del modelo 405

12.7 Imágenes ilustrativas de ejemplo creadas con IA 409
12.8 Figuras complementarias del modelo 411

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 SSR en Chile. 16
Tabla 2.2 Condición técnica de Saneamiento en Chile. 17
Tabla 2.3 Condición técnica de Saneamiento en la Región Metropolitana. 17
Tabla 2.4 Población SSR de San Pedro, Melipilla, Región Metropolitana. 18
Tabla 4.1 Review Bibliográfico. 24
Tabla 4.2 Comparación de experiencia nacional vs internacional. 32
Tabla 4.3 Sistematización de Conceptos Claves. 34
Tabla 4.4 Densidad de Habitantes para cada SSR. 40
Tabla 4.5 Abastecimiento de Agua. 40
Tabla 4.6 Disposición de Excretas San Pedro. 41
Tabla 4.7 Actividad Económica San Pedro. 42
Tabla 4.8 Viviendas por área de estudio. 44
Tabla 5.1 Programación de las etapas del estudio. 50
Tabla 6.1 Alternativas típicas de tratamiento de aguas servidas en sistemas. 55
Tabla 6.2 Resultados de encuesta en Universo de SSR. 56
Tabla 6.3 Rango año construcción SSR Región Metropolitana. 57
Tabla 6.4 Saneamiento en los servicios de la Región Metropolitana. 58
Tabla 6.5 Disposición de Aguas Servidas en los servicios de la Región Metropolitana. 58
Tabla 6.6 Percepción de aceptación del saneamiento en cada localidad de la RM. 62
Tabla 6.7 Beneficios Percibidos por los SSR en la RM. 62
Tabla 6.8 Panel de Expertos. 64
Tabla 6.9 Votación Individual Experto Proyectos. 65
Tabla 7.1 Caracterización de zonas rurales. 73
Tabla 7.2 Parámetros adoptados para la proyección preliminar de la red. 75
Tabla 7.3 Perfil de elevación de la red primaria. 77
Tabla 7.4 Cobertura de red Aguas Servidas por etapa. 78
Tabla 7.5 Síntesis de selección tecnológica por morfología territorial. 83
Tabla 7.6 Estimación de costos de inversión por componente y etapa. 85
Tabla 7.7 Estimación de tarifa de alcantarillado requerida para sostenibilidad del servicio. 86
Tabla 7.8 Síntesis de la evaluación de factibilidad. 88
Tabla 7.9 Proceso de transformación de comités APR a cooperativas de servicios. 90
Tabla 7.10 Proceso de constitución de la cooperativa de segundo grado. 90
Tabla 7.11 Síntesis del Modelo de Gestión. 93

Tabla 7.12 Síntesis de recomendaciones normativas y su estado en el Boletín N°17.877-33. 96
Tabla 7.13 Matriz de factores críticos de éxito para la implementación del sistema de saneamiento de San Pedro..... 99
Tabla 7.14 Criterios de elegibilidad obligatorios para la replicación del modelo. 101
Tabla 7.15 Criterios de elegibilidad complementarios para la replicación del modelo. ... 101
Tabla 7.16 Síntesis de las fases metodológicas para la replicación del modelo. 102
Tabla 7.17 Síntesis de lineamientos de replicabilidad del modelo de San Pedro. 103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Condición técnica de Saneamiento en Chile. 17
Figura 2-2 Condición técnica de Saneamiento en la Región Metropolitana..... 18
Figura 2-3 Comuna San Pedro, provincia Melipilla. 19
Figura 4-1 Ubicación General Geográfica Localidades en San Pedro. 39
Figura 4-2 Abastecimiento de Agua Potable en San Pedro..... 41
Figura 4-3 Disposición de Excretas en San Pedro. 42
Figura 4-4 Actividad Económica San Pedro. 43
Figura 4-5 Distribución espacial de viviendas por sector. 44
Figura 4-6 Mapa Mental. 45
Figura 6-1 Mapa de alternativas de tratamiento de Aguas Servidas. 54
Figura 6-2 Rango año construcción SSR Región Metropolitana. 57
Figura 6-3 Saneamiento en los servicios de la Región Metropolitana. 58
Figura 6-4 Disposición de Aguas Servidas en los servicios de la Región Metropolitana. . 59
Figura 6-5 Percepción de capacidad Técnica Disponible. 60
Figura 6-6 Capacidad Organizacional. 60
Figura 6-7 Percepción de Infraestructura Disponible. 61
Figura 6-8 Brecha percibida del saneamiento en los servicios de la RM. 63
Figura 6-9 Tecnología apropiada según panel de expertos de categoría proyectos. 66
Figura 6-10 Criterios Relevantes en Saneamiento Rural. 67
Figura 6-11 Factibilidad de implementar sistemas de reúso de aguas servidas tratadas. 67
Figura 6-12 Apreciación de Normativa en Saneamiento. 68
Figura 6-13 Brechas Normativas en Saneamiento Rural. 69
Figura 7-1 Caracterización San Pedro. 74
Figura 7-2 Red de Aguas Servidas Proyectadas. 76
Figura 7-3 Perfil de elevación Red Primaria. 76
Figura 9-1. Trayectoria del desarrollo de la gestión del agua rural, estado 4 a 5..... 111

1. INTRODUCCION

El acceso al saneamiento constituye una condición básica de dignidad, salud pública y desarrollo territorial; sin embargo, en Chile sigue siendo una deuda pendiente con el mundo rural. Mientras el país exhibe altas coberturas urbanas de agua potable y alcantarillado en cada región, en las zonas rurales la evacuación continúa resuelto, en su gran mayoría mediante soluciones individuales (fosas sépticas y pozos negros) que envejecen, colapsan y comprometen la calidad de las napas subterráneas de las que esas mismas comunidades se abastecen. El contraste es elocuente: cerca del 83% de la población rural carece de conexión a un sistema público de alcantarillado y, de los 2.475 Servicios Sanitarios Rurales (SSR) existentes en el país, un 88% no dispone de infraestructura de saneamiento adecuada. La Región Metropolitana, pese a concentrar la capital y los mayores recursos del país, no escapa a esta realidad: un 77% de sus SSR carece de sistemas de saneamiento.

Esta brecha explica el título de la investigación: “Saneamiento Rural Interconectado: Factibilidad, Gobernanza y Gestión Integral para Cinco Servicios Sanitarios Rurales en San Pedro, Región Metropolitana”. Cada término del título responde a una decisión de investigación. Se habla de saneamiento rural porque el problema estudiado es el déficit de evacuación y tratamiento de aguas servidas en localidades rurales; de interconexión, porque la hipótesis de trabajo es que la operación conjunta de varios SSR (en lugar de soluciones aisladas por localidad) permite economías de escala, mejor desempeño operacional y mayor sostenibilidad, porque la propuesta se somete a evaluación técnica, económica y de gestión a nivel de prefactibilidad en su gobernanza y gestión integral, ya que la evidencia nacional e internacional demuestra que la infraestructura, por sí sola, no garantiza servicios sostenibles si no existe un modelo organizacional y participativo que la administre en el tiempo.

El interés por este tema surge de una convergencia poco frecuente de condiciones. En la comuna de San Pedro, provincia de Melipilla, cinco localidades rurales (Las Loicas, Nihue, El Prado, Corneche y La Manga) carecen casi por completo de saneamiento, pero cuentan con un proyecto de interconexión de agua potable ya diseñado y con ejecución proyectada al año 2030. Esa infraestructura en desarrollo abre una ventana estratégica: aprovechar la lógica de interconexión ya validada para el agua potable y extenderla al saneamiento, evaluando la mejor alternativa desde el punto de vista técnico, operacional, administrativo y normativo. Postergar

esta discusión implicaría perder una oportunidad única de planificación integrada del ciclo del agua en el territorio.

Esta tesis está dirigida a un público amplio, pero bien definido: a los tomadores de decisión del sector público, en particular la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y el propio legislador, en el marco de la implementación de la Ley N°20.998. También, a los dirigentes y comunidades de los SSR, protagonistas de la gestión comunitaria del agua rural, a consultores y proyectistas que diseñan soluciones sanitarias en territorios rurales, y a la comunidad académica del ámbito de la gestión del agua, al aportar evidencia empírica sobre un modelo de saneamiento interconectado aún poco explorado en Chile. La importancia del tema trasciende el caso de estudio: se trata de salud pública, de protección de acuíferos, de equidad territorial en el acceso a servicios básicos y del cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible N°6 (ODS 6), que compromete agua limpia y saneamiento para todas las personas.

El objetivo general se logra mediante catorce objetivos específicos que progresan desde la revisión del estado del arte y la caracterización territorial, hacia el diseño conceptual del sistema, su evaluación de factibilidad, la formulación de un modelo de gestión y gobernanza, la identificación de factores críticos de éxito, el análisis del marco normativo vigente y, finalmente, la proyección de los resultados como piloto replicable en otras zonas rurales de la Región Metropolitana.

De los resultados de este estudio pueden surgir soluciones y aplicaciones concretas en al menos cuatro planos. En el plano técnico, un esquema mixto de saneamiento que combina un colector primario convencional con ramales condominiales para las zonas concentradas y semiconcentradas, como soluciones no convencionales para las zonas dispersas, con un desarrollo por etapas ajustado al crecimiento del territorio. En el plano organizacional, un modelo de gestión integral basado en la asociatividad de los SSR a través de la figura de una cooperativa de segundo grado como operador conjunto que define roles, responsabilidades, coordinación operativa y un modelo tarifario orientado a la sostenibilidad del servicio. En el plano normativo, la identificación de brechas de la Ley N°20.998, del D.L. N°3.516 y del D.F.L. N°5 de 2003, junto con recomendaciones de ajuste que pueden alimentar la discusión legislativa en curso. Como también, lineamientos de replicabilidad que permiten escalar el modelo a otros territorios rurales con problemáticas similares, optimizando la inversión pública y avanzando hacia un saneamiento rural planificado y no reactivo.

La tesis se organiza en doce apartados principales. El capítulo 2 expone el origen, propósito y alcances del estudio, dimensionando la brecha de saneamiento a nivel nacional, regional y comunal. El capítulo 3 formula el objetivo general y los objetivos específicos. El capítulo 4 desarrolla el estado del arte, integrando la revisión bibliográfica nacional e internacional, la sistematización de conceptos claves, la caracterización del sujeto de estudio y el marco teórico resultante. El capítulo 5 presenta la propuesta metodológica, estructurada en seis fases que van desde la revisión documental hasta las conclusiones. El capítulo 6 corresponde a la aplicación metodológica: criterios técnicos y normativos, análisis de percepción regional de los SSR de la Región Metropolitana y análisis multicriterio mediante panel de expertos. El capítulo 7 concentra los resultados: caracterización del área de estudio, proyección de la red de aguas servidas, selección tecnológica por morfología territorial, evaluación de factibilidad, modelo de gestión integral, análisis del marco normativo, factores críticos de éxito, lineamientos de replicabilidad y modelo de gobernanza. Los capítulos 8 y 9 presentan las conclusiones y recomendaciones, mientras que los capítulos 10, 11 y 12 reúnen la bibliografía, el glosario de términos y los anexos que respaldan el desarrollo de la investigación.

Finalmente, cabe reseñar el objeto de estudio escogido. Las localidades estudiadas se emplazan en la comuna de San Pedro, provincia de Melipilla, en el extremo surponiente de la Región Metropolitana, en un territorio de carácter marcadamente rural. En conjunto agrupan una población cercana a los 5.400 habitantes distribuidos en unas 1.760 viviendas, con una densidad promedio de 3,1 habitantes por vivienda, con una combinación de zonas concentradas, semiconcentradas y dispersas. Tres de estas localidades (Las Loicas, Nihue y El Prado) cuentan con SSR formalmente constituidos para el agua potable, mientras que Corneche y La Manga presentan sistemas de abastecimiento precarios y se integrarán como servicio conjunto en el marco del proyecto de interconexión de agua potable en desarrollo. La situación sanitaria es crítica: alrededor del 80% de las viviendas dispone sus aguas servidas en fosas sépticas y un 14% aún utiliza pozos negros, con una cobertura de alcantarillado prácticamente inexistente. A ello se suma una actividad económica de base agrícola y una capacidad de pago limitada, condiciones que exigen soluciones tecnológicas y de gestión especialmente ajustadas a la realidad local. Es precisamente esta combinación de vulnerabilidad sanitaria, proximidad geográfica entre localidades e infraestructura de interconexión en curso la que convierte a San Pedro en un caso representativo y, a la vez, en un laboratorio privilegiado para ensayar el modelo de saneamiento rural interconectado que esta tesis propone.

2. ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO

A pesar de los avances históricos en agua potable, impulsados desde 1964 por el Programa APR, la cobertura de sistemas de evacuación y tratamiento de aguas servidas en zonas rurales sigue siendo crítica. A nivel nacional, el 13% de la población no cuenta con conexión a un sistema público de alcantarillado, cifra que presenta una marcada desigualdad territorial: mientras en zonas urbanas alcanza un 2,5% (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2025), en áreas rurales se eleva a un 83% (Bravo, Anriquez, Melo, & Donoso, 2025). Esta situación evidencia la necesidad de desarrollar soluciones integrales que permitan abordar el déficit de saneamiento en contextos rurales, donde las condiciones de cobertura, gestión y planificación son considerablemente más limitadas.

Actualmente existen 2.475 SSR a nivel nacional, los cuales abastecen a una población estimada de 2.391.593 habitantes (Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, 2025), como se observa en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 SSR en Chile.

Región	Cantidad SSR	Población (Hab)
Antofagasta	18	15.183
Araucanía	316	222.563
Arica Y Parinacota	33	17.681
Atacama	47	21.495
Aysén	48	29.985
Biobío	196	141.504
Coquimbo	215	180.403
Los Lagos	284	235.716
Los Ríos	160	120.835
Magallanes	10	3.758
Maule	325	404.395
Metropolitana	115	229.414
Ñuble	255	175.900
O'Higgins	223	364.840
Tarapacá	24	11.707
Valparaíso	206	216.213
Total	**2.475**	**2.391.592**

Fuente: Elaboración Propia a partir de catastro diciembre 2025 (Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, 2025).

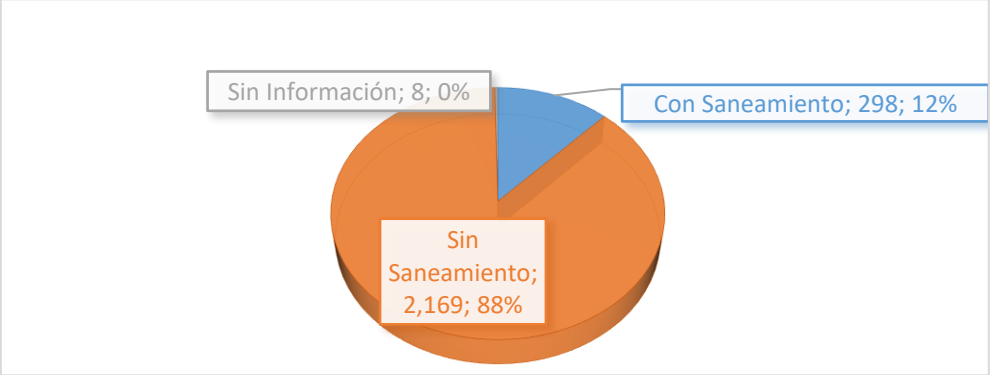
Pese a su relevancia en la provisión de agua potable, la cobertura de saneamiento dentro de estos sistemas sigue siendo limitada: un 88% de los servicios no dispone de infraestructura de saneamiento adecuada, lo que se traduce en una cobertura nacional de apenas un 12%, como se observa en la Figura 2-1, (Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, 2025).

Tabla 2.2 Condición técnica de Saneamiento en Chile.

Condición Saneamiento	SSR (cantidad)	Población (Hab)
Con Saneamiento	298	559.510
Sin Saneamiento	2.169	1.827.434
Sin Información	8	4.648
Total General	**2.475**	**2.391.592**

Fuente: Elaboración Propia a partir de catastro diciembre 2025 (Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, 2025).

Figura 2-1 Condición técnica de Saneamiento en Chile.



Fuente: Elaboración Propia a partir de catastro diciembre 2025 (Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, 2025).

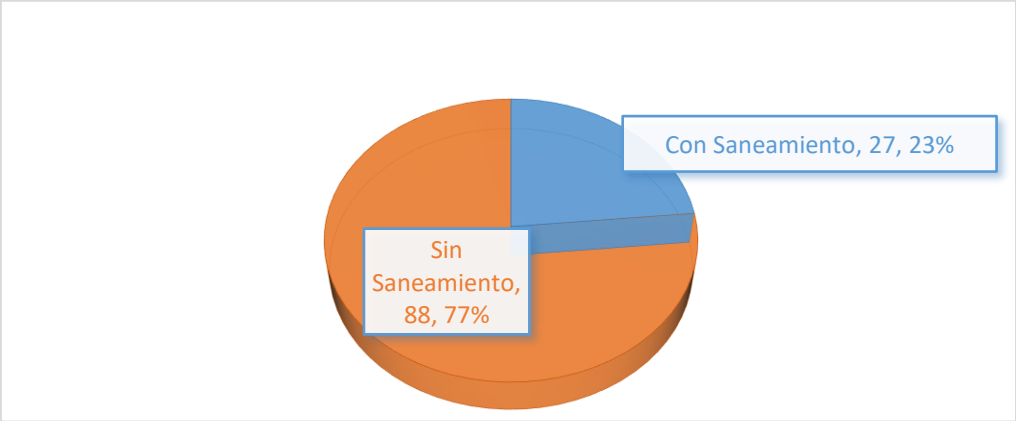
Esta situación se replica para la Región Metropolitana, donde un 77% (Figura 2-2) de los SSR carece de sistemas de saneamiento, reflejando una problemática regional significativa que compromete tanto la salud pública como la sostenibilidad ambiental de los territorios rurales.

Tabla 2.3 Condición técnica de Saneamiento en la Región Metropolitana.

Condición Saneamiento	Cantidad SSR	Población (Hab)
Con Saneamiento	27	101.839
Sin Saneamiento	88	127.575
Total General	**115**	**229.414**

Fuente: Elaboración Propia a partir de catastro diciembre 2025 (Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, 2025).

Figura 2-2 Condición técnica de Saneamiento en la Región Metropolitana.



Fuente: Elaboración Propia a partir de catastro diciembre 2025 (Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, 2025).

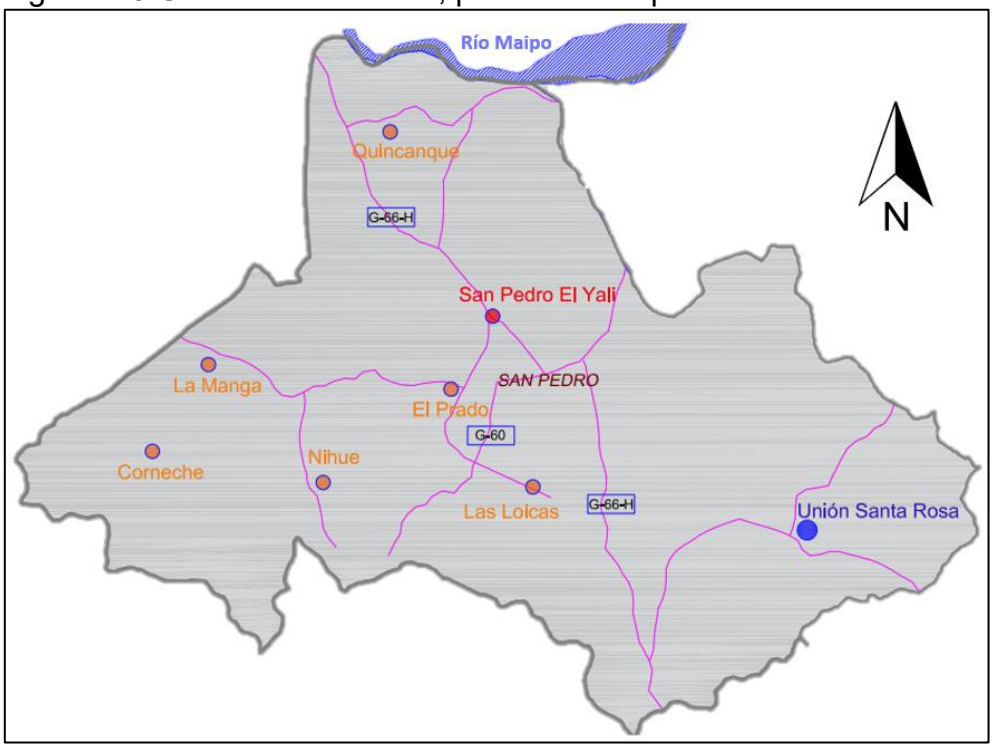
En este escenario, la comuna de San Pedro, ubicada en la provincia de Melipilla, constituye un caso representativo para el análisis de estas brechas, al concentrar diversas realidades de gestión sanitaria rural. En esta comuna se identifican ocho sectores rurales que operan de manera independiente en la provisión de agua potable. Seis de ellos, siendo; El Prado, Las Loicas, Nihue, San Pedro El Yali, Santa Rosa y Quincanque cuentan con sistema formalmente constituidos, mientras que Corneche y La Manga presentan condiciones de abastecimiento precarios. La distribución de población en cada sector se presenta en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Población SSR de San Pedro, Melipilla, Región Metropolitana.

Localidad	Población (Hab)	Situación Actual	
		AP	AS
Corneche	521	Sistema Precario AP	Inexistente
El Prado	867	APR	Inexistente
Las Loicas	2.312	APR	Inexistente
Nihue	1.002	APR	Inexistente
La Manga	720	Sistema Precario AP	Inexistente
Unión Santa Rosa	462	APR	Inexistente
San Pedro El Yali	5.409	APR	Parcial
Quincanque	466	APR	Inexistente
Total	**11.759**		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-3 Comuna San Pedro, provincia Melipilla.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que, si bien existen ocho sectores rurales en la comuna de San Pedro, seis de ellos se ubican en proximidad geográfica entre sí, con excepción de Unión Santa Rosa y Quincanque. El proyecto de interconexión de agua potable diseñado por Alpha Ingeniería Ltda., con proyección de ejecución estimado en año 2030, contempla a El Prado, Nihue, Las Loicas, La Manga y Corneche. En este último caso, La Manga y Corneche se integrarán en un sistema conjunto, condición que les permitirá constituirse formalmente como SSR. San Pedro El Yali queda excluido de este proyecto de interconexión.

El estudio surge, de la necesidad de comprender, diagnosticar y evaluar las condiciones actuales del saneamiento rural en contextos de alta vulnerabilidad, utilizando como caso de estudio la comuna de San Pedro. Su propósito es generar información técnica, territorial y normativa que permita identificar brechas, oportunidades y criterios para el desarrollo de soluciones de saneamiento adaptadas a la realidad local. Asimismo, sus alcances consideran el análisis de cobertura existente, factibilidad de implementación de tecnologías de saneamiento y lineamientos para fortalecer la planificación de futuras intervenciones. De esta manera, la investigación busca contribuir al desarrollo de estrategias que promuevan una mayor equidad territorial en el acceso al saneamiento, fortaleciendo la sostenibilidad y calidad de vida de las comunidades rurales en Chile.

2.1 Origen y Propósito del Estudio

Existe un vacío relevante en la planificación del saneamiento rural en Chile, particularmente en lo relativo a la capacidad operativa, administrativa y legal de los SSR. Actualmente, estos servicios funcionan en su mayoría de manera aislada, sin una solución integral para la gestión de agua potable y aguas servidas, lo que limita su eficiencia, sostenibilidad y cumplimiento normativo técnico. En este contexto, la investigación propone evaluar tecnologías innovadoras basada en la interconexión y gestión conjunta de varios SSR para el saneamiento, una estrategia aún poco explorada, especialmente en la Región Metropolitana.

La propuesta se sustenta en un análisis integral que considera múltiples dimensiones. Un enfoque permita integrar aspectos técnicos, legales, económicos, de fiscalización y de gestión, los cuales tradicionalmente han sido estudiados de manera fragmentada. A partir de este diagnóstico, se construirán distintos escenarios técnicos y administrativos que permitan determinar la factibilidad de interconectar los SSR para el saneamiento, evaluando tanto sus beneficios como sus implicancias para las comunidades involucradas. Este análisis permitirá identificar oportunidades de optimización de recursos, mejoras en la eficiencia territorial y alternativas sostenibles para abordar las brechas existentes en saneamiento rural.

En el caso de estudio corresponde al sector de San Pedro, donde cinco SSR enfrentan actualmente la ausencia de sistemas adecuados de evacuación de aguas servidas, siendo principalmente el uso de fosas sépticas para la disposición de estas aguas. Esta situación impacta directamente en la calidad de vida de la población, el cuidado del medio ambiente (napas subterráneas) y las posibilidades de desarrollo territorial. La motivación de esta investigación surge precisamente de la necesidad urgente de avanzar en soluciones concretas y sostenibles para este tipo de contextos rurales.

Un elemento clave que refuerza la viabilidad del estudio es que actualmente se encuentra en ejecución un proyecto de interconexión de agua potable entre estos servicios, con término estimado al año 2030, como se mencionó anteriormente. Esta condición genera una oportunidad estratégica para vincular dicha infraestructura con un sistema de saneamiento integrado, evaluando la mejor alternativa desde el punto de vista técnico, operacional y administrativo.

En este sentido, la investigación no solo busca determinar las brechas técnicas de la interconexión, sino también analizar en profundidad las capacidades operativas, administrativas y legales necesarias para su implementación. Se considerarán las características geográficas de los sectores, la percepción de los SSR a nivel regional, opinión de panel de expertos, así como las brechas de gestión que podrían afectar la sostenibilidad del sistema propuesto.

Asimismo, se plantea un modelo de gobernanza participativo que incorpora activamente a las comunidades rurales desde el diseño hasta la operación de la solución. Este enfoque representa una innovación en la gestión del saneamiento en Chile, al fortalecer el rol de los usuarios en la toma de decisiones y promover una gestión integral.

El desarrollo de la investigación permitirá generar evidencia técnica y un modelo de gestión aplicable, orientando la toma de decisiones tanto en el ámbito público como privado. Esto resulta especialmente relevante considerando las actuales deficiencias en la articulación entre servicios, la sobrecarga de infraestructura existente y las dificultades para cumplir con los estándares normativos definidos. En este contexto, el estudio también contribuirá a identificar limitaciones en el marco legal vigente, particularmente en relación con la Ley N°20.998, así como en los criterios de diseño del “Manual de Proyectos de Aguas Servidas” de la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulica (en adelante DOH) del Ministerio de Obras Públicas (en adelante MOP) y en los procesos de fiscalización liderados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (en adelante SISS).

Desde una perspectiva más amplia, el estudio se vincula directamente con los desafíos de la gestión y gobernanza del recurso hídrico, abordando la provisión segura, sostenible y planificada de servicios de saneamiento en territorios rurales. La evaluación de factibilidad propuesta integra componentes técnicos, institucionales, sociales, ambientales y económicos, alineándose con un enfoque multidisciplinario clave para la gestión integral del agua. Además, el proyecto se posiciona como un piloto replicable para otras zonas rurales de la región que enfrentan problemáticas similares. La posibilidad de escalar esta solución permitiría optimizar inversiones públicas, mejorar la eficiencia en la gestión territorial y avanzar hacia un modelo más integrado de saneamiento rural.

En términos académicos y profesionales, el estudio se apoya en tres áreas fundamentales: la gestión de las aguas servidas, su disposición de sólidos y reutilización, la gobernanza, la innovación en la gestión de proyectos y las tecnologías propicias para la zona de estudio. Esto permite abordar el problema desde una perspectiva aplicada, orientada a resolver un desafío real mediante una propuesta concreta y viable. En conclusión, la investigación propone una solución innovadora basada en la interconexión de SSR para el saneamiento, integrando criterios técnicos, de gestión, gobernanza, financiamiento y sostenibilidad. Este enfoque permitirá avanzar hacia un modelo de gestión integral, contribuyendo a mejorar la planificación, eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de saneamiento rural en la Región Metropolitana, y generando recomendaciones para el desarrollo de políticas públicas.

3. OBJETIVOS

Después de haber ordenado las ideas propósito, definir el alcance del estudio y recopilar fuentes informativas se presentan a continuación el objetivo general y los objetivos específicos. El objetivo general consta de las siguientes cuatro partes: ¿qué voy hacer?, ¿dónde lo voy hacer?, ¿cómo lo voy hacer? y ¿para qué lo voy hacer?.

3.1 Objetivo General

Evaluar la factibilidad técnica, económica y de gestión de un sistema de saneamiento rural diferenciado por morfología territorial para cinco servicios sanitarios Rurales de San Pedro, Región Metropolitana, articulados mediante interconexión operativa, y proponer un modelo de gobernanza participativa que oriente su gestión conjunta. Los resultados permitirían establecer un piloto replicable para otras zonas de la región.

3.2 Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general, la investigación se estructura en catorce objetivos específicos que progresan desde la revisión del estado del arte y la caracterización territorial, hacia el diseño conceptual del sistema, su evaluación de factibilidad, la formulación de un modelo de gobernanza y gestión integral, y finalmente la proyección de sus resultados como piloto replicable y como insumo para el fortalecimiento del marco normativo vigente.

1. Conocer la documentación escrita de las diferentes soluciones de saneamiento rural a nivel nacional e internacional que permita identificar las alternativas idóneas para la zona en estudio.

2. Analizar fuentes informativas y noticias que faciliten comprender la percepción de las comunidades rurales respecto al saneamiento.

3. Vincular los diferentes módulos del Magister en Gestión del Agua (en adelante MWM) de la Universidad Técnica Federico Santa María (en adelante USM) con esta investigación, identificando su aporte conceptual y técnico.

4. Formular un marco teórico del estado del arte, integrando los resultados obtenidos del objetivo uno al tres.

5. Definir un conjunto de criterios técnicos y normativos, en base a la regulación vigente, que permita identificar tecnologías aplicables a Chile.

6. Analizar la percepción regional de los Servicios Sanitarios Rurales respecto a la implementación de sistemas de saneamiento en sus localidades.

7. Establecer un análisis de multicriterio que vincule las distintas visiones del panel de expertos relacionado al saneamiento rural en Chile.

8. Seleccionar la tecnología más adecuada para cada morfología territorial del sujeto de estudio, diferenciando entre zonas concentradas, semiconcentradas y dispersas, en función del estado actual y la percepción regional del saneamiento rural.

9. Diseñar un sistema conceptual de saneamiento diferenciado para los cinco Servicios Sanitarios Rurales de San Pedro, estructurado en un esquema mixto de red (colector primario convencional con ramales condominiales) para zonas concentradas y semiconcentradas, y soluciones no convencionales para zonas dispersas, articulado en un modelo de interconexión operativa conjunta con crecimiento por etapas

10. Evaluar a nivel de prefactibilidad, la factibilidad técnica, económica y de gestión del sistema de saneamiento diferenciado propuesto para los cinco SSR en San Pedro, considerando las particularidades operativas de cada morfología territorial y su funcionamiento conjunto.

11. Proponer un modelo de gestión integral y de gobernanza participativa para la operación conjunta de los cinco SSR de San Pedro, definiendo roles, responsabilidades y mecanismos de coordinación entre los actores locales y de participación comunitaria a lo largo del ciclo de vida de la solución, que contemple la administración diferenciada según tipo de solución implementada.

12. Determinar los factores críticos de éxito para la implementación del sistema de saneamiento diferenciado en San Pedro, considerando las condiciones técnicas, normativas, territoriales y de gestión propias de cada zona.

13. Formular los lineamientos para replicar el modelo de saneamiento diferenciado por morfología territorial en otros Servicios Sanitarios Rurales de la Región Metropolitana, a partir de los resultados y aprendizajes obtenidos en San Pedro.

14. Analizar la Ley N°20.998, el DL N°3.516 y el DFL N°5/2003, identificando las brechas que condicionan el saneamiento interconectado y contrastándolas con el Boletín N°17.877-33.

4. ESTADO DEL ARTE

La finalidad del estado del arte es analizar respecto a la bibliografía disponible, consultas a expertos del tema y percepción de los SSR de la región, un modelo teórico que permita abordar el sujeto de estudio de manera sistemática.

4.1 Antecedentes del Estado del Arte

Con la finalidad de presentar antecedentes o conocimientos previos del estado del arte de los temas a desarrollar, se encuentran las fichas desarrolladas tanto de información Bibliográfica y material de los diferentes módulos del Master of Water Management de la Universidad Técnica Federico Santa María.

En ítem 12.3 de Anexos se ha desarrollado las Fichas Bibliográficas, mientras que en los siguientes apartados se encuentra el Review bibliográfico, que sistematiza las lecturas claves para la situación actual del estado del arte.

4.1.1 Review Bibliográfico

El análisis documental, en una primera instancia, fue sintetizado a través del siguiente Review; donde se han clasificado en lecturas fundamentales, específicas y complementarias (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Review Bibliográfico.

N°	Cita	Descriptor
LECTURAS FUNDAMENTALES		
1	(Stańczuk-Gałwiaczek et al., 2018)	Integración de la gestión del agua y la concentración parcelaria en zonas Rurales para adaptarse al cambio climático: experiencias de Polonia y los Países Bajos.
4	(Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, 2023)	Manual de protecos de aguas servidas de la DOH, MOP, Chile.
5	(Ley N° 20.998, 2017)	Ley N° 20.998 Regula los Servicios Sanitarios Rurales, Chile.
6	(Decreto N° 50, 2020)	Reglamento de la Ley N° 20.998 que regula los servicios sanitarios rurales
7	(Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2025)	Manual de fiscalización SISS, continuidad de alcantarillado: Servicios Sanitarios Rurales de los segmentos mayor y mediano.

N°	Cita	Descriptor
9	(Daniel et al., 2023)	Factores relacionados con la funcionalidad del programa comunitario de abastecimiento de agua y saneamiento rural en Indonesia.
10	(Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018)	Estudio de soluciones sanitarias para el sector rural, unidad de saneamiento sanitario. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
14	(Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, 2013)	Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón
19	(Parra Piérart & Chiang Rojas, 2013)	Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del centro sur de Chile
21	(Homsi Auchen, 2024)	Valorización de sistemas de tratamiento de aguas servidas en localidades menores a 5.500 habitantes, Gestión de la Depuración y Reutilización [MWM410].
22	(Homsi Auchen, 2024)	Reúso de aguas servidas tratadas (AST), Gestión de la Depuración y Reutilización [MWM410].
27	(Chibbaro Sch., 2024)	Estrategias regionales para el agua y experiencia en la Región de Valparaíso, Planificación y Dirección Estratégica [MWM510].
28	(Rubio Romero, 2024)	Planificación y dirección estratégica, Planificación y Dirección Estratégica [MWM510].
29	(Rubio Romero, 2024)	Gobernanza y economía del agua (Parte 1), Gobernanza y Economía del Agua [MWM500].
30	(Madrid Aris, 2025)	Introducción al manejo de los recursos hídricos (Tema 1) y gobernanza del agua (Tema 2), Gobernanza y Economía del Agua [MWM500].
31	(Madrid Aris, 2025)	Gobernanza del agua en Chile (Tema 3), Gobernanza y Economía del Agua [MWM500].
35	(Viera Villegas, 2025)	Gestión de activos industria sanitaria, Sistemas de Gestión [MWM530].

N°	Cita	Descriptor
40	(Araya Mena, 2025)	Gestión de recursos hídricos, casos aplicados: proyectos en cuencas (Tema 1) y saneamiento de ciudades costeras (Tema 2), Innovación y Gestión de Proyectos [MWM550].
59	(Li et al., 2026)	Integración de plantas nativas y funcionales en Humedales construidos: un sistema autosostenible. Enfoque para el tratamiento de aguas residuales rurales
60	(Li et al., 2024)	Evaluación integrada del saneamiento rural a nivel comunitario en Chongqing, China: un análisis de clústeres
LECTURAS ESPECÍFICAS		
2	(Bravo et al., 2025)	Más allá de la cobertura: Revelando desigualdades de ingresos y espaciales en el acceso a los servicios de agua y saneamiento en Chile.
12	(Shiu et al., 2017)	Escenarios de recuperación de agua y reciclaje de lodos para la gestión sostenible de recursos en una planta de tratamiento de aguas residuales en las islas Kinmen, Taiwán.
16	(Cheng et al., 2024)	Aplicación potencial de sistemas de saneamiento sin alcantarillado en centros sanitarios: un estudio de caso en Pekín, China.
17	(Marangon et al., 2020)	Reutilización de aguas residuales municipales tratadas en actividades productivas en las regiones semiáridas de Brasil
18	(Oishi et al., 2026)	Adaptación de los sistemas de saneamiento a las transiciones demográficas: Optimización de configuraciones híbridas de soluciones con y sin alcantarillado
23	(Flores Audibert, 2024)	Introducción a la modelación hidrológica, Evaluación de los Recursos [MWM110].
25	(Molina Paredes, 2024)	Evaluación de la calidad del recurso hídrico (Clase 1 y Clase 4), Gestión de la Captación y Tratamiento de Aguas [MWM120].
36	(Carvallo González, 2025)	Gestión de calidad total (TQM) y excelencia operacional (Lean Thinking), Eficiencia Hídrica [MWM130].
37	(Ortega, 2025)	Eficiencia hídrica en el sector agrícola, Eficiencia Hídrica [MWM130].
48	(Mzyece et al., 2026)	Validación de un modelo de red bayesiana para caracterizar la pérdida de organismos indicadores fecales de sistemas de fosas sépticas en cuencas rurales.

N°	Cita	Descriptor
49	(González et al., 2026)	Tratamiento terciario de aguas residuales domésticas para su reutilización: Implementación y evaluación en un contexto rural en Chile
50	(Li et al., 2026)	Un marco de optimización multiobjetivo para el tratamiento sostenible de aguas residuales rurales y su reutilización agrícola
51	(Wang et al., 2026)	Tratamiento eficiente de aguas residuales domésticas rurales mediante piedra pómez de vidrio derivada de residuos de vidrio en humedales artificiales: una vía hacia la valorización sostenible de los recursos.
52	(Martinez De La Hoz et al., 2026)	Pronóstico interpretable del oxígeno disuelto aprovechando un modelo fundamental para la aireación proactiva en sistemas rurales de tratamiento de aguas residuales.
54	(Li et al., 2026)	Enriquecimiento direccional de comunidades microbianas funcionales y regulación mutua de las vías metabólicas del nitrógeno y el fósforo durante el tratamiento de aguas residuales rurales mediante residuos de fermentación de residuos alimentarios
55	(Kumwimba et al., 2026)	Revelando el papel poco estudiado de la aireación con microburbujas y nanoburbujas en la mejora de la nitrificación parcial y la eliminación de contaminantes en sistemas rurales de lodos activados.
56	(Men et al., 2026)	Rendimiento de eliminación de contaminantes y mecanismo de obstrucción de un dispositivo integrado de recolección y tratamiento de aguas grises en viviendas rurales unifamiliares.
57	(Zhao et al., 2026)	Mejora de la eliminación conjunta de nutrientes y glifosato de las aguas residuales rurales en humedales artificiales impulsados por sifones: optimización y mecanismos.
LECTURAS COMPLEMENTARIAS		
3	(Coronel Picon & Seo, 2020)	Enfoques participativos en la planificación de proyectos de agua potable y saneamiento básico en zonas rurales de Colombia.
8	(Aguila Inostroza, 2025)	Marco Jurídico y Regulatorio de los Servicios Sanitarios Rurales en Chile

N°	Cita	Descriptor
11	(Müller et al., 2020)	Marco de evaluación de riesgos y sostenibilidad para el apoyo a la toma de decisiones en situaciones de "escasez de agua y reutilización del agua".
13	(Almuktar et al., 2018)	Humedales para el tratamiento de aguas residuales y el posterior reciclaje del efluente tratado: una revisión
15	(Wang et al., 2019)	Sistema de zanjas ecológicas para la eliminación de nutrientes de aguas residuales domésticas rurales en la zona montañosa de la cuenca central de Sichuan, China.
20	(Yoonus & Al-Ghamdi, 2020)	Rendimiento ambiental de los sistemas integrados de reutilización de aguas grises en edificios basados en el análisis del ciclo de vida: un análisis sistemático y bibliográfico
24	(Martín Vide, 2024)	El agua en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (Clase 6) y notas sobre planificación hidrológica (Clase 10), Gestión y Planificación de los Recursos Hídricos [MWM100].
26	(Kresse Zamorano, 2024)	Planificación en la industria sanitaria, Planificación y Dirección Estratégica [MWM510].
32	(Millán Romero, 2025)	Una mirada desde la gestión pública del MOP, Gestión de Redes [MWM400].
33	(Millán Romero, 2025)	Funciones y gestión de redes en el área pública, Gestión de Redes [MWM400].
34	(Leiva Henríquez, 2025)	Desafíos en gestión en ingeniería, Gestión de Redes [MWM400].
38	(Domínguez Carmona, 2025)	Riesgos antrópicos, continuidad de prestación de servicios, Riesgos y Conflictos en la Gestión de los Recursos [MWM140].
39	(Rojas Choque, 2025)	Aplicación grandes obras públicas, Gestión de Clientes [MWM540].
41	(Chae et al., 2026)	Desafíos y oportunidades en la reutilización de aguas residuales municipales tratadas para la agricultura en los Estados Unidos: una revisión crítica
42	(Li et al., 2025)	Los cambios en la dieta y los sistemas de saneamiento desiguales amplían la disparidad en la eficiencia del entorno de salud entre zonas urbanas y rurales.
43	(Shyu et al., 2025)	Sistema avanzado de saneamiento sin alcantarillado para el reciclaje de agua in situ en un asentamiento informal sudafricano

N°	Cita	Descriptor
43	(Shyu et al., 2025)	Sistema avanzado de saneamiento sin alcantarillado para el reciclaje de agua in situ en un asentamiento informal sudafricano
44	(Chan et al., 2020)	Adaptación climática para sistemas rurales de agua y saneamiento en las Islas Salomón: Un modelo de sistemas a escala comunitaria para el apoyo a la toma de decisiones.
45	(Delanka-Pedige et al., 2020)	Tecnologías convencionales frente a tecnologías de tratamiento de aguas residuales con algas: Recuperación de agua microbiológicamente segura para su reutilización agrícola.
46	(Andreo-Martínez et al., 2017)	Reutilización de aguas residuales domésticas recuperadas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal mejorado: un estudio de caso en el sureste de España
47	(Luckmann et al., 2016)	Cuando el ahorro de agua limita el reciclaje: Modelización de las interrelaciones del uso de aguas residuales en toda la economía.
53	(Li et al., 2026)	Lagunas biológicas mejoradas con un reactor de biopelícula de lecho móvil autotrófico para el mejoramiento del efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales rurales: rendimiento y mecanismos microbianos.
58	(Sun et al., 2026)	Tratamiento de aguas residuales domésticas rurales y flujo de CO2 desde la perspectiva del diseño paisajístico

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Percepción Nacional

La percepción del saneamiento en las zonas rurales de Chile a partir de las distintas noticias y análisis recientes por distintos medios de comunicación (noticias locales, MOP, universidades, Banco Mundial, etc.) es predominantemente crítica, caracterizada por un rezago estructural frente al ámbito urbano y una cobertura insuficiente, especialmente en el tratamiento de aguas servidas. Distintas fuentes coinciden en que, si bien el acceso al agua potable ha experimentado avances importantes gracias al programa APR del año 1964, que ha beneficiado a millones de personas en el país (Ministerio de Obras Públicas, 2024), el saneamiento continúa siendo una brecha significativa y un desafío pendiente, con baja cobertura de alcantarillado y tratamiento en comparación con los sistemas urbanos (El Libero, 2025).

Esta situación refleja una desigualdad estructural en el acceso a servicios básicos, donde el reconocimiento del agua y saneamiento como derecho humano no se traduce plenamente en acceso efectivo, evidenciado en que aún existen comunidades sin acceso adecuado o continuo, dependiendo de soluciones precarias o informales (El Observatodo, 2026).

A ello se suman factores como la dispersión territorial, la vulnerabilidad hídrica y la dependencia de sistemas comunitarios o asistencia estatal, lo que dificulta la implementación de infraestructura de saneamiento sostenible y continua en el tiempo (Diario Financiero, 2025).

Asimismo, se observa una percepción de lentitud en la inversión y necesidad de cambios estructurales, donde distintos actores plantean la urgencia de agilizar los proyectos, mejorar la institucionalidad y generar nuevos mecanismos de financiamiento, especialmente para sistemas rurales no concesionados o de pequeña escala (Soy Valdivia, 2026).

En conjunto, estas visiones configuran una percepción donde el saneamiento rural en Chile es entendido como un problema aún no resuelto, en el que coexisten avances importantes en agua potable con una deuda significativa en tratamiento de aguas servidas, requiriéndose mejoras profundas en gestión, inversión y enfoque territorial para alcanzar equidad y sostenibilidad en el acceso (Universidad de Chile, 2021).

Mirada de la Federación Nacional APR's Chile

La Federación Nacional APR's Chile, organización gremial que representa a los SSR del país, publicó en agosto de 2025 el documento *"Diagnóstico Nacional de Saneamiento Rural en Chile: Brechas, Desafíos y el Derecho al Saneamiento Digno"* (Anexo 12.5), que sistematiza la situación del saneamiento rural desde la perspectiva del propio sector comunitario y constituye un referente fundamental para esta investigación.

Cobertura nacional y distribución territorial: El diagnóstico revela que de los 2.445 SSR catastrados, apenas el 13,7% cuenta con algún tipo de sistema de tratamiento de aguas servidas, y solo 371 localidades rurales -equivalentes al 15,2% del total- disponen de redes de alcantarillado o plantas de tratamiento. La distribución territorial es marcadamente desigual: la macrozona centro concentra el 40% de la infraestructura existente, el sur el 36% y el norte apenas el 24%. El 69% de los SSR pertenece al segmento menor, lo que confirma que la brecha afecta especialmente a localidades pequeñas y dispersas (Federación Nacional APR's Chile, Agosto 2025).

Desempeño operacional: sólo el 26% de las plantas existentes opera sin problemas significativos, mientras un 74% presenta deficiencias graves, falta de mantenimiento o información desactualizada. Por tipo de tecnología, el panorama es especialmente preocupante: los lodos activados, tecnología más utilizada en SSR del país con un 63% de presencia, presentan fallas en el 69% de los casos; las fosas sépticas muestran problemas en el 85% de los sistemas analizados; y los lombrifiltros, pese a ser teóricamente más adecuados para zonas rurales, registran

dificultades en el 70% de los casos, principalmente por falta de capacitación y mantenimiento. Esta evidencia confirma que la elección tecnológica no puede basarse únicamente en el rendimiento teórico, sino que debe incorporar las capacidades reales de operación de los SSR (Federación Nacional APR's Chile, Agosto 2025)

Costos comparados según estudio BID: el diagnóstico, elaborado en coordinación con el Banco Interamericano de Desarrollo, entrega información comparativa de costos operacionales que constituye un insumo directo para esta investigación. Para sistemas de 2.500 habitantes, el lombrifiltro se presenta como la tecnología más económica con costos aproximados de UF 900 anuales; para 5.000 habitantes, los biodiscos rotatorios ofrecen un equilibrio entre eficiencia técnica y bajo costo operativo con UF 1.900 anuales; en contraste, los lodos activados convencionales superan fácilmente las UF 6.000 anuales, lo que representa un desafío financiero significativo para SSR con bajo poder adquisitivo (Federación Nacional APR's Chile, Agosto 2025).

Diagnóstico crítico de la política pública: la Federación advierte que la política pública en saneamiento rural ha replicado soluciones urbanas sin considerar las realidades territoriales, sociales y operativas de las comunidades, lo que se traduce en infraestructuras subdimensionadas, diseños estandarizados que no dialogan con la diversidad geográfica, ausencia de personal capacitado, falta de contratistas especializados en zonas apartadas y costos operacionales que sobrecargan a las organizaciones comunitarias. Como respuesta, el documento propone seis líneas estratégicas: intervención y mejora de las plantas existentes, ampliación gradual de cobertura, implementación de tecnologías sostenibles, integración de energías renovables y economía circular, fortalecimiento de la gestión comunitaria y actualización de la base de datos nacional (Federación Nacional APR's Chile, Agosto 2025).

El saneamiento rural como derecho: finalmente, el diagnóstico plantea una reflexión política que trasciende el ámbito técnico: el saneamiento rural no puede seguir siendo una excepción territorial ni una carga insostenible para las organizaciones comunitarias, sino que debe constituirse como un derecho garantizado con equidad. Los SSR, en esta visión, son más que prestadores de agua: son plataformas vivas de gobernanza territorial, dignidad compartida y cuidado comunitario. Esta perspectiva coincide con el enfoque de gestión integral y gobernanza cooperativa que orienta la propuesta desarrollada en esta investigación (Federación Nacional APR's Chile, Agosto 2025).

Nota: El catastro de la Federación reporta 2.445 SSR, levemente inferior a los 2.475 SSR mencionados en la Tabla 2.1 obtenidos directamente del catastro de la Subdirección de SSR. Esta diferencia se explica por la actualización progresiva del

catastro nacional, dado que la información utilizada en el presente informe corresponde a agosto de 2025, mientras que los datos en la web de la Subdirección reflejan una actualización posterior, realizada en diciembre de 2025.

4.1.3 Comparativa Experiencia Internacional

A partir del análisis del review bibliográfico, se presenta la siguiente tabla comparativa que sintetiza las dimensiones de tecnología, gestión y gobernanza en el ámbito del saneamiento, comparando la realidad de Chile con las experiencias internacionales (Tabla 4.2):

Tabla 4.2 Comparación de experiencia nacional vs internacional.

Dimensión	Experiencia en Chile	Experiencia Internacional
Tecnología	El sistema tradicional se basa en lodos activados y lagunas aireadas en zonas rurales. Existen innovaciones locales como los lombrifiltros y el sistema Biotreat (humedales optimizados).	Se desarrollan Sistemas de Saneamiento No Conectados a la Red (NSSS) avanzados, como el NEWgenerator en Sudáfrica, que utiliza biorreactores de membrana anaeróbicos. En China y Japón se emplean modelos de optimización por IA para aireación proactiva y sistemas híbridos como el Johkasou.
Gestión Integral	La operación recae en Comités y Cooperativas de Servicios Sanitarios Rurales. Persiste una brecha en personal calificado y los altos costos de energía eléctrica limitan la sostenibilidad operativa. El monitoreo de datos de calidad suele ser escaso o manual.	Países como Colombia utilizan el enfoque de Business Model Canvas para integrar procesos participativos y asegurar la sostenibilidad social. En las Islas Salomón, la gestión se centra en el "software" (capacitación y educación) más que solo en la infraestructura. Países Bajos integra la gestión hídrica con la consolidación de tierras para proyectos multifuncionales.
Gobernanza	Se rige por la Ley N°20.998, que busca dotar de institucionalidad al sector rural. Existe una marcada desigualdad espacial e ingresos; la cobertura es alta en zonas concentradas pero deficiente en poblaciones rurales dispersas. La fiscalización está a cargo de la SISS y Seremi de Salud.	China implementa la "Revolución de los Baños" y estrategias de control jerárquico basadas en análisis de clústeres para priorizar comunidades según su riesgo ambiental. Se han desarrollado estándares internacionales como la ISO 30.500 para regular sistemas de saneamiento autónomos y seguros.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.4 Hallazgos Clave del Contraste Internacional

- **Integración de Sistemas:** Mientras que en Chile la gestión hídrica y de tierras suelen ir por caminos separados, la experiencia de los Países Bajos demuestra que la sincronización operativa y financiera entre el agua y la tierra bajo un solo presupuesto provincial es vital para la resiliencia climática (Chan, et al., 2020).

- **Participación y Gobernanza:** Chile presenta una gobernanza centralizada a través del MOP, pero la experiencia internacional en Indonesia y Colombia sugiere que la participación obligatoria y formalizada de los usuarios y el diseño de tarifas que cubran los costos reales son los factores que determinan la funcionalidad a largo plazo (Yulieth Rossio & Seo, 2020).

- **Innovación en la Escasez:** Ante la sequía, Chile ha comenzado a explorar el reúso agrícola, pero fuentes internacionales advierten que el ahorro excesivo de agua en los hogares puede paradójicamente limitar la factibilidad de los sistemas de reciclaje al reducir el caudal necesario para que las plantas operen (Müller, Avellán, & Schanze, 2020).

- **Resiliencia Climática:** La experiencia en las Islas Salomón resalta que la resiliencia no viene de una sola tecnología, sino de contar con múltiples fuentes de agua interconectadas, permitiendo que las comunidades rurales se adapten mejor a eventos extremos como inundaciones o sequías (Chan, et al., 2020).

- **El juego Tripartito y la sostenibilidad social:** en Chile la gestión suele centrarse entre Estado y SSR, la experiencia en China destaca que las decisiones de saneamiento involucran un "juego de intereses tripartito" entre el gobierno, la ciudadanía y la agricultura. Para garantizar la sostenibilidad, se requiere una prestación equilibrada de servicios y responsabilidades entre estos tres actores a lo largo del tiempo, ya que la falta de capital social o de participación real de los vecinos limita la efectividad del tratamiento (Li, et al., 2024).

- **Estrategias de Control Jerárquico por Grupos:** Frente a la tendencia chilena de aplicar soluciones estandarizadas, en Chongqing (China) se utiliza el análisis de conglomerados (cluster analysis) para clasificar comunidades. Esto permite aplicar una estrategia de control jerárquico:
  - En comunidades con alto desarrollo, se prioriza la innovación tecnológica y supervisión estricta.
  - En zonas con menos recursos, la prioridad es la educación en salud y la inversión en infraestructura básica.
  - En Áreas periurbanas, se aprovecha la ventaja geográfica para lograr una interconexión operativa con las redes urbanas.

- **El Impacto Crítico de las Tarifas en la Funcionalidad:** El análisis de miles de proyectos en Indonesia (PAMSIMAS) arroja una cifra contundente: si los beneficiarios no pagan por el agua, la probabilidad de que el sistema falle es 20 veces mayor que en los sistemas con cobro de tarifas (Daniel, Pamudji Al Djono, & Prihesti Iswarani, 2023).

- **Adaptación a la Transición Demográfica:** En contextos como Japón y Suecia, la planificación del saneamiento está integrando la disminución de la población y el envejecimiento de la infraestructura. El hallazgo internacional sugiere que mantener sistemas centralizados tradicionales en áreas que pierden habitantes aumenta drásticamente los costos y las emisiones de gases de efecto invernadero; la solución óptima es la hibridación, combinando alcantarillado centralizado con sistemas avanzados no conectados a la red -como el Johkasou, lo que maximiza el rendimiento económico a 50 años (Oishi, Mizutani, Nakazato, McConville, & Sano, 2026).

4.2 Sistematización de Conceptos Claves

Se sistematizan los conceptos clave en ideas generales necesarias para abordar una solución integral en el caso de estudio (Tabla 4.3). En esta sección se presenta un resumen de la información recopilada a partir de webgrafía, artículos científicos y material docente del Master of Water Management (en adelante MWM) de la Universidad Técnica Federico Santa María (en adelante USM). Este análisis se estructura en tres pilares principales: gestión integral, marco legal y alternativas de solución para el saneamiento en zonas rurales. Para profundizar en cada palabra clave, se recomienda revisar la sección 12.4 de Anexos.

Tabla 4.3 Sistematización de Conceptos Claves.

Ideas Generales	Descripción Resumen		Palabras Claves
Ideas para la Gestión	[1]	Crear Mecanismos Legales y organizativos que sincronicen obras y las medidas de gestión del agua en un único proceso de Inversión.	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
	[2]	Mecanismo interministerial para alinear la vivienda, la planificación territorial y las estrategias de agua, saneamiento e higiene (WASH).	
	[3]	Plan alternativo de inversión y construcción para viviendas dispersas y zonas remotas sin desarrollar a fin de reducir los costos de inversión.	

Ideas Generales	Descripción Resumen		Palabras Claves
Ideas para la Gestión	[4]	Fortalecimiento de APRs mediante capacitación integral de sus dirigentes y personal técnico.	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
	[5]	Un modelo de gobernanza que permita coordinar comités, instituciones públicas y actores territoriales, facilitando la toma de decisiones conjunta.	
	[6]	Ministerio de Obras Públicas y de Recursos Hídricos, bajo esta dirección se articulen todas las instituciones vinculadas a la gestión del agua	
	[7]	Perspectiva de 'Una sola agua' (One-Water), integre el reúso de aguas residuales en la gestión del agua a escala de cuenca.	
	[8]	La planificación utilizada en la industria sanitaria puede aportar herramientas relevantes para el desarrollo de sistemas de SSR interconectados.	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios
	[9]	Planificación integral con enfoque Pre construcción.	
	[10]	Uso de análisis jerárquico, para resolver problemas de priorización incorporando actores involucrados.	
	[11]	Enfoque sistemático de gestión de riesgos es primordial para el saneamiento debido a la exposición de agentes críticos en las PTAS.	
	[12]	La gestión de clientes no debe limitarse al servicio final. Abarcar todo el ciclo de vida del proyecto, desde la planificación hasta la operación.	
	[13]	Seleccionar las tecnologías adecuadas según el contexto territorial, incorporando criterios ambientales, sociales y económicos.	
	[14]	Mala experiencia de cuando los proyectos incluyen EIA.	
	[15]	Utiliza un "Gemelo Digital" basado en modelos pre-entrenados permite gestionar plantas de tratamiento con un costo de monitoreo reducido.	
	[16]	Las áreas rurales requieren soluciones adaptadas a la dispersión geográfica y la falta de infraestructura.	
	[17]	Participación comunitaria en ubicación de la infraestructura, la elección de la tecnología, diseño de tarifas y requisitos de operación.	Aspectos Sociales
	[18]	Compartir costos profesionales y fortalecer capacidades técnicas, legales y administrativas entre comités.	
	[19]	Mejorar la aceptación requerirá una comunicación de riesgos transparente y una educación centrada en la eficacia del tratamiento.	

Ideas Generales	Descripción Resumen		Palabras Claves
	[20]	Si se va a reutilizar se debe considerar la participación de agricultores.	
Ideas para el Marco Legal	[21]	Lineamientos específicos para proyectos de sistemas interconectados entre servicios.	Regulación
	[22]	Mecanismos de acompañamiento técnico y financiero es caso de transferir PTAS y Redes de Aguas Servidas a los servicios.	
	[23]	Elaboración los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC).	
	[24]	Política agrícola y la gestión del agua con enfoque integral de planificación territorial.	Desarrollo Rural
	[25]	Combinación sinérgica entre gestión sólida, estructura tarifaria efectiva y conexiones domiciliarias.	
Ideas de alternativas de solución para el saneamiento en zonas rurales	[26]	Soluciones innovadoras en el país: lombrifiltros, humedales, biotreat, lecho verde vertical de juncos y filtro vegetal con fibra de coco.	Tecnología de Tratamiento
	[27]	Los humedales, una de las más adecuadas para eliminación de contaminantes, ventajas a los bajos costos de mantenimiento y energía requerida.	
	[28]	Las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar, como un complemento del sistema para efluentes.	
	[29]	Doyoo Yookasoo se pueden alcanzar eficiencias globales de remoción>90% de DBO y SST.	
	[30]	Sistema de zanjas ecológicas para altas concentraciones de nutrientes (Población <2.000).	
	[31]	Enfoque para eliminación de nitrógeno y fósforo para zonas rurales.	
	[32]	Dentro de las técnicas biológicas, los MBR (Bio-reactores de Membrana) son altamente efectivos para eliminar compuestos orgánicos.	
	[33]	Lombrifiltro requiere una menor inversión y menor costo de operación (Población <2.500).	
	[34]	La valorización depende de: personal, productos químicos, energía eléctrica, materiales y repuestos, servicio de laboratorio, transporte y disposición de lodos, servicio de Operación y mantención.	
	[35]	Tecnología basada en algas, efectivas para eliminación de orgánicos y nutrientes en un solo paso.	
	[37]	La integración de MBBR con desnitrificación autotrófica presenta un enfoque prometedor para tratar efluentes de PTAR rurales con baja relación DBO5/TN y alto OD.	

Ideas Generales	Descripción Resumen		Palabras Claves
Ideas de alternativas de solución para el saneamiento en zonas rurales	[38]	La aireación por micro y nanoburbujas permitiría tratar el nitrógeno de forma mucho más eficiente.	Tecnología de Tratamiento
	[39]	Transformar el sitio de tratamiento en un activo paisajístico para la comunidad, monitoreando proactivamente las emisiones de CO2.	
	[40]	Tecnologías de PTAS con bajo consumo de energía, fácil gestión y alta eficiencia.	
	[41]	Modelos descentralizados de saneamiento, para territorios dispersos y de baja densidad.	Tratamiento Descentralizado
	[42]	Los NSSS constituyen una solución técnicamente viable y estratégicamente pertinente para contextos sin cobertura de redes tradicionales.	
	[43]	Destaca la modularidad, la adaptabilidad territorial y la menor necesidad de inversión inicial.	
	[44]	Tratamiento segregado en aguas grises (50-80% del consumo total) mediante dispositivos de bajo costo que utilizan residuos locales, abordando además el problema crítico de la colmatación.	
	[45]	Soluciones pueden integrarse en esquemas descentralizados o híbridos. Las soluciones híbridas pueden implementarse y desmantelarse de manera más flexible.	Alcantarillado
	[46]	Su desempeño depende de condiciones locales y del diseño adecuado.	
	[47]	Los sistemas de saneamiento no convencionales constituyen una alternativa viable en contextos donde no existe infraestructura de alcantarillado.	
	[48]	El análisis PEST (políticos, económicos, sociales y tecnológicos) es una herramienta poderosa y ampliamente utilizada para comprender los riesgos estratégicos.	
	[49]	El modelo de biopurificación reduce la necesidad de grandes inversiones en redes y plantas, permitiendo una implementación modular y escalable.	
	[50]	La representación de la situación de “Escasez – Reutilización” del agua como un sistema integrado facilita el análisis del riesgo.	Reutilización de Aguas Servidas
	[51]	La reutilización del agua recuperada para aplicaciones agrícolas se consideró el enfoque más respetuoso con el medio ambiente.	

Ideas Generales	Descripción Resumen		Palabras Claves
Ideas de alternativas de solución para el saneamiento en zonas rurales	[52]	Los beneficios económicos del reciclaje de lodos para aplicaciones agrícolas también lo convirtieron en una opción atractiva para la gestión de lodos.	Reutilización de Aguas Servidas
	[53]	Las aguas grises constituyen entre el 50% y el 80% de las aguas residuales domésticas.	
	[54]	Los potenciales usos de aguas residuales son: uso de sistemas naturales, irrigación de suelo agrícola, riego de parque, uso industrial, minería, recarga de acuíferos subterráneos, uso recreacional y generación de energía.	
	[55]	La reutilización de aguas servidas requiere evaluaciones integrales de calidad y riesgo.	
	[56]	Promover el aprovechamiento de subproductos de biogás.	
	[57]	Considerar sistema protección de capas (SIL).	
	[58]	Los trenes de tratamiento híbridos e integrados ofrecen el camino más prometedor para producir agua de riego de alta calidad.	
	[59]	El reúso de aguas residuales para la agricultura solo es práctico en áreas específicas debido a la competencia con otros sectores.	
	[60]	El sistema A-WWR fue capaz de suprimir la propagación de la resistencia (antibiótica) y proporcionar agua reclamada más segura para el reúso agrícola.	
	[61]	Diseñar para dos configuraciones operativas óptimas: una para la descarga de efluentes de alto estándar y otra para la reutilización orientada al riego.	
	[62]	Promover un aprovechamiento multifuncional y sostenible del recurso hídrico.	Obras Multipropósito
	[63]	La integración de la estética paisajística con el rendimiento técnico y la huella de carbono de los sistemas de saneamiento.	
	[64]	Monitoreo de seguimiento participativos, incrementar conocimiento local para conservación de ecosistemas.	Calidad del Agua
	[65]	Mejorar Información de principales impactos; Agroquímicos, Compuestos farmacéuticos, orgánicos.	
	[66]	Dinámica del OD exhibe variabilidad estacional; temperatura, duración de la luz solar, actividad microbiana y retención hidráulica.	

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Sujeto de Estudio

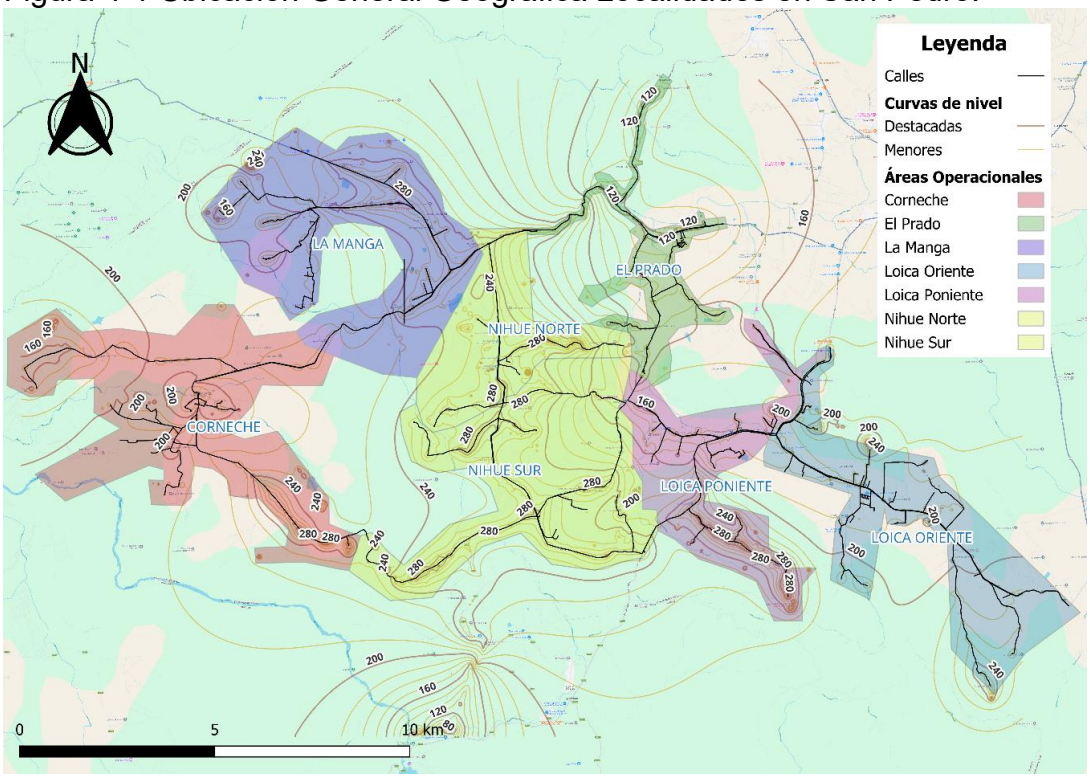
A continuación, se presenta la información relevante sobre el sujeto de estudio, abarcando su ubicación geográfica, la densidad de habitantes, la situación sanitaria y las características económicas de la zona

4.3.1 Ubicación Geográfica

La zona de San Pedro a estudiar corresponde a los siguientes cinco sectores: Loica, Nihue, El Prado, Corneche y La Manga, pertenecientes a la provincia de Melipilla en la Región Metropolitana de Santiago.

En la Figura 4-1 se muestra un plano de ubicación general de las localidades pertenecientes a San Pedro y las áreas de cobertura. Para los casos de Nihue y Loica se separan debido a cómo son administrados respecto al agua potable.

Figura 4-1 Ubicación General Geográfica Localidades en San Pedro.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Resultados Encuesta Socio-Económica

De acuerdo con la encuesta socio-económica efectuada durante los trabajos de terreno por la consultora Alpha Ingeniería de Proyectos Ltda. en septiembre del 2021, se contabilizaron 5.422 habitantes, distribuidos en 1.760 viviendas que contaban con habitantes presentes en la vivienda al momento de llevar a cabo la encuesta. La densidad de habitantes promedio es de 3,1 habitantes por vivienda.

Tabla 4.4 Densidad de Habitantes para cada SSR.

Localidad	Población (Hab)	Viv. Con Respuesta	Densidad Hab. (hab/viv)
Corneche	521	151	3,5
El Prado	867	328	2,6
Las Loicas	2.312	750	3,1
Nihue	1.002	327	3,1
La Manga	720	204	3,5
Total	**5.422**	**1.760**	**3,1**

Fuente: Elaboración Propia a partir de estudio de Alpha Ingeniería Ltda.

Como se observa en la Tabla 4.4, la concentración de más viviendas se encuentra en la localidad de Las Loicas, con 750 unidades.

4.3.3 Situación Sanitaria

A continuación, se describe cómo estos sectores se abastecen de agua y cómo gestionan la disposición de sus excretas. Cabe señalar que los totales entre ambas variables no coinciden exactamente, dado que parte de los encuestados optó por no declarar su sistema de disposición de excretas, posiblemente por temor a implicancias derivadas del eventual incumplimiento de la normativa sanitaria vigente.

Abastecimiento de Agua

En la actualidad, los habitantes de las localidades cuentan principalmente con red de Agua potable por un SSR que constituye el 46% respecto de los distintos tipos de abastecimiento, como se observa en la Tabla 4.5 y Figura 4-2.

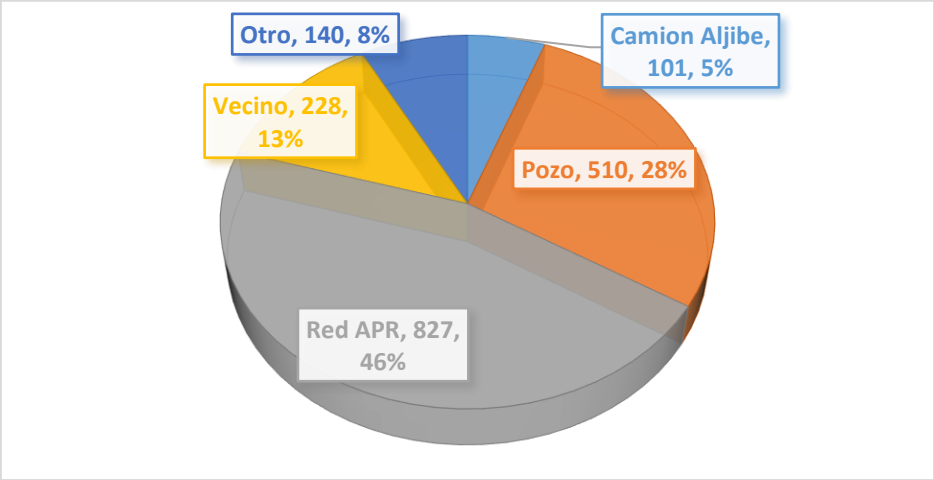
Tabla 4.5 Abastecimiento de Agua.

Abastecimiento de Agua	Cantidad
Camión Aljibe	101
Pozo	510
Red SSR	827
Vecino	228
Otro	140
Total	**1.806**

Fuente: Elaboración Propia a partir de estudio de Alpha Ingeniería Ltda.

Nota: Se consideran viviendas con respuesta, edificios públicos y negocios (total de 1.806 construcciones).

Figura 4-2 Abastecimiento de Agua Potable en San Pedro.



Fuente: Elaboración Propia a partir de estudio de Alpha Ingeniería Ltda.

Disposición de Excretas

En la actualidad, los habitantes de las localidades principalmente la disposición de excretas la realiza con fosas sépticas con un 80%, como se observa en la Tabla 4.6 y Figura 4-3.

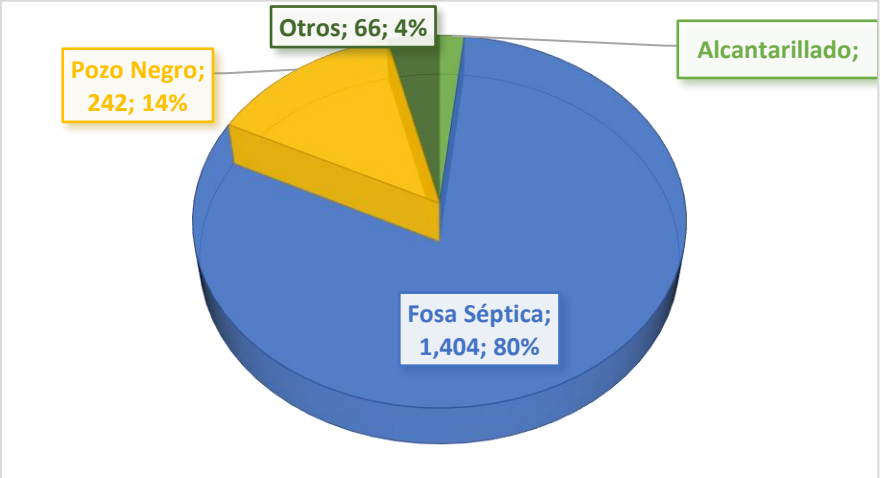
Tabla 4.6 Disposición de Excretas San Pedro.

Tipo de Disposición Excretas	Cantidad
Alcantarillado	31
Fosa Séptica	1.404
Pozo Negro	242
Otros	66
Total	**1.743**

Fuente: Elaboración Propia a partir de estudio de Alpha Ingeniería Ltda.

Nota: Se consideran viviendas con respuesta, edificios públicos y negocios (total de 1.743 construcciones).

Figura 4-3 Disposición de Excretas en San Pedro.



Fuente: Elaboración Propia a partir de estudio de Alpha Ingeniería Ltda.

4.3.4 Actividad Económica

De acuerdo con los resultados de la encuesta, la principal actividad económica en San Pedro Sur corresponde a la agricultura, con 507 viviendas, lo que representa un 29%. En segundo lugar, se encuentra la condición de pensionado/a, con 350 viviendas, equivalente al 20%, como se observa en la Tabla 4.7 y Figura 4-4.

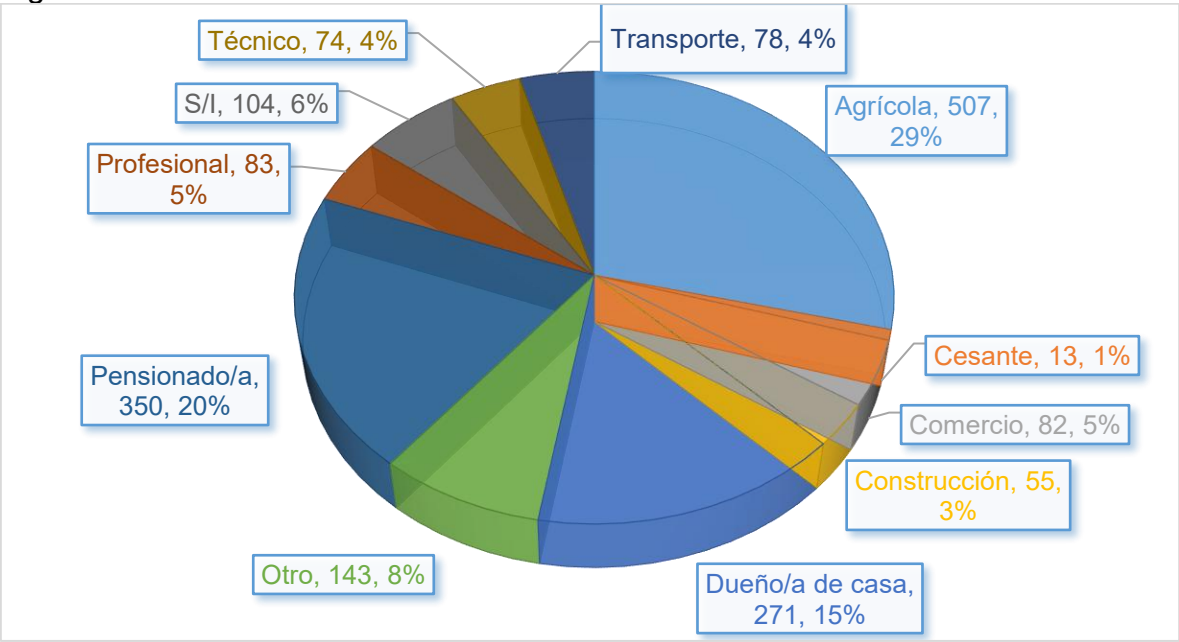
Tabla 4.7 Actividad Económica San Pedro.

Actividad Económica	Cantidad
Agrícola	507
Cesante	13
Comercio	82
Construcción	55
Dueño/a de casa	271
Otro	143
Pensionado/a	350
Profesional	83
S/I	104
Técnico	74
Transporte	78
Total	**1.760**

Fuente: Elaboración Propia a partir de estudio de Alpha Ingeniería Ltda.

Nota: Se consideran viviendas con respuesta (total de 1.760 construcciones).

Figura 4-4 Actividad Económica San Pedro.



Fuente: Elaboración Propia a partir de estudio de Alpha Ingeniería Ltda.

4.3.5 Viviendas área de estudio

El análisis del área de estudio inicia con la identificación y cuantificación de las viviendas existentes en los cinco sectores que componen el territorio de San Pedro. El catastro de viviendas se elaboró integrando dos fuentes de información complementarias: el levantamiento topográfico realizado por Alpha Ingeniería Ltda. en el marco del proyecto de interconexión de agua potable, y la verificación visual mediante imágenes satelitales disponibles en QGIS a través del proveedor Google a la fecha del estudio, asignando puntos georreferenciados en donde se encuentra una vivienda. Esta combinación permitió validar y actualizar el catastro original, incorporando las viviendas construidas con posterioridad al levantamiento topográfico inicial.

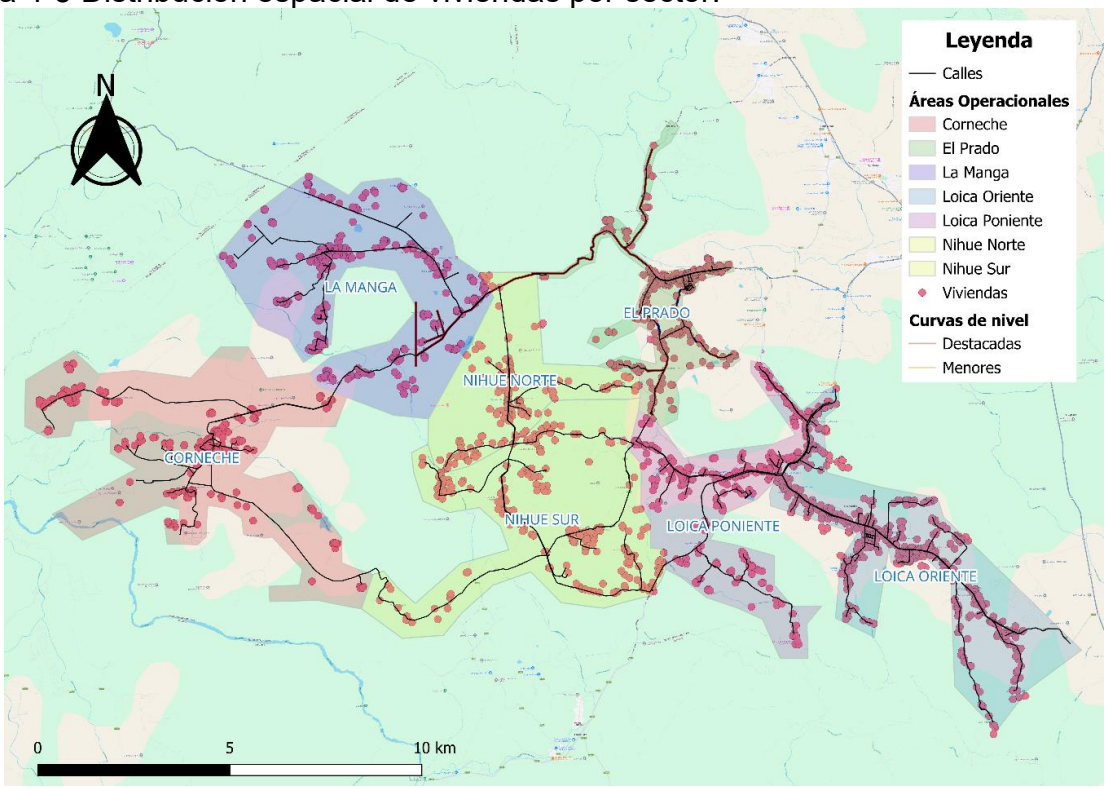
El resultado del catastro identifica un total de 2.448 viviendas distribuidas en siete subsectores que conforman los cinco SSR del área de estudio, considerando que tanto Loica como Nihue presentan una división interna por su extensión territorial. La distribución por subsector se presenta en la Tabla 4.8 y se visualiza espacialmente en la Figura 4-5, permitiendo identificar los principales núcleos de concentración habitacional y aquellos sectores que presentan una distribución más dispersa.

Tabla 4.8 Viviendas por área de estudio.

Sector	Subsector	Viviendas (Cantidad)
Corneche	Corneche	239
El Prado	El Prado	461
La Manga	La Manga	414
Loica	Loica Oriente Loica Poniente	608 293
Nihue	Nihue Norte Nihue Sur	191 242
Total		**2.448**

Fuente: Elaboración propia a partir de catastro de Alpha Ingeniería Ltda. y verificación con imagen satelital de Google en QGIS.

Figura 4-5 Distribución espacial de viviendas por sector.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la distribución por sector evidencia una marcada heterogeneidad territorial. Los principales núcleos de concentración habitacional se identifican en Loica Oriente con 608 viviendas (24,8% del total), El Prado con 461 viviendas (18,8%) y La Manga con 414 viviendas (16,9%), sectores que en conjunto agrupan al 60,5% de las viviendas del área de estudio. Esta heterogeneidad es relevante para el desarrollo posterior de la investigación, ya que la viabilidad técnica y económica de las distintas alternativas tecnológicas de saneamiento depende directamente de la densidad habitacional de cada sector, condición que será analizada en detalle en la caracterización territorial de la sección 7.1.

4.4 Marco Teórico del Estado del Arte

Del análisis bibliográfico realizado, se generó un mapa Mental (Figura 4-6) de la investigación, con el objetivo de ordenar por fases los pasos a seguir para evaluar la factibilidad de implementación de soluciones de saneamiento para los SSR interconectados en el sujeto de estudio, considerando las particularidades técnicas, territorio, gobernanza y sociales pertenecientes a esta zona. Enfocando hacia un modelo de gestión integral del agua.

Figura 4-6 Mapa Mental.



Fuente: Elaboración Propia.

5. PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

5.1 Fase 1: Revisión documental, percepción y marco teórico del saneamiento rural

Actividad 1

Se revisó la documentación disponible sobre diversas soluciones y experiencias de saneamiento rural, tanto a nivel nacional como internacional. Este análisis permitió identificar y comparar distintos enfoques técnicos, de gestión, gobernanza y tecnología. A partir de ello, se definieron las alternativas más adecuadas para el sujeto de estudio.

Actividad 2

Se analizaron diversas fuentes informativas y noticias relacionadas con el saneamiento rural, con el objetivo de comprender la percepción y valoración de las comunidades frente a estas soluciones. Este enfoque permite incorporar una dimensión social al estudio. Así, se identifican brechas y expectativas.

Actividad 3

Se estableció la vinculación entre los contenidos del Magíster en Gestión del Agua de la Universidad Técnica Federico Santa María y la presente investigación. Esta integración permite identificar aportes conceptuales y herramientas técnicas aplicables. De este modo, se fortalece el sustento académico y metodológico, promoviendo una visión sistemática de la gestión integral del agua.

Actividad 4

En este apartado se formula el marco teórico del estado del arte, integrando los resultados obtenidos en los objetivos anteriores. Se sistematizan conceptos, enfoques y experiencias relevantes en saneamiento rural, permitiendo estructurar una base teórica sólida que sustente el desarrollo de la investigación. De este modo, se favorece la obtención de resultados de manera ordenada y con respuestas claras.

5.2 Fase 2: Percepción regional y caracterización del sujeto de estudio

Actividad 5

Se definirán los criterios técnicos y normativos basados en la regulación vigente, con el propósito de identificar tecnologías de saneamiento aplicables en Chile. Este marco permite orientar la selección de soluciones. Además, asegura coherencia con las exigencias legales y condiciones locales.

Actividad 6

Se analiza la percepción de los SSR en la Región Metropolitana respecto a la implementación de sistemas de saneamiento en sus localidades. Esta información permite comprender el nivel de interés, disposición, oportunidades y brechas. Así, se incorpora la visión integral territorial en la toma de decisiones respecto a su futuro.

Actividad 7

Se establecerá un análisis de multicriterio que vincula las distintas visiones del panel de expertos respecto al saneamiento rural. Permitiendo sistematizar y comparar opiniones técnicas, estratégicas, de gestión y gobernanza. De esta manera, se facilita la toma de decisiones informadas.

Actividad 8

A partir de los resultados del análisis multicriterio de la actividad 7, se clasificará el territorio de San Pedro según su morfología en sectores concentrados, semiconcentrados y dispersos, mediante cartografía y catastro de los cinco SSR. Las tecnologías preseleccionadas se contrastarán con los criterios técnicos y normativos de la actividad 5, determinando la solución más adecuada para cada tipo de zona, decisión que sustenta el diseño conceptual del sistema en el objetivo siguiente.

5.3 Fase 3: Diseño Conceptual de implementación de saneamiento rural

Actividad 9

Tomando como base la selección tecnológica de la actividad 8, se desarrollará el diseño conceptual del sistema estructurado en dos componentes complementarios: una propuesta de red mixta (troncal convencional y ramales condominiales) para zonas concentradas y semiconcentradas, con descarga por etapas a una misma planta de tratamiento, y soluciones descentralizadas para zonas dispersas. Ambos componentes serán articulados mediante un esquema de interconexión operativa que establezca los puntos de integración, flujos de operación y requerimientos mínimos de infraestructura compartida entre los cinco SSR.

5.4 Fase 4: Evaluar la factibilidad técnica, económica y de gestión

Actividad 10

Con el diseño definido en la actividad 9, se evaluará la factibilidad en tres dimensiones: técnica, verificando compatibilidad con el territorio y la normativa; económica, estimando la inversión requerida y la sostenibilidad financiera para las comunidades; y de gestión, identificando las condiciones organizacionales para administrar conjuntamente un sistema de esta naturaleza.

Actividad 11

A partir de los resultados de la actividad 10, se formulará un modelo que estructure la operación conjunta de los cinco SSR, definiendo roles, mecanismos de coordinación operativa e instancias de decisión colectiva, reconociendo que el sistema diferenciado requiere capacidades administrativas distintas según el tipo de solución. El modelo incorporará además los vínculos con actores externos relevantes, asegurando coherencia con el marco normativo vigente.

5.5 Fase 5: Modelo de Gobernanza y aplicabilidad de solución

Actividad 12

Integrando los resultados de las actividades 9 a la 11, se identificarán las condiciones determinantes para que el sistema pueda implementarse y sostenerse en el tiempo, considerando factores internos de los SSR, como capacidad técnica y organizacional, y factores externos, como financiamiento y apoyo institucional. Los factores críticos serán ponderados según su impacto, generando un insumo concreto para la toma de decisiones y para el objetivo siguiente.

Actividad 13

Con base en los factores críticos de la actividad 12 y los resultados acumulados del caso de estudio, se elaborarán lineamientos metodológicos que orienten la replicación del modelo en otros SSR de la Región Metropolitana con características similares. Se identificarán las variables territoriales que determinan la aplicabilidad del enfoque, estableciendo un perfil de SSR para los cuales la experiencia de San Pedro resulta transferible.

Actividad 14

A partir de las brechas normativas identificadas en los capítulos precedentes, se formulan recomendaciones de ajuste para tres cuerpos legales que inciden directamente en la viabilidad del modelo propuesto: la Ley N°20.998, que no contempla la operación conjunta de SSR interconectados ni reconoce la cooperativa de segundo grado como operador habilitado ante la SISS; el DL N°3.516, que permite subdivisiones rurales sin exigir dotación de saneamiento, generando

dispersión territorial incompatible con sistemas colectivos; y el DFL N°5 de 2003, que carece de disposiciones específicas para cooperativas de SSR. Cada recomendación se contrasta con el Boletín N°17.877-33, identificando qué brechas aborda la iniciativa legislativa en curso y cuáles permanecen sin respuesta.

5.6 Fase 6: Conclusiones y Recomendaciones

En esta fase se elaboran las conclusiones y recomendaciones de la investigación. Las conclusiones se estructuran en dos niveles: primero, una conclusión por cada objetivo específico, que verifica su grado de cumplimiento y sintetiza los principales hallazgos asociados; y segundo, una conclusión general que integra dichos resultados y responde al objetivo general del estudio.

Las recomendaciones, por su parte, se organizan en tres ámbitos complementarios: profesionales, orientadas a los equipos técnicos e instituciones del sector; de aplicación, referidas a la implementación práctica del modelo propuesto y sus condiciones habilitantes; y personales, que recogen los aprendizajes obtenidos durante el proceso. Este conjunto se complementa con un análisis de escenarios que anticipa distintas trayectorias de implementación y sus cursos de acción recomendados.

5.7 Programación Etapas del estudio

Este modelo de actividades se estructura en una unidad cronológica de 14 etapas, que permite abordar de manera sistemática la evaluación de factibilidad del saneamiento en SSR interconectados. La programación o distribución de los tiempos del estudio se reflejan a través de la Carta Gantt representada en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Programación de las etapas del estudio.

ETAPA DEL ESTUDIO	SEMANAS																											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Fase1: Revisión documental, percepción y marco teórico del saneamiento rural																												**37**
Actividad 1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																12
Actividad 2				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■															10
Actividad 3				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■														11
Actividad 4												■	■	■	■													4
Fase2: Percepción regional y Caracterización del estado actual																												**34**
Actividad 5												■	■	■	■													4
Actividad 6										■	■	■	■	■	■	■	■	■										9
Actividad 7										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							12
Actividad 8													■	■	■	■	■	■	■	■	■							9
Fase 3: Diseñar Conceptual de implementación de saneamiento rural																												**5**
Actividad 9																			■	■	■	■	■					5
Fase 4: Evaluar la factibilidad técnica, económica y de gestión																												**7**
Actividad 10																			■	■	■	■	■					5
Actividad 11																							■	■				2
	dic-25			**ene-26**				**feb-26**				**mar-26**				**abr-26**				**may-26**				**jun-26**				

Continuación Tabla 5.1 Programación de las etapas del estudio.

ETAPA DEL ESTUDIO	SEMANAS																										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Fase 4: Modelo de Gobernanza y aplicabilidad de solución																												**7**
Actividad 12																												5
Actividad 13																												2
Actividad 14																												2
Fase 5: Conclusiones y recomendaciones																												**2**
Conclusiones																												1
Recomendaciones																												1
	dic-25			**ene-26**				**feb-26**				**mar-26**				**abr-26**				**may-26**				**jun-26**				

Fuente: Elaboración propia.

6. APLICACIÓN METODOLÓGICA

6.1 Criterios Técnicos, Normativos y Tecnologías en Chile

El desarrollo de soluciones de saneamiento en Chile exige una adecuada integración de criterios técnicos, normativos y tecnológicos que garanticen su eficiencia, aplicabilidad, sostenibilidad y cumplimiento regulatorio. En este contexto, resulta fundamental analizar el marco normativo vigente, junto con los principales lineamientos técnicos y las tecnologías disponibles en el país, con el fin de comprender las condiciones que orientan la planificación, diseño e implementación de sistemas de saneamiento en entornos rurales, e identificar qué tecnologías de la experiencia internacional resultarían aplicables al caso de estudio.

6.1.1 Normativa Existente

El marco normativo vigente constituye un pilar fundamental para el desarrollo e implementación de soluciones de saneamiento, ya que establece los requisitos, estándares y lineamientos que deben cumplir los sistemas para asegurar su correcto funcionamiento y resguardar la salud pública y el medio ambiente. En este contexto, se señalan las leyes y sus reglamentos, normas chilenas y manuales con el fin de comprender las exigencias regulatorias aplicables y su incidencia en la planificación, diseño y operación de los sistemas de saneamiento en el ámbito rural.

<u>Leyes, Reglamentos y Normas Chilenas</u>

1. Ley N°20.998: Regula Los Servicios Sanitarios Rurales. Última actualización: 17 de julio del año 2023.
2. Decreto 50, Reglamento de la Ley Nº 20.998, que regula los Servicios Sanitarios Rurales. Última actualización: 19 de enero del año 2021.
3. Ley N°3.516, establece Normas sobre división de predios rústicos.
4. Manual de fiscalización de la Superintendencia de Servicios Sanitarios: Continuidad Alcantarillado, Servicios Sanitarios Rurales de los Segmentos Mayor y Mediano. Tercera Edición, agosto 2025.
5. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). DS 40/2012 (MMA).
6. Regula el diseño y cálculo de redes de alcantarillado de aguas residuales. NCh 1105:2019.
7. Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. DS 90/2000.

8. Circular Nº 4B/95 de 1991 Reglamento de alcantarillados particulares.
9. DS MOP Nº 609/1998. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.
10. Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. DS 46/2002.
11. Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado. DS 609/1998.
12. Requisitos de calidad de agua para diferentes usos. NCh 1333. Of 87.
13. Manual de proyectos de aguas servidas de la Dirección de Obras Hidráulicas. Última actualización: octubre de 2023.
14. Reglamento para manejo de lodos de PTAS. DS 4/2009 (MINSEGPRES).
15. Agua Potable – Parte 1: Requisitos. NCh 409 Of 2005.
16. DFL N°5 de 2003: Ley General de Cooperativas en Chile.

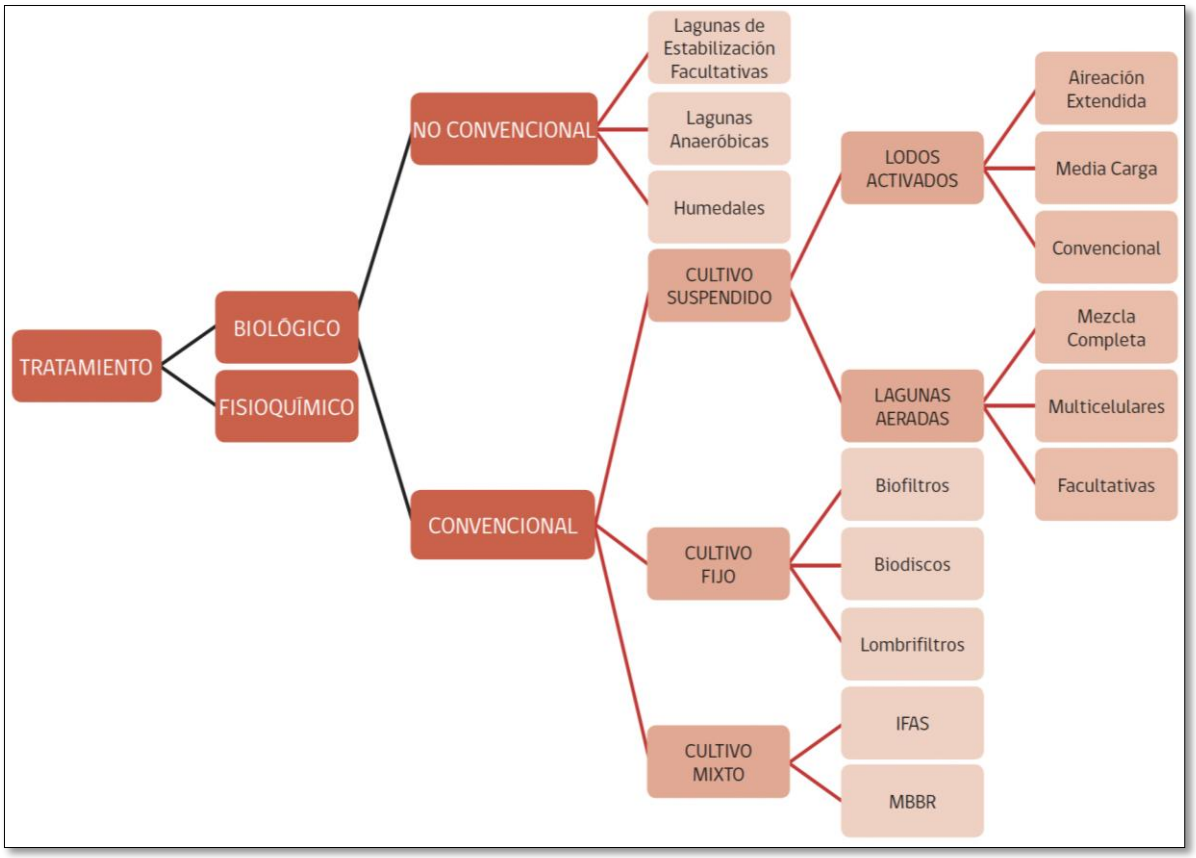
6.1.2 Tecnologías Aplicadas para el tratamiento de Aguas Servidas en ámbito rural en Chile

El saneamiento en el sector rural en Chile presenta desafíos técnicos distintos a los sistemas urbanos centralizados, aplicándose criterios específicos principalmente en zonas con baja densidad habitacional o donde la distancia a redes de alcantarillado existentes es significativa. La selección de la tecnología idónea en Chile depende de factores locales críticos como la mecánica de suelos, la permeabilidad, el nivel freático, topografía y la disponibilidad de espacio (Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018).

Clasificación de las Tecnologías de Tratamiento

Las alternativas de tratamiento de aguas servidas aplicadas en el territorio nacional se dividen fundamentalmente en sistemas biológicos y fisicoquímicos. Mientras que los tratamientos fisicoquímicos se basan en reacciones provocadas por reactivos específicos, los biológicos se subdividen en convencionales (sistemas mecanizados como lodos activados) y no convencionales (sistemas naturales como humedales, lagunas o lombrifiltros). Para visualizar el espectro de alternativas, se utiliza el siguiente mapa (Figura 6-1):

Figura 6-1 Mapa de alternativas de tratamiento de Aguas Servidas.



Fuente: Estudio soluciones sanitarias para el sector rural (Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018).

Alternativas en Sistemas Descentralizados

En Chile, la vasta experiencia nacional en el sector urbano ha permitido trasladar conocimientos hacia el mundo rural, buscando hoy soluciones que aseguren control operacional y costos razonables para los comités y cooperativas. Actualmente, se consideran como base mínima los sistemas basados en fosas sépticas, evolucionando hacia tratamientos secundarios y avanzados según la exigencia normativa del DS90 del año 2000.

Las componentes unitarias más utilizadas en sistemas pequeños y descentralizados se resumen en la Tabla 6.1:

Tabla 6.1 Alternativas típicas de tratamiento de aguas servidas en sistemas.

Tipo de Tratamiento	Alternativa
Primario	Fosas Sépticas Tanques Imhoff
Primario Avanzado	Fosas Séptica - cámara de filtración Fosas Séptica - reactor de cultivo fijo Sedimentación primaria químicamente asistida
Secundario	Tratamiento biológico aeróbico Lombrifiltro Filtro de arena de flujo intermitente Filtro de grava con recirculación Lagunas Humedales artificiales
Avanzado	Tratamiento en el suelo Filtros de lecho empacado, intermitentes y con recirculación Filtración rápida Desinfección

Fuente: Estudio soluciones sanitarias para el sector rural (Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018).

Consideraciones para el Diseño Rural

Para la implementación exitosa de estas tecnologías en Chile, es imperativo que las bases de cálculo (dotación, caudales de diseño y carga orgánica) sean representativas de la localidad rural específica, evitando el error frecuente de aplicar diseños "tipo" que no consideran la variabilidad estacional o el aporte per cápita real de la zona. Asimismo, el diseño debe prever la gestión de lodos, optando preferentemente por lechos de secado en zonas donde el clima lo permite, dada su simplicidad operativa frente a sistemas mecanizados (Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018).

6.2 Análisis de Percepción Regional de los SSR en la Región Metropolitana

La adecuada gestión del saneamiento en sectores rurales constituye un desafío clave para mejorar la calidad de vida y la sostenibilidad de estos territorios. Por ello, resulta fundamental comprender la visión y disposición de los SSR (ver anexo 12.1), como actores principales en la provisión de estos servicios. En este contexto, el presente análisis permite conocer la percepción de la región Metropolitana de dichos servicios respecto a la implementación de sistemas de saneamiento en sus localidades, con el fin de identificar oportunidades, brechas y posibles lineamientos para su desarrollo futuro. La encuesta fue realizada desde el 2 de abril hasta 30 de junio del 2026.

6.2.1 Universo de SSR vs Encuestas

Para el análisis de los subcapítulos siguientes se utiliza la información recopilada en el catastro propio, correspondiente a un total de 131 servicios, que incluye aquellos que no dependen directamente del MOP, los que corresponden a futuras construcciones y los que operan con sistemas precarios de abastecimiento de agua potable (Tabla 6.2).

Tabla 6.2 Resultados de encuesta en Universo de SSR.

Provincia	SSR (Cantidad)			Resultados Encuesta			
				MOP		Catastro	
	MOP	Catastro	Diferencia	Cantidad	%	Cantidad	%
Chacabuco	27	31	+4	15	56%	16	52%
Cordillera	5	8	+2	5	100%	8	100%
Maipo	16	17	+2	12	75%	12	71%
Melipilla	44	51	+7	23	52%	28	55%
Santiago	3	3	-	2	67%	2	67%
Talagante	20	21	+1	11	55%	11	52%
Total General	**115**	**131**	**+16**	**68**	**59%**	**77**	**59%**

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 6.2, tanto el catastro del MOP como el personal presentan un 59% de encuestas satisfactorias. Con el propósito de contar con una muestra de mayor representatividad, se selecciona el que posee la mayor cantidad de respuestas, correspondiente al catastro propio, el cual considera un total de 77 encuestas de diferentes SSR.

6.2.2 Año de Construcción

La definición de los rangos de años a costrucción no es arbitraria, sino que responde a hitos relevantes en la evolución normativa, institucional y técnica del saneamiento y los SSR en Chile, los cuales han condicionado directamente el diseño, construcción y operación de los sistemas.

- **Menor a 1964:** período previo a la intervención sistemática del Estado en agua potable rural.
- **Período 1964 a 1993:** se vincula con la creación del Programa de Agua Potable Rural (APR) impulsado por el Estado, que introduce por primera vez lineamientos técnicos, financiamiento público y apoyo institucional, con enfoque en agua potable.
- **Periodo 1994 a 2016:** consolidación del modelo sanitario bajo un marco regulatorio más robusto, influenciado por la modernización del sector sanitario. En este período se fortalecen los estándares técnicos, la fiscalización y se incorporan progresivamente exigencias ambientales y de calidad del servicio, aunque el saneamiento rural sigue rezagado respecto del urbano.

- **Período 2017 a 2019**: es relevante como fase de transición normativa. Este proceso culmina con la promulgación de la Ley N°20.998, que establece un marco legal propio para los SSR.
- **Periodo desde 2020:** refleja la implementación de esta nueva ley y su reglamento (como el Decreto N°50), lo que implica un cambio significativo hacia mayores estándares técnicos, sanitarios y administrativos, incluyendo la incorporación del saneamiento como un componente más integral, el fortalecimiento de la gestión comunitaria y mayores exigencias en diseño, tratamiento y disposición de aguas servidas.

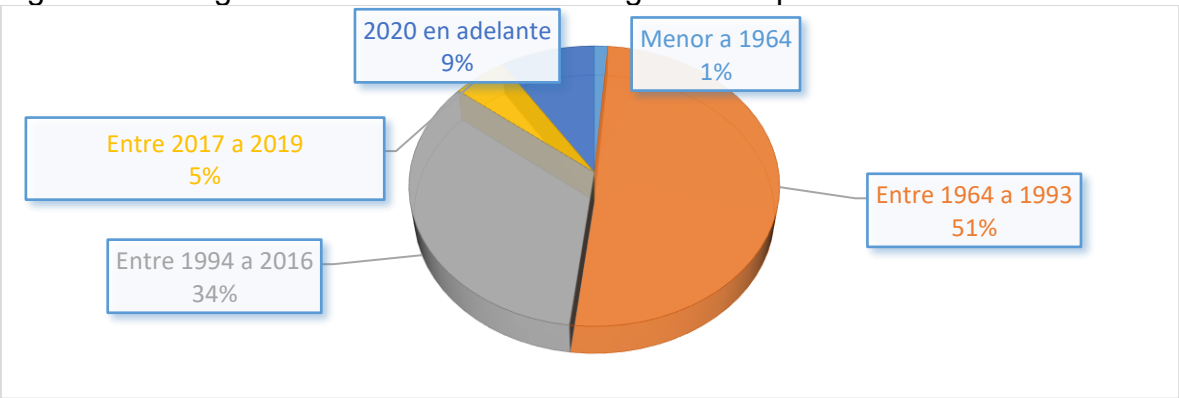
En conjunto, estos rangos permiten analizar cómo las condiciones de origen de los sistemas están directamente influenciadas por el contexto normativo vigente al momento de su construcción, lo que explica diferencias en tecnología, calidad del servicio y nivel de cumplimiento sanitario.

Tabla 6.3 Rango año construcción SSR Región Metropolitana.

Rango Año Construcción	Cantidad
Menor a 1964	1
Entre 1964 a 1993	39
Entre 1994 a 2016	26
Entre 2017 a 2019	4
2020 en adelante	7
Total General	**77**

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6-2 Rango año construcción SSR Región Metropolitana.



Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla 6.3 y la Figura 6-2, la mayor cantidad de SSR se encuentran en el periodo de 1964 a 1993 con un 51%. Siendo servicios que cuentan con agua potable por más de 33 años, y que se vinculan con la creación del programa de Agua Potable Rural (APR). El 86% de los sistemas (66 de 77) fue construido antes de la Ley N°20.998, es decir, bajo marcos que no contemplaban el saneamiento como componente del servicio

6.2.3 Saneamiento actual de los SSR

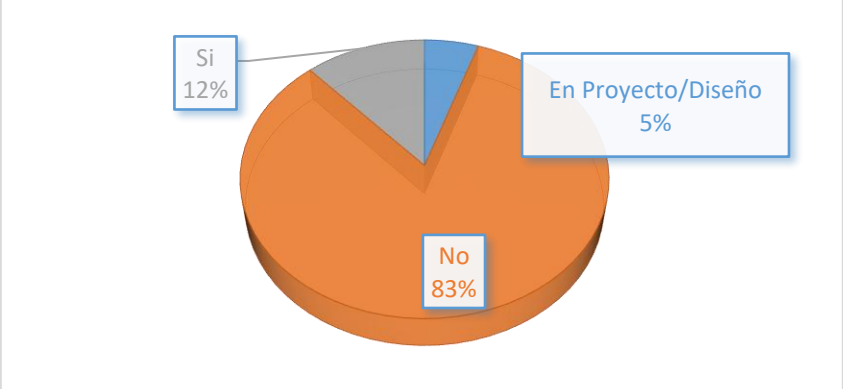
Se consulta a los servicios si cuentan con saneamiento en su localidad, entendiendo este como la disponibilidad de sistemas de red de alcantarillado junto con una planta de tratamiento de aguas servidas (Tabla 6.4).

Tabla 6.4 Saneamiento en los servicios de la Región Metropolitana.

Cuenta con Saneamiento	Cantidad
En Proyecto/Diseño	4
No	64
Si	9
Total General	**77**

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6-3 Saneamiento en los servicios de la Región Metropolitana.



Fuente: Elaboración Propia.

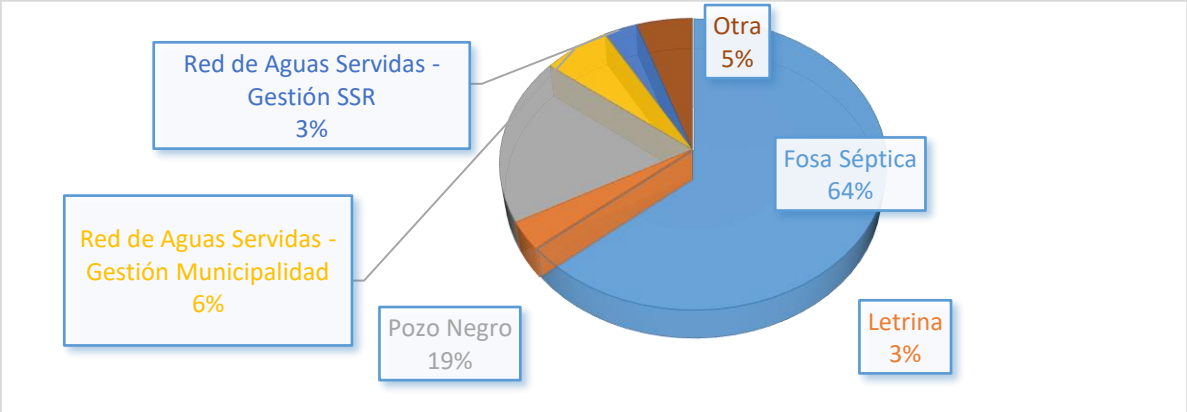
Como se observa en la Figura 6-3 el 83% de los SSR no cuentan con una solución de saneamiento. Solo el 12% cuenta con saneamiento, lo que dimensiona el universo potencial de réplica del modelo.

Tabla 6.5 Disposición de Aguas Servidas en los servicios de la Región Metropolitana.

Disposición de Aguas Servidas	Cantidad
Fosa Séptica	62
Letrina	3
Pozo Negro	18
Red de Aguas Servidas - Gestión Municipalidad	6
Red de Aguas Servidas - Gestión SSR	3
Red de Aguas Servidas - Gestión Sanitaria	0
Red de Aguas Servidas - Gestión Privada	0
Otra	5

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6-4 Disposición de Aguas Servidas en los servicios de la Región Metropolitana.



Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Figura 6-4 el 64% de los SSR encuestados (Tabla 6.5) tienen al menos fosas sépticas, seguido con 19% de pozos negros, siendo una grave deficiencia, una de las principales fuentes que contaminan las napas subterráneas.

6.2.4 Percepción de Implementación de saneamiento

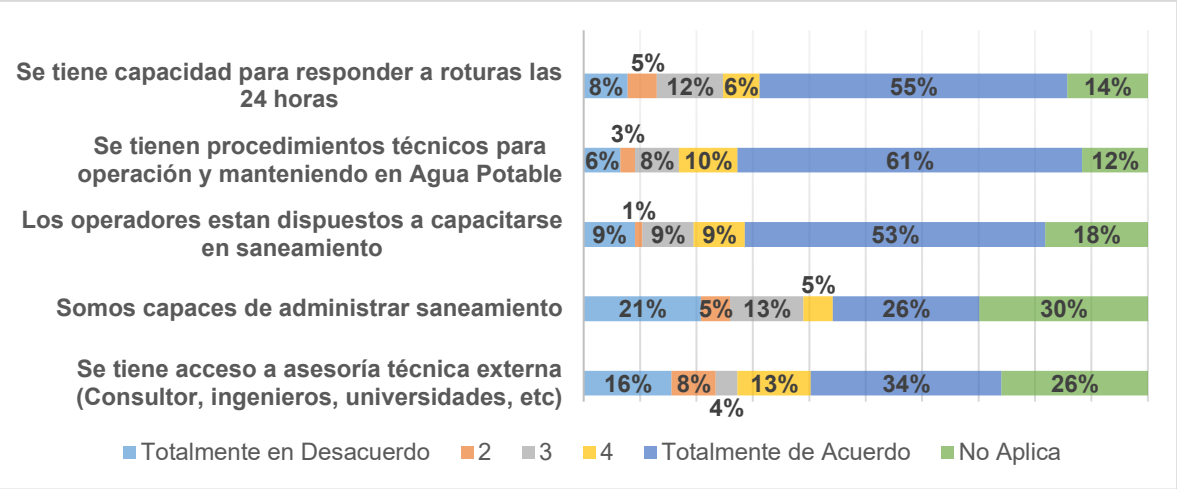
Se utilizó una escala tipo *Likert* de 1 a 5, donde 1 corresponde a "Totalmente en desacuerdo" y 5 a "Totalmente de acuerdo", permitiendo cuantificar el grado de aceptación o rechazo frente a distintas afirmaciones relacionadas con el saneamiento. Esta metodología facilita la interpretación de las opiniones de los SSR y permite identificar tendencias generales en torno a su percepción y disposición frente a este tipo de soluciones.

Para evaluar la percepción, se estructura el análisis en tres secciones principales: capacidad técnica disponible, capacidad organizacional e infraestructura disponible de cada servicio.

<u>Sección A: Capacidad Técnica Disponible</u>

Apunta a medir el nivel de conocimientos y habilidades para operar y mantener sistemas sanitarios. Considerando; existencia de personal capacitado, experiencia en operación de sistemas de agua o saneamiento, acceso a asistencia técnica externa, manejo de normativas sanitarias, y capacidad para resolver fallas o emergencias.

Figura 6-5 Percepción de capacidad Técnica Disponible.



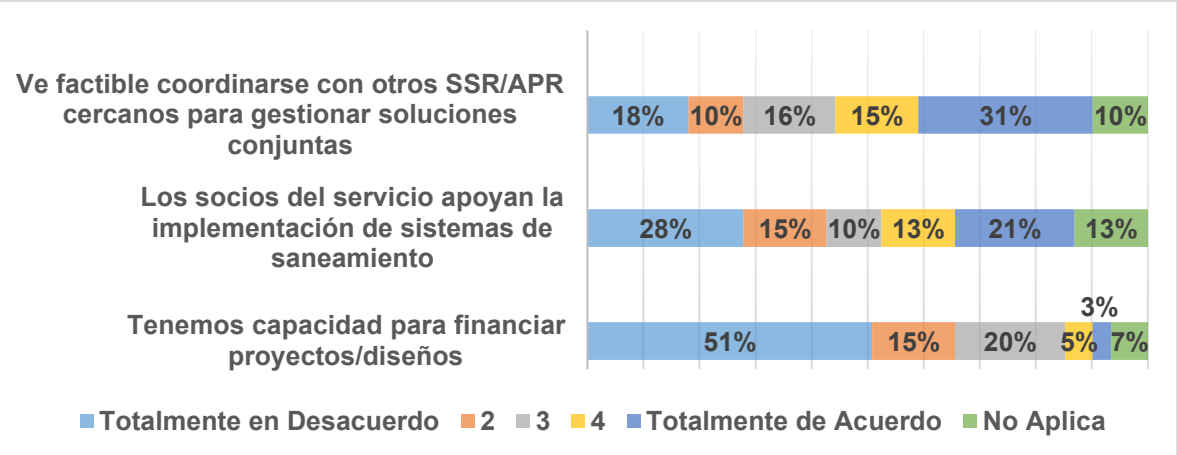
Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Figura 6-5, los servicios perciben que cuentan con procedimientos y capacidades para enfrentar emergencias en agua potable. Asimismo, manifiestan disposición a capacitarse en materia de saneamiento, aunque persisten dudas respecto a su capacidad para administrarlo. En cuanto al acceso a asesoría técnica externa, este se presenta en un 34% de "Totalmente de Acuerdo" del total de los servicios encuestados, si se suma la categoría 4 (13%), casi la mitad declara algún acceso (47%).

Sección B: Capacidad Organizacional

Se relaciona con la forma en que el servicio se gestiona internamente. Aquí se mide el funcionamiento de la directiva, gestión administrativa y financiera, y nivel de participación de la comunidad.

Figura 6-6 Capacidad Organizacional.



Fuente: Elaboración Propia.

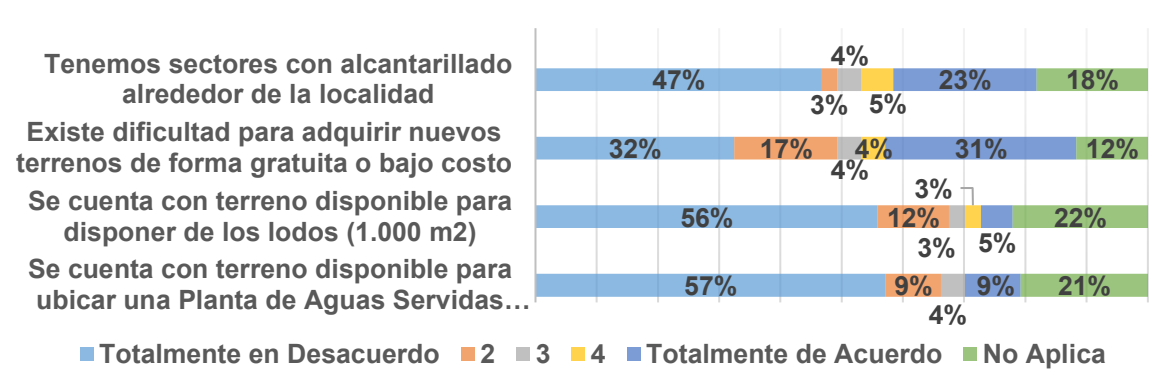
Como se observa en la Figura 6-6, sólo un 31% de los SSR está totalmente de acuerdo que es factible coordinar con otros SSR para gestionar soluciones conjuntas, y las demás alternativas tienen una distribución uniforme. Esto refleja principalmente que hay una incertidumbre sobre cómo se podría gestionar un modelo interconectado. Lo mismo ocurre con la implementación del saneamiento, siendo que es mayor el "Totalmente en Desacuerdo" con un 28%, los demás también presentan una falta de consenso.

A diferencia de la capacidad de financiar proyectos, donde se refleja una clara tendencia al totalmente en desacuerdo con un 51% de las encuestas.

Sección C: Infraestructura Disponible

Caracterización de la percepción del estado físico y la cobertura de los sistemas. Principalmente la disponibilidad de contar con terrenos para instalar una planta de tratamiento de aguas servidas, disposición de lodos, dificultad de adquirir nuevos terrenos y si en la localidad cuenta algún sector con alcantarillado el cual eventualmente se podrían conectar.

Figura 6-7 Percepción de Infraestructura Disponible.



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6-7 se hace presente que existe una dificultad para adquirir nuevos terrenos de forma gratuita o bajo costo (32%), si se suma la categoría 2 (17%), la mitad declara esta dificultad (49%). También, que no se cuenta con terrenos para disponer una planta de aguas servidas (57%) y un terreno para la disposición de solidos (56%).

6.2.5 Percepción de Beneficios del saneamiento

En esta sección se aborda la percepción de los beneficios asociados a la implementación de sistemas de saneamiento en sus localidades, a partir de la consulta sobre si los socios considerasen deseable contar con alcantarillado y tratamiento de aguas servidas (Tabla 6.6).

Esta evaluación se realiza considerando diversos beneficios potenciales, tales como la mejora en la salud mediante la disminución de enfermedades, el aumento de la

higiene y limpieza en el hogar, la protección del medio ambiente al reducir la contaminación de suelos y aguas, la eliminación de malos olores, la valorización de la vivienda, el incremento en la comodidad y calidad de vida, así como la posibilidad de reutilización de aguas tratadas para fines como el riego.

Tabla 6.6 Percepción de aceptación del saneamiento en cada localidad de la RM.

Criterio	Cantidad	Porcentaje
Depende del monto en que aumente la tarifa	24	31%
Se encuentran satisfechos con la condición Actual	11	14%
Totalmente de Acuerdo	35	45%
Totalmente en Desacuerdo	7	9%
Total General	**77**	**100%**

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla 6.6 y complementando la respuesta de la Figura 6-6 se tiene una aceptación de un 45% del saneamiento en sus localidades, y hay un 31% el cual lo aceptaría, pero dependiendo del monto que aumente la tarifa.

Beneficios Percibidos

En este apartado se profundiza en la priorización de los beneficios asociados al saneamiento, consultando a los servicios cuáles son los tres principales beneficios que consideran más relevantes. Permitiendo identificar las principales motivaciones y necesidades percibidas por los servicios, orientando la comprensión de qué aspectos (salud, medio ambiente, calidad de vida u otros) tienen mayor peso al momento de evaluar la implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas.

Tabla 6.7 Beneficios Percibidos por los SSR en la RM.

Beneficio	Cantidad	Porcentaje
Salud	73	95%
Medio Ambiente	65	84%
Reutilización de Aguas	38	49%
Eliminación de Olores	24	31%
Comodidad	18	23%
Aumento valor vivienda	5	6%
Otro	8	10%

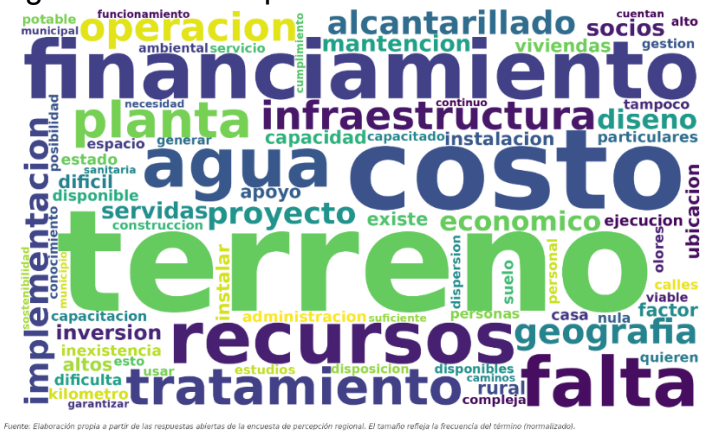
Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Figura 6-7, las tres principales motivaciones y necesidades que perciben los servicios son: “Salud”, “Medio Ambiente” y “Reutilización de Aguas”, con un 95, 84 y 49% respectivamente.

6.2.6 Brechas de saneamiento de SSR

Finalmente, se realiza una pregunta abierta sobre las brechas que identifican los servicios en materia de saneamiento, lo que permite captar de manera directa sus experiencias, limitaciones y contextos particulares.

Figura 6-8 Brecha percibida del saneamiento en los servicios de la RM.



Fuente: Elaboración propia a partir de las respuestas abiertas de la encuesta de percepción regional. El tamaño refleja la frecuencia del término (normalizado).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 6-8, la principal brecha que identifican los SSR es la obtención de terrenos, financiamiento y costos de operación y mantención.

6.2.7 Contraste con percepción desde Federación Nacional APR's Chile

Los resultados obtenidos en la presente investigación a partir de la consulta a los SSR de la Región Metropolitana resultan coherentes con el diagnóstico nacional publicado por la Federación Nacional APR's Chile (2025), particularmente en lo referido a las brechas de capacitación técnica, la insuficiencia de financiamiento operacional y la complejidad regulatoria como principales barreras para la implementación del saneamiento. Esta coincidencia entre la percepción regional levantada en esta tesis y la visión gremial nacional refuerza la validez de los hallazgos y confirma que las brechas identificadas en San Pedro no son particularidades locales, sino expresión de un patrón estructural común a la mayoría de los SSR del país.

6.3 Análisis Multicriterio: Panel de Expertos

La toma de decisiones en saneamiento rural requiere integrar diversas perspectivas técnicas y experiencias especializadas que permitan abordar el problema de manera integral. En este contexto, se elabora un análisis de información que articule y vincule las distintas visiones de un panel de expertos en saneamiento rural en Chile.

Se seleccionaron ocho participantes con el fin de representar a los actores vinculados a los tres pilares fundamentales: el área de proyectos, la fiscalización y la gestión. Esta selección permitirá contar con una visión amplia e integral sobre la implementación del saneamiento en los SSR.

6.3.1 Panel Expertos

A continuación, se observa en Tabla 6.8 el panel de expertos los cuales se les solicitó rellenar el formulario del anexo 12.2.

Tabla 6.8 Panel de Expertos.

Nombre Experto	Perfil	Categoría
Jacobo Homsi Auchen	Académico y Consultor especializado en ingeniería ambiental, agua potable y saneamiento, con participación relevante en el ámbito de los SSR.	Proyectos
Jorge Araya Mena	Académico y Consultor con amplia trayectoria en proyectos de agua Potable, Saneamiento e Hidráulica en Chile, habiendo desarrollado proyectos SSR en todo el país.	Proyectos
José Manuel Vargas Pérez	Ingeniero de Proyectos de Aguas Andinas S.A. responsable de realizar un levantamiento técnico de todas las PTAS de la región Metropolitana durante el año 2022 y 2024, con el objetivo de licitar mejoramiento de estas.	Proyectos
Roberto Eduardo Toro Ruiz	Subgerente Proyecto Plantas de tratamiento de Aguas Servidas de Aguas Andinas S.A. con amplia experiencia en el diseño de plantas de Aguas Servidas.	Proyectos
Juan Pablo Jaque Vidal	Jefe de Unidad Servicios Sanitarios Rurales en la SISS, lidera la implementación de la ley N°20.998	Fiscalización
Marco Antonio Leiva Fuentes	Evaluador de proyectos SSR/APR por parte de MIDESO (ver nota) que permitirá su futura inversión y materialización de estos asegurando el uso eficiente de recursos públicos.	Fiscalización
Rufino Manuel Hevia Páez	Dirigente con un rol activo como coordinador nacional de APR Chile, organización que representa a comités y cooperativas rurales a nivel país.	Gestión
Gabriel Lopez	Jefe Unidad Servicios Sanitarios Rurales y Acceso Humano al Agua de Aguas Andinas, encargado de cumplir convenio con DOH respectos a diseño de proyectos y ejecución de obras de SSR.	Gestión

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: MIDESO es el Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Organismo encargado de aprobar proyectos de SSR.

6.3.2 Tecnología Apropiada para zonas rurales en RM

La selección de tecnologías adecuadas para localidades rurales de la Región Metropolitana requiere considerar factores como la baja densidad poblacional, la

disponibilidad de recursos, las condiciones geográficas y la capacidad de operación y mantenimiento local. En este contexto, resulta fundamental evaluar soluciones que sean eficientes, de bajo costo, fáciles de operar y sostenibles en el tiempo, con el objetivo de garantizar un servicio sanitario adecuado y adaptado a las particularidades de cada territorio.

En el panel de expertos, se identificó como especialistas más idóneos para definir las tecnologías más apropiadas para zonas rurales interconectadas a aquellos profesionales con experiencia previa en la elaboración de proyectos sanitarios, correspondientes a la categoría “Proyectos” de la Tabla 6.8. A partir de su evaluación, se concluye que, de las 15 tecnologías consideradas en el formulario (ver Anexo 12.2), solo 8 fueron seleccionadas como alternativas viables.

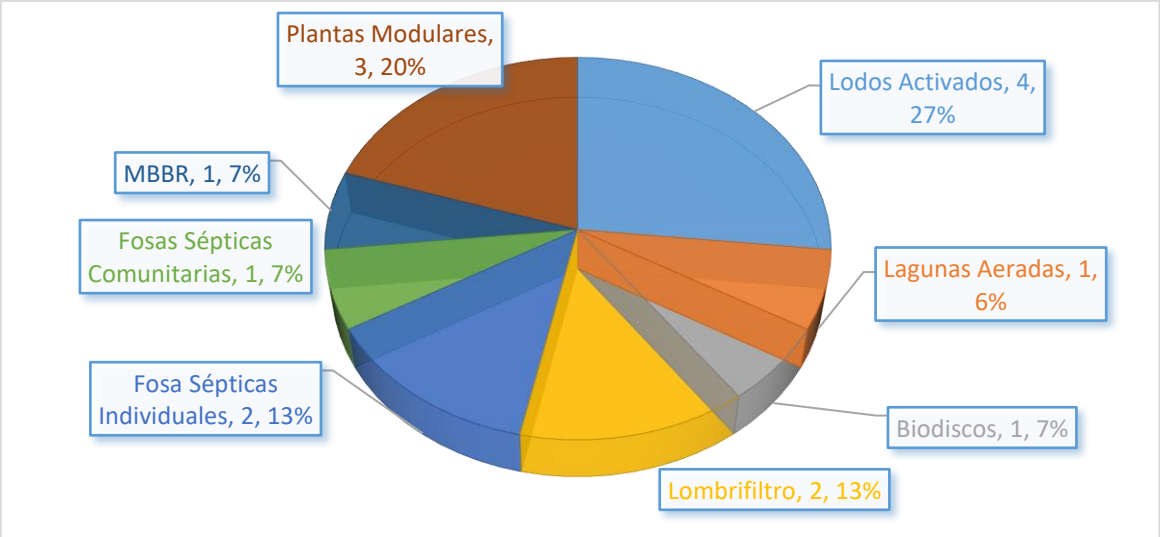
Tabla 6.9 Votación Individual Experto Proyectos.

Tecnología Apropiada	Experto en Proyectos			
	Jacobo Homsi	Jorge Araya	José Vargas	Roberto Toro
Lodos Activados	1	1	1	1
Lagunas Aeradas	1			
Biodiscos	1			
Lombrifiltro	1		1	
Fosa Sépticas Individuales	1			1
Fosas Sépticas Comunitarias	1			
MBBR		1		
Plantas Modulares		1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6.9, no se identifica una única tecnología óptima para zonas rurales interconectadas; por el contrario, se evidencia que la solución más adecuada corresponde a la combinación de tecnologías, destacando principalmente sistemas de lodos activados complementados con soluciones de menor escala.

Figura 6-9 Tecnología apropiada según panel de expertos de categoría proyectos.



Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, la distribución de la selección se presenta en la Figura 6-9. Como se observa, la tecnología con mayor preferencia corresponde a lodos activados, con un 27% de las selecciones, coincidiendo entre los cuatro panelistas, lo cual refleja su carácter de solución tradicional en la ingeniería sanitaria. Le siguen las plantas modulares con 20% y el lombrifiltro con fosas sépticas individuales ambas con un 13% de preferencia.

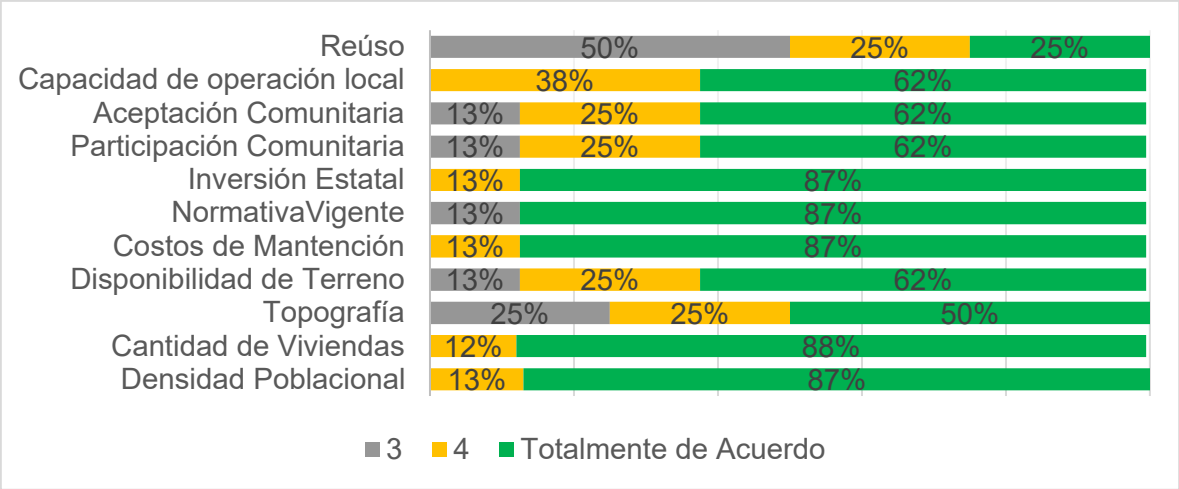
6.3.3 Criterios Relevantes para saneamiento Rural

A continuación, se solicita clasificar los factores identificados según su nivel de importancia, utilizando una escala de *Likert* de 1 a 5, donde 1 indica “Totalmente en desacuerdo” y 5 “Totalmente de acuerdo”. Esta evaluación permitirá priorizar aquellos aspectos considerados más relevantes en el contexto de la selección e implementación de tecnologías para localidades rurales.

Escala de evaluación:

- 1 = Totalmente en desacuerdo
- 2 = En desacuerdo
- 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- 4 = De acuerdo
- 5 = Totalmente de acuerdo

Figura 6-10 Criterios Relevantes en Saneamiento Rural.



Fuente: Elaboración Propia.

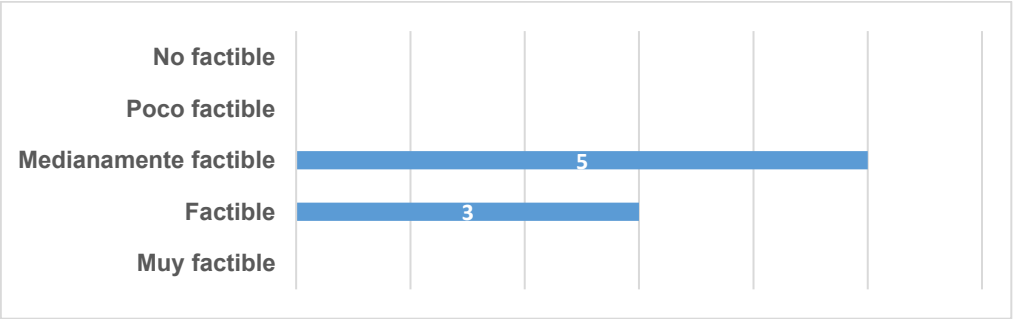
Como se aprecia en la Figura 6-10, la mayoría de los criterios evaluados presentan tendencias similares en las respuestas obtenidas. Sin embargo, el criterio de reúso muestra una diferencia relevante, ya que la opción predominante fue “Ni de acuerdo ni en desacuerdo” (Escala 3), con un 50% de las respuestas del panel, evidenciando una posición neutral por parte de los encuestados.

6.3.4 Factibilidad de implementar sistemas de Reúso

La implementación de sistemas de reúso de aguas servidas tratadas en zonas rurales constituye una alternativa relevante para optimizar el uso del recurso hídrico y avanzar hacia modelos más sostenibles. No obstante, su factibilidad depende de múltiples factores, entre los que destacan los aspectos técnicos asociados al tratamiento y distribución, la viabilidad económica de inversión y operación, el marco normativo vigente, y el nivel de aceptación por parte de las comunidades locales.

En este contexto, resulta pertinente evaluar el grado de factibilidad de estas soluciones desde una perspectiva integral, considerando una escala que va desde “muy factible” hasta “no factible”, de acuerdo con el criterio experto.

Figura 6-11 Factibilidad de implementar sistemas de reúso de aguas servidas tratadas.



Fuente: Elaboración Propia.

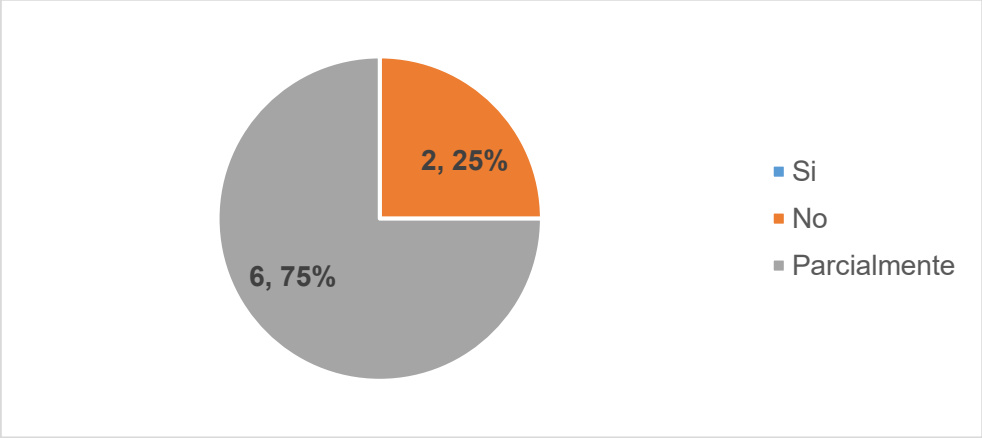
En la Figura 6-11 se observa que la factibilidad de implementar un sistema de reúso para aguas tratadas se determinó como “Medianamente Factible”.

6.3.5 Apreciación de normativa en saneamiento

La siguiente sección busca analizar la percepción de los expertos respecto a la adecuación del marco normativo chileno en el ámbito del saneamiento rural. En particular, se pretende identificar si la normativa vigente facilita la implementación de soluciones apropiadas, así como reconocer las principales brechas que limitan su desarrollo y los cambios normativos que se consideran prioritarios para mejorar la gestión y sostenibilidad de estos sistemas en contextos rurales.

En la Figura 6-12 se aprecia que para el ámbito rural la normativa para el saneamiento está parcialmente adecuada.

Figura 6-12 Apreciación de Normativa en Saneamiento.

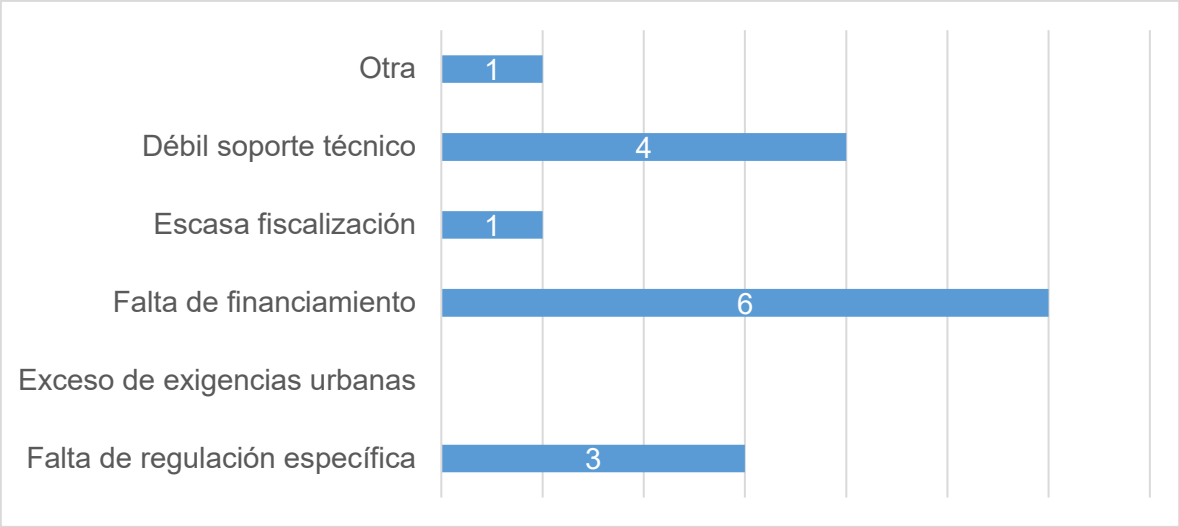


Fuente: Elaboración Propia.

Brechas Normativas en Saneamiento Rural

A continuación, se presentan las principales brechas normativas identificadas por el panel de expertos. Como se observa en la Figura 6-13, la más relevante corresponde a la "falta de financiamiento", seguida por el "débil soporte técnico" y la "falta de regulación específica".

Figura 6-13 Brechas Normativas en Saneamiento Rural.



Fuente: Elaboración Propia.

Cambios normativos prioritarios

Bajo la premisa de las consultas 13, 14 y 15 del formulario del anexo 12.2 se identifica que la principal coincidencia entre los expertos consultados es la necesidad de contar con una normativa específica para el saneamiento rural, diferenciada de las exigencias aplicadas a los sistemas urbanos. Se señala que la regulación vigente no considera adecuadamente las características territoriales, operativas y económicas de las localidades rurales, por lo que se propone establecer estándares y exigencias proporcionales al riesgo sanitario y a la escala de los sistemas. Asimismo, se plantea flexibilizar ciertos parámetros de descarga y permitir una implementación gradual de los tratamientos, de manera de favorecer la viabilidad técnica y financiera de los proyectos.

Otro aspecto recurrente es la necesidad de fortalecer el marco institucional y legal del saneamiento rural. En particular, varios expertos destacan la importancia de incorporar explícitamente el saneamiento y alcantarillado en la Ley N° 20.998, reconociéndolos como parte integral de los SSR y estableciendo con claridad las responsabilidades del Estado, las comunidades y otros actores involucrados. También se propone modificar esta normativa para permitir una mayor participación de empresas sanitarias como unidades técnicas en la gestión y desarrollo de proyectos.

Los expertos también enfatizan la importancia de asegurar la sostenibilidad operativa y financiera de los sistemas. Entre las medidas sugeridas se encuentran la definición clara de los responsables de la operación y mantenimiento, la obligatoriedad de cobro por el servicio para cubrir costos de operación, mantención y reposición, y la implementación de mecanismos de apoyo que permitan mantener la asequibilidad para los usuarios. Asimismo, se plantea la necesidad de contar con

una Política Nacional de Saneamiento Rural que entregue una planificación integral y de largo plazo para el sector.

Finalmente, se identifican requerimientos asociados a la fiscalización y al aprovechamiento de las aguas tratadas. En este ámbito, se propone fortalecer la supervisión de las plantas de tratamiento, establecer sistemas de certificación para los operadores y promover el reúso de las aguas tratadas, especialmente en actividades agrícolas. Adicionalmente, se plantea avanzar en la definición de estándares que permitan potenciar usos futuros del recurso tratado bajo condiciones sanitarias adecuadas.

6.3.6 Recomendaciones al momento de diseñar

La siguiente sección tiene como objetivo recoger la opinión experta respecto a criterios clave para el diseño de soluciones de saneamiento en zonas rurales. En particular, se busca identificar recomendaciones generales que permitan asegurar la pertinencia, sostenibilidad y eficiencia de estos sistemas, así como señalar las condiciones bajo las cuales la implementación de alcantarillado rural resulta técnicamente y operativamente recomendable.

Los expertos coinciden en que el diseño de sistemas de saneamiento rural debe responder a las características específicas de cada localidad, considerando factores como la topografía, el caudal a tratar, la densidad poblacional, la disponibilidad de recursos hídricos y las condiciones ambientales del entorno. Asimismo, destacan la importancia de proteger las napas subterráneas y los suelos, cumpliendo con la normativa ambiental vigente y adaptando las soluciones a la realidad territorial, social y económica de las comunidades rurales.

Un aspecto ampliamente mencionado es la necesidad de privilegiar tecnologías simples, robustas y de fácil operación, evitando sistemas complejos que requieran altos niveles de especialización o elevados costos de operación y mantenimiento.

Los expertos recomiendan optar por soluciones costo-efectivas, con bajos requerimientos operacionales y que puedan ser gestionadas adecuadamente por los operadores locales. Además, se plantea aprovechar economías de escala cuando sea posible, por ejemplo, mediante el tratamiento conjunto de lodos o la implementación de soluciones colectivas para localidades cercanas.

Por otra parte, se identifica como uno de los principales desafíos la sostenibilidad de los sistemas una vez construidos. Los expertos señalan la necesidad de definir claramente quién será responsable de la operación y mantención, asegurar la disponibilidad de recursos financieros para su funcionamiento y capacitar adecuadamente a los operadores. En este sentido, se destaca que muchas organizaciones rurales presentan dificultades para asumir los costos operacionales de tecnologías avanzadas, lo que ha generado reticencias a recibir algunas instalaciones construidas por el Estado.

Finalmente, se enfatiza la importancia de incorporar a la comunidad en el proceso, promoviendo la educación y concientización de los usuarios respecto al uso adecuado del sistema, su aporte a la protección ambiental y la necesidad de contribuir mediante el pago de una tarifa que permita asegurar su sostenibilidad en el largo plazo. En conjunto, los expertos coinciden en que el éxito del saneamiento rural depende no solo de un diseño técnicamente adecuado, sino también de que las soluciones sean operativamente viables, económicamente sostenibles y acordes a la realidad local.

6.3.7 Implementación de sistemas de alcantarillado rural

Las respuestas obtenidas permiten reconocer los principales factores técnicos, territoriales, económicos y operacionales que influyen en la factibilidad de implementar sistemas de alcantarillado rural, proporcionando criterios relevantes para la planificación y toma de decisiones en futuras iniciativas de saneamiento.

Los expertos coinciden en que la recomendación de implementar sistemas de alcantarillado rural debe evaluarse caso a caso, considerando principalmente la densidad poblacional, las condiciones sanitarias y la viabilidad técnica y económica del proyecto. En general, se señala que esta alternativa resulta más adecuada en localidades con una alta concentración de viviendas, donde es posible aprovechar economías de escala y justificar la construcción de una red que conduzca las aguas servidas hacia una planta de tratamiento común. Asimismo, se destaca la importancia de contar con condiciones favorables de topografía, capacidad de operación y mantenimiento, y cumplimiento de los criterios de rentabilidad social establecidos por los organismos públicos competentes.

Otro aspecto ampliamente mencionado es la necesidad de priorizar el alcantarillado cuando existan riesgos para la salud pública o el medio ambiente. Los expertos indican que esta solución se vuelve especialmente relevante en sectores donde la ausencia de saneamiento genera contaminación de fuentes de agua, suelos o ecosistemas, o cuando las condiciones del terreno dificultan la implementación de soluciones individuales, como fosas sépticas o sistemas de infiltración. En estos casos, el alcantarillado se presenta como una herramienta para resguardar la salud de la población y reducir los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de aguas servidas.

Además de los criterios técnicos y sanitarios, algunos expertos enfatizan la dimensión social y territorial del saneamiento rural. Desde esta perspectiva, el acceso al alcantarillado es considerado un componente fundamental del derecho humano al agua y al saneamiento, así como un elemento clave para garantizar condiciones de dignidad y equidad entre los habitantes de zonas rurales y urbanas. En este sentido, se plantea que la decisión de implementar estas soluciones no debe basarse únicamente en criterios de factibilidad técnica, sino también en la necesidad de asegurar estándares adecuados de calidad de vida para las comunidades.

Finalmente, los especialistas destacan que la sostenibilidad de los proyectos es un factor determinante para recomendar el alcantarillado rural. Para ello, resulta fundamental contar con mecanismos de gestión, operación y financiamiento adecuados, así como con el respaldo y aprobación de la comunidad beneficiaria. No obstante, se reconoce que en determinados contextos las soluciones descentralizadas, individuales o semi-colectivas pueden constituir alternativas más apropiadas, siempre que sean técnica y económicamente viables y permitan garantizar una adecuada operación y mantención en el tiempo.

6.4 Consideración selección de alternativa

Con el propósito de identificar la solución de saneamiento más adecuada para el área de estudio, se integran los resultados obtenidos del diagnóstico del sistema existente, bibliográfica estudiada, la percepción regional respecto del saneamiento rural, las opiniones recogidas mediante el panel de expertos y la experiencia profesional. Este análisis permite proponer una o varias alternativas técnicas pertinentes, viables y coherentes con las características del territorio, situación operacional y administrativas para la interconexión de los cinco sectores.

A partir de la evaluación realizada, se determina que una única tecnología no permite responder de manera eficiente a la diversidad de condiciones presentes en el territorio. Por ello, se plantea una solución basada en una combinación de tecnologías, diferenciadas según el nivel de concentración de viviendas y las características de cada sector. Considerando a su vez, la economía de escala.

Para estructurar la selección de las alternativas, se desarrolla la siguiente metodología:

1. Clasificación de los sectores del área de estudio en zonas concentradas, semiconcentradas y dispersas, de acuerdo con su densidad habitacional y condiciones territoriales.
2. Definición de la tecnología más adecuada para zonas concentradas y semiconcentradas, considerando criterios técnicos, económicos, ambientales y de operación.
3. Definición de la tecnología más adecuada para zonas dispersas, evaluando su factibilidad de implementación y sostenibilidad en el tiempo.
4. Evaluación de la viabilidad de una solución mixta, considerando las capacidades de gestión y administración de una organización coordinando los 5 SSR.
5. Análisis de las implicancias de optar por una única tecnología, identificando las inversiones adicionales y limitaciones asociadas.
6. Identificación de brechas regulatorias, normativas e institucionales que puedan influir en la implementación de la alternativa seleccionada.

Esta metodología permite fundamentar técnicamente la alternativa propuesta y evaluar su factibilidad de implementación en el contexto de los SSR de San Pedro.

7. RESULTADOS

Se presentan los resultados del análisis de factibilidad realizado sobre la propuesta de interconexión operativa de los cinco SSR de San Pedro para la implementación de sistemas de saneamiento rural. La investigación no constituye un proyecto de ingeniería de detalle ni una propuesta de diseño, sino un análisis crítico de las ventajas, dificultades y brechas que surgen al evaluar la viabilidad de articular múltiples SSR en un esquema compartido de saneamiento.

Para ello, se desarrolla una caracterización territorial del área de estudio, se analizan las alternativas tecnológicas disponibles según morfología, se examinan los esquemas posibles de interconexión y se identifican las condiciones normativas, técnicas, económicas y de gestión que determinan la factibilidad de la propuesta. El propósito último es generar evidencia empírica que permita orientar futuras iniciativas de saneamiento rural interconectado, identificando con precisión las limitaciones del marco normativo vigente y las oportunidades de mejora institucional que la experiencia de San Pedro revela.

7.1 Caracterización del área de estudio

La caracterización territorial se realizó utilizando los criterios de clasificación definidos en la Tabla 7.1. Con este propósito, el área de estudio fue subdividida en una malla de cuadrículas de 1km² (1.000×1.000m, equivalente a 100 hectáreas). Posteriormente, se efectuó un análisis de densidad habitacional mediante el conteo de viviendas presentes en cada cuadrícula para las 2.448 viviendas estimadas en sección 4.3.5.

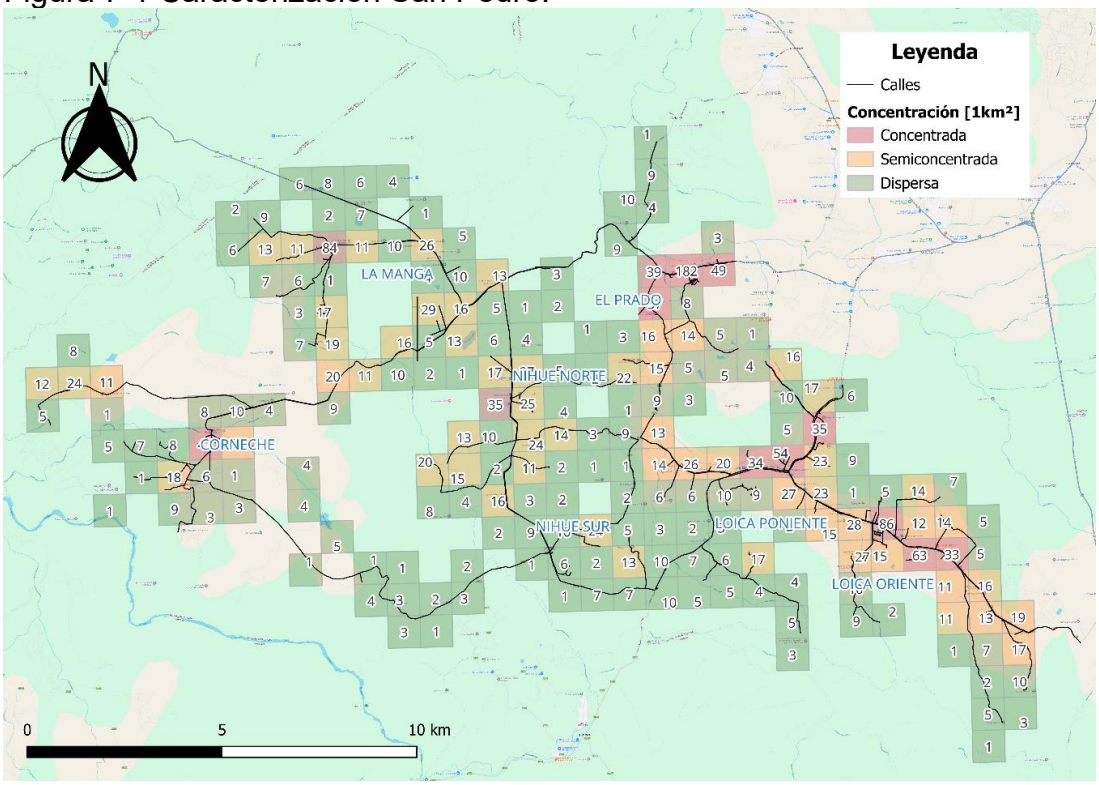
Tabla 7.1 Caracterización de zonas rurales.

Tipo	Criterio (Vivienda)	Características
Concentrada	>=30	Viviendas agrupadas de forma continua
Semiconcentrada	11 a 20	Agrupaciones Pequeñas
Dispersa	<=10	Zonas Aisladas

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados permitieron categorizar el territorio según su grado de concentración de viviendas, generando una representación cartográfica basada en una escala de colores. Esta clasificación, presentada en la Figura 7-1 permitió identificar sectores concentrados, semiconcentrados y dispersos, información fundamental para la evaluación y selección de las tecnologías de saneamiento propuestas para el área de estudio.

Figura 7-1 Caracterización San Pedro.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 7-1, el análisis de la densidad habitacional evidencia diferencias relevantes entre estos sectores. Identificando claramente las zonas más pobladas, generando una continuidad territorial de viviendas más favorable para la implementación de soluciones colectivas de saneamiento. A su vez, se identifica una cantidad mayoritaria de cuadriculas de zonas dispersas.

7.1.1 Proyección de Red de Aguas Servidas

A partir de la caracterización territorial desarrollada en la figuraFigura 7-1, se elaboró una propuesta preliminar de trazado de red de recolección de aguas servidas para los sectores con mayor concentración habitacional, con el propósito de evaluar la factibilidad técnica de implementar un sistema de alcantarillado convencional en aquellas áreas donde la densidad de viviendas y la proximidad entre usuarios favorecen su desarrollo. Se utiliza el software QGIS con el complemento SaniHUB (What is SaniHUB?, 2021), diseñado por el Banco Interamericano de Desarrollo (en adelante BID), el cual permite proyectar líneas de colectores georreferenciados e iterar alturas de cámaras para distintos diámetros y profundidades iniciales.

Este ejercicio no constituye un anteproyecto de ingeniería, sino un análisis conceptual que permite visualizar el orden de magnitud de la infraestructura requerida y anticipar las dificultades técnicas que un proyecto futuro deberá enfrentar.

Parámetros adoptados para el análisis preliminar

Los parámetros utilizados para la proyección de la red se sintetizan en la Tabla 7.2 y responden tanto a las disposiciones normativas vigentes como a criterios técnicos adaptados al contexto rural de San Pedro.

Tabla 7.2 Parámetros adoptados para la proyección preliminar de la red.

Parámetro	Valor adoptado	Fuente / Justificación
Profundidad mínima	0,9 m sobre clave de tubería	Adaptación al contexto rural (Manual DOH exige 1,6 m)
Diámetro nominal	250 mm	NCh 1105:2019 y Manual DOH 2023
Pendiente mínima	0,005 m/m	NCh 1105:2019, sección 6.9
Distancia promedio entre cámaras de inspección	100 m	NCh 1105:2019, sección 7.1.1 (máx. 120 m)

Fuente: Elaboración propia basada en NCh 1105:2019 y Manual DOH (Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, 2023).

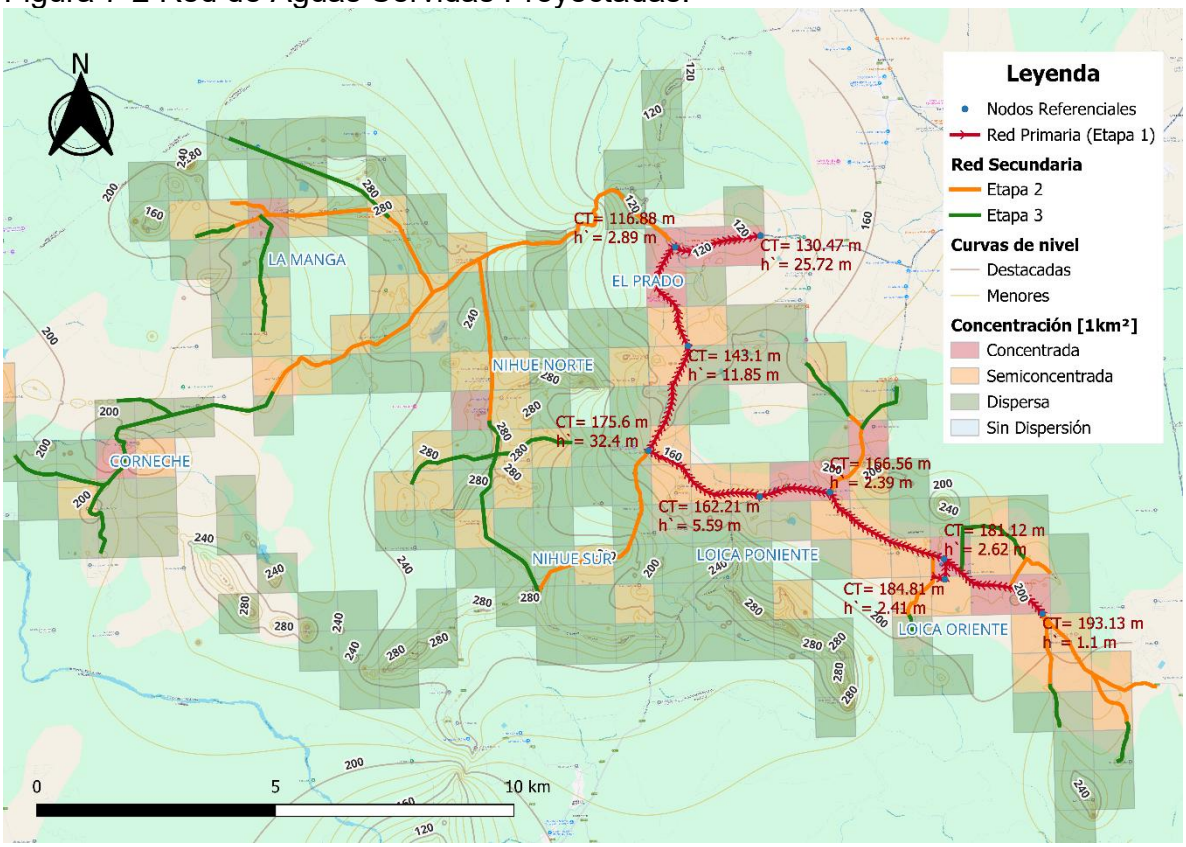
Resulta relevante destacar que la profundidad mínima adoptada en este análisis (0,9 m) es inferior a la exigida por el Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural de la DOH (1,6 m sobre la clave de la tubería, sección 6.5.8). Esta diferencia no constituye un error metodológico, sino una decisión deliberada que evidencia una de las brechas, la profundidad de 1,6 m siendo del estándar urbano resulta económica y técnicamente inviable en contextos rurales, donde profundidades menores garantizan la misma funcionalidad del sistema a costos significativamente reducidos.

Respecto a la distancia entre cámaras de inspección, la NCh 1105:2019 establece en su sección 7.1.1 una distancia máxima de 120 m, permitiendo distancias menores cuando las condiciones topográficas o de mantenimiento lo justifiquen. En el presente análisis se adoptó una distancia promedio de 100 m, considerando que distancias mayores dificultan las labores de limpieza mediante varillaje (generalmente el varillaje máximo que se realiza en terreno es de 50 m).

Configuración de la red propuesta

La configuración resultante del trazado se presenta en la Figura 7-2, que muestra la red proyectada superpuesta sobre la topografía del área de estudio. El trazado de las redes (primaria y secundarias) sigue las vías viales principales que conectan los sectores de mayor concentración habitacional, aprovechando las pendientes naturales del terreno para garantizar el escurrimiento gravitacional hacia los puntos potenciales de tratamiento.

Figura 7-2 Red de Aguas Servidas Proyectadas.

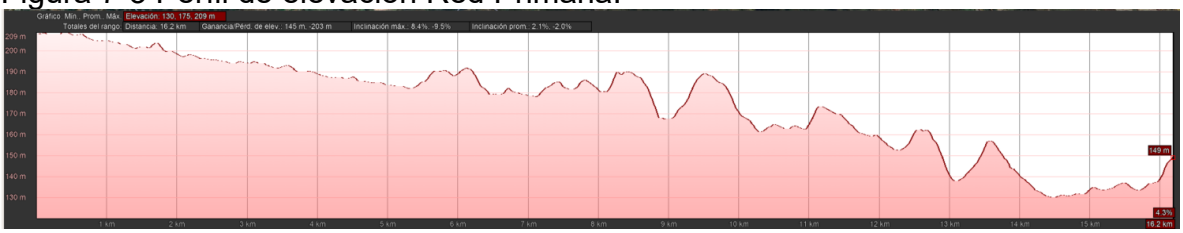


Fuente: Elaboración propia.

<u>Análisis de perfil topográfico y dificultades identificadas</u>

El análisis del perfil de elevación del trazado principal revela una de las dificultades técnicas más significativas asociadas a la implementación de saneamiento en zonas rurales. Como se observa en la Figura 7-3 Perfil de elevación Red Primaria.Figura 7-3 y registro en Tabla 7.3, el perfil presenta un desnivel total de 62,6 metros entre el punto de inicio en Loica Oriente (cota 193,13 msnm) y el punto final en El Prado (cota 130,47 msnm). Sin embargo, este desnivel no es lineal sino irregular, alternando tramos de pendiente favorable con sectores que requieren contrapendientes o cambios bruscos de cota.

Figura 7-3 Perfil de elevación Red Primaria.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: El perfil de la Figura 7-3 fue realizado con el software Google Earth Pro, con objetivo de mostrar los contrapendientes. Las cotas señaladas corresponden al levantamiento topográfico realizado por Alpha ingeniería Ltda.

Tabla 7.3 Perfil de elevación de la red primaria.

Parámetro	Valor
Cota de terreno punto inicial	193,13 msnm
Cota de terreno punto final	130,47 msnm
Desnivel total del trazado	62,66 m
Altura cámara de inspección inicial	1,1 m
Altura cámara de inspección final	25,72 m

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la proyección de la red permite concluir que la selección de alternativas de saneamiento no depende únicamente de criterios tecnológicos, sino que la irregularidad del perfil obliga a profundizar progresivamente los colectores para compensar los desniveles del terreno y mantener la pendiente hidráulica mínima requerida para el escurrimiento por gravedad, lo que genera un crecimiento sostenido de la altura de las cámaras de inspección a lo largo del trazado. Mientras la cámara inicial requiere una altura de apenas 1,1 metros, la cámara final alcanza una altura de 25,72 metros, si es que se mantuviera la extensión de la red sin sistemas de relevación intermedia. Valor que evidentemente excede los límites de viabilidad constructiva y operacional de cualquier proyecto de saneamiento rural. En la práctica, una cámara de inspección rara vez supera los 5-6 metros. Este valor exagerado refuerza el argumento de que el enfoque convencional aplicado estrictamente no es viable.

Esta situación expone una dificultad estructural del enfoque convencional aplicado a la realidad de San Pedro: la topografía irregular característica de los territorios rurales no permite el funcionamiento de un sistema único de recolección gravitacional con tratamiento centralizado en un único punto. La solución técnica requiere, por tanto, alguna de las siguientes alternativas:

Sistema en múltiples plantas de tratamiento: dividiendo el territorio en dos o tres subcuencas de drenaje independientes, cada una con su propia planta de tratamiento, lo que permite mantener profundidades razonables de colectores, pero multiplica los costos de inversión y operación, ya que cada planta requiere infraestructura completa de tratamiento, sistema eléctrico, vigilancia y mantenimiento.

Incorporación de plantas elevadoras de aguas servidas (PEAS): agregando estaciones de bombeo intermedias que reimpulsen el caudal a cotas superiores, manteniendo un único punto de tratamiento centralizado, pero introduciendo costos energéticos permanentes y requerimientos de respaldo eléctrico que aumentan la complejidad operacional para los SSR, como también terrenos adicionales.

Adopción de soluciones descentralizadas por subsector: implementar sistemas locales de tratamiento por sector, lo que se aproxima al esquema diferenciado por morfología territorial propuesto en esta investigación.

7.1.2 Cobertura Red Aguas Servidas y Esquema recomendado de desarrollo de etapas

De acuerdo con la sectorización presentada previamente, la cobertura proyectada de la red de aguas servidas se dividió en tres etapas de desarrollo. Para cada etapa se cuantificó el número de viviendas incorporadas al sistema, además de las viviendas que permanecen sin cobertura de alcantarillado. La distribución de esta cobertura se presenta en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Cobertura de red Aguas Servidas por etapa.

Etapa	Viviendas (Cantidad)	Habitantes (Cantidad)	Distribución (%)
1	835	2.589	34%
2	605	1.876	25%
3	466	1.445	19%
Sin Cobertura	542	1.680	22%
Total	**2.448**	**7.589**	**100%**

Fuente: Elaboración propia.

Esquema recomendado: colector primario convencional con crecimiento por etapas

A partir de la proyección de red desarrollada en la sección anterior y del análisis del perfil topográfico, la solución propuesta y recomendada por esta investigación, se estructura sobre un único colector primario de tipo convencional, materializado en la Etapa 1 (trazado rojo de la Figura 7-2). En la Etapa 2 se agregan los colectores secundarios (trazados en amarillo) y en la Etapa 3 los colectores terciarios (trazados en verde), los que se conectan sucesivamente al colector primario de la Etapa 1 para descargar en la misma planta de tratamiento.

Este esquema constituye una proyección en escala, la infraestructura principal se construye una sola vez y el sistema crece por agregación de colectores y ramales sobre esa columna vertebral, incorporando las cantidades de viviendas según cada etapa hasta alcanzar las 1.906 viviendas conectadas (78% del área de estudio). El escalamiento por etapas permite, además, sincronizar la ejecución de obras con la disponibilidad de financiamiento público y con la evolución de la tecnología de tratamiento que se definirá en la siguiente sección.

Los ramales de recolección se proyectan íntegramente como alcantarillado condominial, decisión orientada a abaratar los costos de excavación e instalación conforme a la evaluación multicriterio de la sección 7.2.3, sin perjuicio de que tramos específicos puedan reevaluarse hacia el tipo convencional según las condiciones

particulares de cada caso (tráfico vehicular, cruces de calzada, interferencias o disponibilidad de servidumbres de paso y acueducto al interior de los pasajes).

Contraste con la aplicación estricta de la normativa vigente

Si el sistema se proyectara íntegramente conforme al estándar convencional que exige la normativa vigente (Manual DOH 2023 y NCh 1105:2019), deberían contemplarse colectores convencionales en la totalidad de la red con profundidad mínima de 1,6 m sobre la clave y diámetros nominales mínimos de 180 mm, lo que dificultaría en gran medida el proyecto por la combinación de dos condiciones: la profundidad creciente de los colectores que impone el perfil topográfico, la morfología irregular del territorio entre las cinco localidades, que alterna sectores concentrados, semiconcentrados y dispersos separados por desniveles de terreno.

La diferencia entre ambas configuraciones se ilustra con el requerimiento de relevación: bajo el esquema recomendado, solo el colector primario debe configurarse con una estación elevadora de aguas servidas (PEAS), condición técnica y económicamente factible para la escala de los SSR. En cambio, una red íntegramente convencional proyectada según normativa requeriría múltiples PEAS distribuidas en todo el territorio para sostener el escurrimiento entre localidades, multiplicando los costos energéticos permanentes, los requerimientos de respaldo eléctrico, las servidumbres de terreno y los puntos de falla del sistema, complejidad operacional incompatible con las capacidades de gestión actuales de los SSR.

Viviendas sin cobertura de red

Las 542 viviendas que permanecen sin cobertura de red (22% del total, correspondientes a las zonas dispersas) mantienen la solución de fosas sépticas comunitarias, evaluada y seleccionada en la sección 7.2.4. De este modo, el sistema alcanza al 100% de las viviendas del área de estudio mediante dos componentes complementarios: la red interconectada por etapas y las soluciones descentralizadas para la dispersión territorial (ver Figura 12-2).

7.2 Selección de tecnologías de saneamiento en sujeto de Estudio

El presente capítulo determina la tecnología de saneamiento más adecuada para cada tipo de zona presente en el territorio de San Pedro, diferenciando entre sectores concentrados, semiconcentrados y dispersos que caracterizan la realidad morfológica de los cinco SSR en estudio.

7.2.1 Criterios de Evaluación Tecnológica

La selección de tecnologías de saneamiento para el territorio de San Pedro se realizó mediante una matriz de evaluación multicriterio que integra las dimensiones técnica, económica, normativa y de gestión, tomando como insumos los criterios normativos definidos en el capítulo 5, la percepción regional de los SSR analizada en el capítulo 6 y los resultados del panel de expertos del subcapítulo 6.3.

Cada criterio fue ponderado según su relevancia para el contexto rural de San Pedro y evaluado en una escala de 1 a 5, donde 1 representa condiciones desfavorables y 5 condiciones óptimas para su implementación.

Los criterios considerados en la evaluación se organizan en cuatro dimensiones:

Dimensión Técnica: compatibilidad con la morfología territorial, pendiente y topografía disponible, profundidad de excavación requerida, complejidad de operación y mantenimiento, y rendimiento en remoción de contaminantes según normativa DS N°90.

Dimensión Económica: costo de inversión inicial (CAPEX), costo de operación y mantenimiento (OPEX), sostenibilidad financiera para los SSR y viabilidad tarifaria para los usuarios.

Dimensión Normativa: cumplimiento de la Ley N°20.998, compatibilidad con el DS N°50 y el DS N°236, y alineación con los criterios de la SISS para sistemas rurales.

Dimensión de Gestión: capacidad de administración por parte de los SSR, requerimiento de personal especializado, facilidad de capacitación de operadores locales y experiencia previa en Chile.

7.2.2 Horizonte temporal y evolución tecnológica

El sistema de tratamiento propuesto adopta una estrategia de evolución tecnológica progresiva, estructurada en función del crecimiento poblacional proyectado y del estándar de dimensionamiento de 20 años establecido por el Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural de la DOH (sección 6.1.1), horizonte que se extiende desde el inicio estimado de la operación (año 2030, una vez concluida la interconexión de agua potable) hasta el año 2050.

La selección de lombrifiltro para las Etapas 1 y 2 responde a su bajo costo operacional, nulo requerimiento energético permanente y adecuación a las capacidades de gestión actuales de los SSR, condiciones especialmente relevantes en los primeros años de operación. La transición hacia lodos activados en la Etapa 3 se fundamenta en que, hacia el año 2042, la cooperativa de segundo grado habrá consolidado su estructura tarifaria y base de usuarios sobre 1.906 viviendas, escenario que hace financieramente sostenible el mayor costo operacional de esta tecnología. Esta secuencia es coherente con la experiencia internacional en planificación de saneamiento rural, que recomienda iniciar con tecnologías de bajo costo y escalar progresivamente conforme la capacidad organizacional e

institucional del operador lo permite (Oishi, Mizutani, Nakazato, McConville, & Sano, 2026).

7.2.3 Evaluación para Zonas Concentradas y Semiconcentradas

Para los sectores concentrados y semiconcentrados de San Pedro, identificados en la Figura 7-1, se evaluaron dos alternativas tecnológicas principales: el alcantarillado convencional y el alcantarillado condominial (también conocido como alcantarillado de baja profundidad). La evaluación se aplicó a los colectores ramales que se articulan sobre el colector primario convencional definido en la sección 7.1.2, componente troncal que se mantiene en estándar convencional en ambas alternativas.

Los resultados de la matriz (ver Tabla 12.1 de anexos) evidencian que el alcantarillado condominial obtiene un puntaje ponderado de 4,0, superando al alcantarillado convencional (3,1). Esta diferencia se explica principalmente por las ventajas del sistema condominial en las dimensiones económica y de gestión, que son las más relevantes para la realidad operativa de los SSR de San Pedro.

El alcantarillado convencional, si bien obtiene los puntajes más altos en rendimiento técnico y cumplimiento normativo, presenta limitaciones significativas en el contexto rural. Su mayor profundidad de excavación encarece la obra civil, su operación requiere personal y equipo calificado con el que los SSR no cuentan actualmente.

El alcantarillado condominial, en cambio, opera a menor profundidad que el sistema convencional, reduciendo significativamente los costos de excavación e instalación. Las tuberías se instalan al interior de los bloques de viviendas, siguiendo trayectorias más cortas y a cotas superficiales, lo que permite una reducción de costos de hasta un 30 a 50% respecto al sistema convencional, según experiencias documentadas en Brasil (SSWM – Sustainable Sanitation and Water Management, s.f.). El resultado fundamenta el esquema mixto recomendado en la sección 7.1.2: troncal convencional único y ramales condominiales (ver Figura 12-1), con reevaluación caso a caso hacia el tipo convencional donde las condiciones locales lo exijan.

Tecnología de tratamiento

Para las Etapas 1 y 2 se propone el lombrifiltro, tecnología no convencional que opera mediante la acción de lombrices sobre la materia orgánica, sin requerimiento de energía eléctrica permanente ni personal altamente especializado. Esta tecnología presenta un costo operacional de aproximadamente UF 900 anuales para sistemas de 2.500 habitantes, siendo la más económica en ese rango según la evidencia referenciada. El lombrifiltro se ajusta adecuadamente a la Etapa 1 (2.589 habitantes), cuya carga se encuentra en el margen superior de su rango óptimo, por lo que se recomienda dimensionar con una holgura del 15 al 20%

respecto a la carga de diseño. Para la Etapa 2, que eleva la población servida a 4.465 habitantes acumulados, se contempla la instalación de una segunda línea de lombrifiltro operando en paralelo e independientemente de la primera, manteniendo la misma base tecnológica y operacional.

Para la Etapa 3, que incorpora los sectores semiconcentrados restantes y eleva la población total con red a 5.910 habitantes, se propone la transición hacia lodos activados. Esta tecnología de tipo convencional ofrece mayor capacidad de tratamiento, rendimientos de remoción superiores al 90% en DBO y SST, y escalabilidad de proyección de futuras demandas. Dado que las tres etapas descargan en el mismo punto de tratamiento a través del colector primario (sección 7.1.2), la transición tecnológica se realiza en un único emplazamiento, sin duplicar terrenos ni instalaciones complementarias.

Esta progresión tecnológica es coherente con las recomendaciones del panel de expertos (sección 6.3.2), que identificó los lodos activados como la tecnología de mayor preferencia para el tratamiento en zonas rurales interconectadas, a la vez que reconoció el lombrifiltro, plantas modulares y las fosas sépticas como alternativas válidas para escalas menores. La diferenciación por etapa permite capturar las ventajas de cada tecnología en el momento del ciclo de vida del sistema en que resultan más pertinentes.

7.2.4 Evaluación para Zonas Dispersas

Para los sectores dispersos del territorio, donde la baja densidad habitacional hace inviable económicamente cualquier solución de red colectiva, se evaluaron dos alternativas de saneamiento descentralizado: las fosas sépticas comunitarias y el alcantarillado condominial de pequeña escala con plantas modulares. Ambas soluciones contemplan sistemas de tratamiento in situ o de corto alcance, sin requerir grandes redes de recolección, para las 542 viviendas sin cobertura de red (1.680 habitantes).

Las fosas sépticas comunitarias obtienen un puntaje ponderado de 4,2, superando al alcantarillado condominial de pequeña escala con plantas modulares, que alcanza 3,2 (ver Tabla 12.2 de anexos). La diferencia se concentra en las dimensiones técnica y de gestión, donde la fosa séptica comunitaria demuestra una mayor adaptación a las condiciones de baja densidad habitacional. Estas unidades agrupan a un conjunto acotado de viviendas bajo un sistema compartido de tratamiento primario, permitiendo reducir costos respecto a las soluciones individuales sin requerir la infraestructura de red que exige el alcantarillado condominial.

7.2.5 Síntesis de la Selección Tecnológica

Los resultados de ambas matrices, integrados con el esquema de desarrollo por etapas de la sección 7.1.2, permiten establecer la siguiente asignación tecnológica diferenciada para el territorio de San Pedro. Esta asignación constituye el fundamento del diseño del sistema en la sección siguiente (Tabla 7.5):

Tabla 7.5 Síntesis de selección tecnológica por morfología territorial.

Morfología Territorial	Etapa	Tecnología de Recolección	Tecnología de Tratamiento	Puntaje Obtenido
Concentrada	1	Alcantarillado Condominial	Lombrifiltro (1ª línea)	4,0
Concentrada/ Semiconcentrada	2	Alcantarillado Condominial	Lombrifiltro (2ª línea en paralelo)	4,0
Semiconcentrada	3	Alcantarillado condominial	Lodos activados	4,0
Dispersa	Solución Permanente	Sin red	Fosa Séptica Comunitaria	4,2

Fuente: Elaboración Propia.

Esta selección integra las dimensiones técnica, económica, normativa y de gestión en una decisión fundada en la evidencia recopilada a lo largo de los capítulos previos, asegurando que las tecnologías propuestas sean no solo técnicamente viables, sino sostenibles para las comunidades y organizaciones que deberán operarlas en el tiempo. La diferenciación por morfología territorial y etapa de implementación permite además que las soluciones coexistan y evolucionen dentro del esquema de interconexión operativa de los cinco sectores.

7.3 Evaluación de Factibilidad de la Propuesta del Sistema de Saneamiento

La presente sección evalúa la factibilidad del sistema de saneamiento diferenciado definido en los subcapítulos 7.1 y 7.2, analizando de manera integrada tres dimensiones interdependientes: la técnica, la económica y la de gestión. Desde la perspectiva técnica, se verifica la compatibilidad del esquema propuesto con las condiciones territoriales, la normativa sanitaria vigente y la capacidad instalada de los cinco sectores, identificando las brechas que requieren ser resueltas para su implementación.

7.3.1 Factibilidad Técnica

Compatibilidad con las Condiciones Territoriales

El esquema recomendado de colector primario convencional con ramales condominiales es técnicamente compatible con las condiciones territoriales de San Pedro. La topografía del área presenta pendientes naturales que permiten el

escurrimiento por gravedad en la mayor parte de los trazados definidos en la sección 7.1.1; el requerimiento de relevación queda acotado a una única PEAS en el colector primario (sección 7.1.2), condición factible frente a las múltiples estaciones que exigiría una red íntegramente convencional. La profundidad de instalación de los ramales condominiales, que oscila entre 0,2 y 0,6 metros, reduce significativamente los riesgos de interferencia con otras redes de servicios existentes.

Las plantas de tratamiento mediante lombrifiltro son técnicamente viables para la proyección de 2.589 habitantes de la Etapa 1, escala con experiencias de implementación documentadas en contextos rurales de Chile y América Latina (GEMAT (Gestión Evualuación Medio Ambiente y Tratamiento), s.f.). Para las zonas dispersas, las fosas sépticas comunitarias son técnicamente adecuadas siempre que los terrenos disponibles presenten condiciones mínimas de permeabilidad para la infiltración del efluente tratado, aspecto que deberá verificarse mediante ensayos de percolación en las ubicaciones definidas para cada unidad, constituyendo una condición técnica habilitante para la ejecución del componente no convencional del sistema.

Compatibilidad Normativa

El sistema propuesto es compatible con el marco normativo vigente en sus dos componentes. El componente de red con lombrifiltro se enmarca en las disposiciones de la Ley N°20.998, el DS N°50 del MOP y los criterios técnicos de la SISS para sistemas rurales, sin perjuicio de que los ramales condominiales requieren aprobación caso a caso por no estar regulados como tecnología en el Manual DOH (brecha analizada en la sección 7.5.4) Las fosas sépticas comunitarias se ajustan a las disposiciones del DS N°236 del Ministerio de Salud, que regula los alcantarillados particulares. En ambos casos, la obtención de las autorizaciones sanitarias correspondientes requerirá la presentación de proyectos de ingeniería de detalle ante la Autoridad Sanitaria Regional, condición que los SSR deberán gestionar en la etapa de ejecución.

7.3.2 Factibilidad Económica

Estimación de Costos de Inversión (CAPEX)

Los costos de inversión del sistema se estimaron a partir de parámetros unitarios obtenidos de la literatura especializada y de proyectos de saneamiento rural ejecutados en Chile, particularmente las referencias del estudio de la SUBDERE para localidades rurales (Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018). Los valores se expresan en unidades de fomento por vivienda conectada (UF/viv.) para facilitar su comparación con estándares nacionales (Tabla 7.6).

Tabla 7.6 Estimación de costos de inversión por componente y etapa.

Componente	Etapa	Viviendas	Costo Unit. (UF/viv.)	Costo Total (UF)	Costo Total (M$)
Colector primario convencional + PEAS (troncal)	1	1.906 (*)	-	16.000 - 31.000	691 - 1.381
Alcant. condominial + lombrifiltro	1	835	35 - 45	29.225 - 37.575	1.187 - 1.527
Alcant. condominial + lombrifiltro	2	605	35 - 45	21.175 - 27.225	860 - 1.106
Alcant. condominial + lodos activados	3	466	35 - 45	16.310 - 20.970	662 - 851
Fosas sépticas comunitarias	Única	542	15 - 20	8.130 - 10.840	330 - 440
Total Sistema		**2.448**		**90.840 - 127.610**	**3.709 – 5.210**

Fuente: Elaboración propia a partir de SUBDERE (Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018) y parámetros BID. UF al 1 de junio de 2026 = $40.628 (SII).

Nota: La partida troncal corresponde a una estimación de orden de magnitud elaborada para esta investigación, considerando una longitud referencial de 17 km del colector primario (medida sobre el trazado de la Figura 7-2), un costo unitario referencial de 1,5 a 2,5 UF por metro lineal de colector DN 250mm instalado a estándar normativo (incluidas excavación, cama de apoyo, tubería, cámaras y reposiciones) y una PEAS con obras civiles, equipos de impulsión, tablero y respaldo eléctrico valorizada entre 1.000 UF. Beneficia a las 1.906 viviendas conectadas a red, con una incidencia de 9 a 18 UF por vivienda. Estos valores deben validarse en las etapas de ingeniería posteriores.

Mecanismos de Financiamiento Disponibles

La inversión requerida excede ampliamente la capacidad financiera propia de los cinco sectores, considerando que estos organismos operan actualmente solo con ingresos tarifarios por concepto de agua potable. Sin embargo, el contexto institucional chileno dispone de mecanismos de financiamiento público específicamente orientados a infraestructura de saneamiento rural, que constituyen las fuentes de financiamiento pertinentes para este proyecto.

El principal mecanismo disponible es el Programa de SSR del Ministerio de Obras Públicas por la administración de la subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, que financia hasta el 100% de la inversión en infraestructura de saneamiento para localidades rurales concentradas, con población entre 150 y 3.000 habitantes, condición que San Pedro cumple en sus sectores concentrados. Complementariamente, el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) administrado por la SUBDERE financia proyectos de infraestructura sanitaria rural mediante postulación de los municipios o de los propios SSR, con cofinanciamiento que puede alcanzar hasta el 90% de la inversión total.

Sostenibilidad Financiera del Servicio

La sostenibilidad financiera del sistema de saneamiento depende de la capacidad de los SSR para recuperar los costos de operación y mantenimiento mediante el cobro de una tarifa de alcantarillado a sus usuarios. Actualmente los cinco sectores cobran exclusivamente por el servicio de agua potable, con cargos fijos que oscilan entre $2.350 y $5.000 mensuales y un costo variable entre $300 y $500 por m³ consumido, sin componente alguno de saneamiento en su estructura tarifaria.

Para estimar la tarifa de alcantarillado requerida (Tabla 7.7), se consideran los costos de operación y mantenimiento del sistema propuesto, estimados en un rango de 8 a 12 UF anuales por vivienda conectada para el componente condominial, y de 4 a 6 UF anuales por vivienda para las fosas sépticas comunitarias, valores coherentes con los parámetros de OPEX documentados para tecnologías equivalentes en contextos rurales. Distribuidos entre las 2.448 viviendas del área de estudio y expresados en términos mensuales, estos costos representan una tarifa de alcantarillado estimada entre $3.100 y $4.900 mensuales por vivienda, valor que se sitúa en un rango comparable al cargo fijo de agua potable que los usuarios ya pagan actualmente, sugiriendo una disposición a pagar razonable en el contexto de San Pedro.

Tabla 7.7 Estimación de tarifa de alcantarillado requerida para sostenibilidad del servicio.

Componente	OPEX Anual (UF/viv.)	OPEX Mensual ($/viv.)	Viviendas	OPEX Total Mensual (M$)
Alcant. Condominial + Lombrifiltro	8-12	27.085 - 40.628	1.906	51,6 - 77,4
Fosas Sépticas Comunitarias	4-6	13.542 - 20.314	542	7,3 - 11,0
Total Sistema			**2.448**	**58,9 - 88,4**
Tarifa media por vivienda		**$3.100 - $4.900**		

Fuente: Elaboración propia basada en parámetros OPEX de Water and Sanitation Program (2000) y BID (2015). UF al 1 de junio de 2026 = $40.628 (SII).

La estimación de OPEX desarrollada en esta investigación es coherente con los costos operacionales referenciales documentados por la Federación Nacional APR's Chile (Federación Nacional APR's Chile, Agosto 2025) en coordinación con el Banco Interamericano de Desarrollo. Para sistemas de 2.500 habitantes, el lombrifiltro presenta un costo operacional aproximado de UF 900 anuales, equivalente a aproximadamente UF 0,36 anuales por habitante. Aplicado a la Etapa 1 del sistema propuesto para San Pedro, que servirá a 2.589 habitantes equivalentes (835 viviendas por los 3,1 hab/viv), el OPEX estimado se sitúa dentro del rango de 8 a 12 UF anuales por vivienda definido en la Tabla 7.7, validando los parámetros utilizados en la evaluación económica de esta investigación. Estos valores contrastan favorablemente con los más de UF 6.000 anuales que requeriría una planta de lodos activados de escala equivalente, diferencia que reafirma la pertinencia de la progresión tecnológica adoptada.

7.3.3 Factibilidad Gestión

La evaluación de la capacidad de gestión de los cinco sectores de San Pedro parte del reconocimiento de una heterogeneidad significativa en su situación operativa actual y de su proyección futura. Tres de los cinco sectores (El Prado, Nihue y Las Loicas) se encuentran formalmente constituidos como SSR y distribuyen agua potable mediante red propia, contando con experiencia en la operación y mantención de infraestructura sanitaria colectiva, manejo de registros de usuarios y cobro de tarifas.

Los dos sectores restantes (Corneche y La Manga) operan actualmente bajo condiciones precarias de abastecimiento mediante camiones aljibe, sin figura formal de SSR, situación que será resuelta con la ejecución del proyecto de interconexión de Alpha Ingeniería Ltda., que les permitirá constituirse como SSR antes de la puesta en marcha del sistema de saneamiento propuesto.

Brechas de Capacidad Identificadas

El análisis de la situación actual de los cinco sectores permite identificar cuatro brechas de capacidad que deben ser abordadas para que el sistema de saneamiento propuesto sea gestionable de manera sostenible.

La primera brecha es la capacidad técnica operacional: ninguno de los cinco sectores cuenta actualmente con personal capacitado en la operación de sistemas de alcantarillado ni en el manejo de plantas de tratamiento de aguas servidas. La incorporación del saneamiento como servicio adicional requerirá la capacitación de operadores en las tecnologías seleccionadas, particularmente en el manejo de lombrifiltros y en los protocolos de mantención de fosas sépticas comunitarias, competencias que pueden ser desarrolladas mediante programas de capacitación de la SUBDERE y del MOP.

La segunda brecha es la capacidad administrativa y financiera: la gestión del sistema de saneamiento implica la administración de una nueva línea de ingresos y

gastos, la mantención de registros de operación exigidos por la SISS y la elaboración de reportes periódicos a la autoridad sanitaria. Los SSR con red de distribución tienen experiencia parcial en estas tareas para el servicio de agua potable, pero deberán ampliar sus sistemas de registro y control para incorporar el componente de saneamiento.

La tercera brecha es la capacidad de coordinación interorganizacional: la operación conjunta del sistema interconectado requiere mecanismos formales de coordinación entre los cinco SSR que actualmente no existen, brecha abordada directamente en el modelo de gestión de la sección 7.4.

7.3.4 Síntesis de la Evaluación de Factibilidad

La evaluación integrada de las tres dimensiones analizadas permite concluir que el sistema de saneamiento propuesto para San Pedro es factible en sus dimensiones técnica y económica, con condiciones que deben ser resueltas en la dimensión de gestión antes de avanzar hacia la implementación. La síntesis de la evaluación se indica en la Tabla 7.8.

Tabla 7.8 Síntesis de la evaluación de factibilidad.

Dimensión	Resultado	Condición Principal
Técnica	Factible	Verificar percolación en zonas dispersas
Económica	Factible con financiamiento público	Postulación a programas MOP y FNDR
Gestión	Factible con fortalecimiento previo	Resolver brechas de capacidad identificadas
Evaluación Global	**Factible con condiciones**	**Modelo de gestión integral requerido**

Fuente: Elaboración propia.

Esta conclusión fundamenta la necesidad del modelo de gestión integral que se desarrolla en la sección siguiente, instrumento central para resolver las brechas identificadas y asegurar la sostenibilidad del sistema en el largo plazo.

7.4 Modelo de Gestión Integral para operación

En esta sección se propone un modelo de gestión integral que estructure la operación conjunta de los cinco sectores de San Pedro, tomando como base los resultados de la evaluación de factibilidad desarrollada en el capítulo anterior. El modelo reconoce que la administración de un sistema de saneamiento diferenciado, con componentes convencionales y no convencionales operando de manera interconectada, requiere una arquitectura organizacional que defina con claridad los roles y responsabilidades de cada SSR dentro del esquema colectivo.

7.4.1 Fundamento Jurídico del Modelo

El modelo de gestión integral propuesto para la operación conjunta de los cinco SSR de San Pedro se sustenta en el marco jurídico establecido por el Decreto con Fuerza de Ley N°5 de 2003 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que contiene la Ley General de Cooperativas, y en las disposiciones de la Ley N°20.998 que regula los SSR. La articulación de ambos cuerpos normativos permite diseñar una estructura organizacional que responde tanto a los requerimientos de gestión del sistema de saneamiento propuesto como a la realidad institucional actual de los SSR del área de estudio.

El DFL N°5 de 2003 define las cooperativas como asociaciones de personas que se unen voluntariamente para satisfacer sus necesidades y aspiraciones económicas, sociales y culturales comunes, mediante una empresa de propiedad conjunta y de gestión democrática, sin perjuicio de que puedan desarrollar actividades con terceros. En su Título I, el artículo 6° establece que las cooperativas de segundo grado o uniones de cooperativas son aquellas formadas por la reunión de dos o más cooperativas de la misma o distinta clase, con el propósito de coordinar, complementar y realizar operaciones o actividades propias del objeto de sus cooperativas asociadas. Esta figura jurídica constituye el instrumento más adecuado para articular la operación conjunta de los cinco sectores, toda vez que preserva la autonomía de cada organización en la gestión de su servicio de agua potable, mientras crea una entidad común con personalidad jurídica propia para administrar el sistema de saneamiento compartido.

7.4.2 Arquitectura del Modelo en Dos Etapas

La implementación del modelo requiere una transición ordenada desde la situación actual de los cinco comités hacia la estructura cooperativa propuesta, organizada en dos etapas secuenciales.

Etapa 1 - Transformación de Comités APR en Cooperativas de Servicios

La primera etapa consiste en la transformación jurídica de cada uno de los cinco comités APR en cooperativas de servicios individuales, en conformidad con el Título II del DFL N°5 de 2003, Tabla 7.9. Esta transformación no implica la disolución de las organizaciones existentes ni la pérdida de sus derechos y concesiones bajo la Ley N°20.998, sino un cambio de figura jurídica que les otorga personalidad jurídica propia, capacidad para contratar, patrimonio autónomo y estructura de gobierno democrática formalmente regulada. El proceso se rige por el artículo 14° del DFL N°5 (estatutos, asamblea constitutiva e inscripción en el Registro de Cooperativas del Ministerio de Economía); la SISS deberá ser notificada del cambio de figura jurídica para actualizar los instrumentos de concesión, trámite que no requiere una nueva postulación.

Tabla 7.9 Proceso de transformación de comités APR a cooperativas de servicios.

Etapa	Acción	Fundamento Legal	Responsable	Plazo Estimado
1.1	Elaboración de estatutos cooperativos	Art. 14° DFL N°5/2003	Directiva de cada comité + asesoría jurídica	3 meses
1.2	Asamblea constitutiva de cada cooperativa	Art. 15° DFL N°5/2003	Socios de cada SSR	1 mes
1.3	Inscripción en Registro de Cooperativas	Art. 17° DFL N°5/2003	Depto. de Cooperativas, Min. Economía	2 meses
1.4	Notificación y actualización ante SISS	Ley N°20.998, Art. 4°	Cada cooperativa + SISS	2 meses
	Total Etapa 1			**8 meses**

Fuente: Elaboración propia basada en DFL N°5/2003 y Ley N°20.998.

Etapa 2 - Constitución de la Cooperativa de Segundo Grado

Completada la transformación de los cinco sectores, se procederá a la constitución de la cooperativa de segundo grado, en conformidad con el artículo 6° del DFL N°5 de 2003, Tabla 7.10. Esta nueva entidad (denominada para efectos de esta propuesta Cooperativa de SSR San Pedro de Segundo Grado) tendrá como objeto social exclusivo la administración, operación y mantenimiento del sistema de saneamiento interconectado definido en las secciones anteriores, sin interferir en la gestión autónoma del servicio de agua potable de cada cooperativa base. Se constituirá con las cinco cooperativas de primer grado como socias fundadoras, cada una con igual participación en el capital social inicial y en los derechos de voto, en aplicación del principio democrático del artículo 1° del DFL N°5.

Tabla 7.10 Proceso de constitución de la cooperativa de segundo grado.

Etapa	Acción	Fundamento Legal	Responsable	Plazo Estimado
2.1	Elaboración de estatutos de segundo grado	Art. 6° y 14° DFL N°5/2003	Las cinco cooperativas base + asesoría jurídica	3 meses
2.2	Asamblea constitutiva inter-cooperativas	Art. 15° DFL N°5/2003	Representantes de las cinco cooperativas	1 mes
2.3	Inscripción en Registro de Cooperativas	Art. 17° DFL N°5/2003	Depto. de Cooperativas, Min. Economía	2 meses

2.4	Suscripción de convenios de operación con SSR	Ley N°20.998 y estatutos	Cooperativa de segundo grado + cada SSR	2 meses
2.5	Habilitación ante SISS como operador de saneamiento	Ley N°20.998, Art. 5°	Cooperativa de segundo grado + SISS	3 meses
	Total Etapa 2			**11 meses**

Fuente: Elaboración propia basada en DFL N°5/2003 y Ley N°20.998.

7.4.3 Estructura de Gobierno de la Cooperativa de Segundo Grado

La estructura de gobierno se organiza en tres niveles jerárquicos, en conformidad con el Título V del DFL N°5 de 2003. El primer nivel corresponde a la Asamblea General de Cooperativas Socias, órgano máximo integrado por los representantes designados por cada una de las cinco cooperativas base; se reunirá ordinariamente una vez al año para aprobar la memoria y el balance, fijar las tarifas, aprobar el presupuesto anual de operación y mantenimiento, y resolver sobre la distribución de excedentes o la cobertura de déficits, adoptando sus decisiones por mayoría simple con un voto por cooperativa socia.

El segundo nivel corresponde al Consejo de Administración, integrado por cinco consejeros (uno por cada SSR), que sesionará mensualmente y será responsable de supervisar la gestión técnica y financiera, aprobar contratos de mantención y servicios, gestionar las relaciones con los organismos públicos y resolver emergencias operativas. El tercer nivel corresponde a la Gerencia Técnica, cargo de dedicación exclusiva designado por el Consejo, responsable de la operación cotidiana del sistema: operación y mantención de PTAS, supervisión de los operadores de terreno, elaboración de los reportes operacionales exigidos por la SISS, coordinación con los operadores de cada cooperativa base y gestión de los programas de mantención preventiva. Esta gerencia técnica podría ser interna o por contrato con un tercero.

7.4.4 Modelo de Coordinación Operativa entre Niveles

La operación conjunta del sistema de saneamiento requiere definir mecanismos de coordinación entre la cooperativa de segundo grado y las cinco cooperativas base, reconociendo que la infraestructura física cruza los territorios de gestión de cada SSR. Esta coordinación se estructura en tres instrumentos formales.

El primero es el Convenio de Operación y Mantenimiento, suscrito entre la cooperativa de segundo grado y cada cooperativa base, que delimita las responsabilidades de mantención de cada tramo de red, establece los protocolos de reporte de fallas y emergencias, define los plazos de respuesta y regula las condiciones de acceso a la infraestructura ubicada en terrenos bajo administración de cada cooperativa.

El segundo es el Reglamento de Distribución de Costos, aprobado por la Asamblea General, que establece la metodología para distribuir los costos de operación y

mantenimiento entre las cinco cooperativas en proporción a la carga hidráulica aportada por los usuarios de cada SSR, evitando subsidios cruzados no acordados.

El tercero es el Plan Anual de Operación y Mantenimiento, elaborado por la Gerencia Técnica y aprobado por el Consejo de Administración, que programa la mantención preventiva, el vaciado periódico de fosas sépticas y lombrifiltros, la operación y mantención de la PEAS, las inspecciones de red y las inversiones de reposición para cada ejercicio anual.

7.4.5 Modelo Tarifario del Saneamiento

La cooperativa de segundo grado establecerá una tarifa de saneamiento independiente de la tarifa de agua potable que cobra cada cooperativa base, en conformidad con las disposiciones tarifarias de la Ley N°20.998 y los principios de auto sustentación financiera del DFL N°5. La estructura propuesta se compone de un cargo fijo mensual por conexión, destinado a cubrir los costos fijos de administración y mantención de la infraestructura, y un cargo variable por metro cúbico de agua potable consumida, utilizado como estimador del volumen de aguas servidas generadas, dado que los sistemas rurales generalmente no cuentan con medición directa del caudal de alcantarillado.

Coherente con la estimación de la sección 7.3.2, la tarifa media requerida se sitúa entre $3.100 y $4.900 mensuales por vivienda al valor de la UF del 1 de junio de 2026, valor que deberá ser fijado por la Asamblea General y aprobado por la SISS en el proceso de tarificación de la Ley N°20.998.

7.4.6 Vinculación con Actores Externos

El modelo no opera de manera aislada, sino que se articula con los actores institucionales del sector sanitario rural mediante relaciones formales que son condición necesaria para su funcionamiento. La Subdirección de SSR del MOP ejercerá su rol de apoyo técnico y financiero, canalizando los programas de fortalecimiento institucional y los fondos de inversión disponibles. La SISS y SEREMI ejercerán su rol regulador y fiscalizador sobre la cooperativa de segundo grado en su calidad de operador del sistema, requiriendo el cumplimiento de los estándares de calidad del servicio y la presentación de reportes operacionales periódicos. El Municipio de San Pedro y el Gobierno Regional Metropolitano constituyen actores relevantes en la gestión de financiamiento mediante el FNDR y en la coordinación de la planificación territorial del área de estudio.

7.4.7 Síntesis del Modelo de Gestión

El modelo articula dos niveles organizacionales complementarios: las cinco cooperativas de servicios de primer grado, que mantienen la gestión autónoma del agua potable en sus territorios, y la cooperativa de segundo grado, que administra de manera centralizada el sistema de saneamiento interconectado. Asignando cada

función al nivel que puede ejercerla con mayor eficiencia, y se sustenta íntegramente en el marco jurídico del DFL N°5 de 2003 y la Ley N°20.998.

La síntesis del modelo de gestión se indica en la Tabla 7.11.

Tabla 7.11 Síntesis del Modelo de Gestión.

Nivel	Organización	Función Principal	Marco Legal
Primer grado (x5)	Cooperativas de servicios SSR	Gestión agua potable en territorio propio	DFL N°5/2003, Ley N°20.998
Segundo grado (x1)	Cooperativa SSR San Pedro 2° Grado	Gestión saneamiento interconectado	Art. 6° DFL N°5/2003
Regulador	SISS	Fiscalización y tarificación	Ley N°20.998
Regulador	SEREMI	Fiscalización salud	Ley N°20.998
Apoyo técnico	Subdirección SSR MOP	Asistencia técnica y financiamiento	Ley N°20.998
Territorial	Municipio y Gobierno Regional	Planificación y cofinanciamiento FNDR	Ley N°19.175

Fuente: Elaboración propia basada en DFL N°5/2003 y Ley N°20.998.

El modelo así estructurado sienta las bases para el análisis del marco normativo y de los factores críticos de éxito que se desarrollan en las secciones siguientes.

7.5 Análisis del marco normativo y brechas legales

La presente sección analiza tres cuerpos legales cuyas disposiciones inciden directamente en la viabilidad del modelo de saneamiento rural interconectado propuesto: la Ley N°20.998 que regula los SSR, el Decreto Ley N°3.516 de 1980 sobre división de predios rústicos y el DFL N°5 de 2003 que contiene la Ley General de Cooperativas, además del Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural de la DOH como referencia técnica. Para la Ley N°20.998, las brechas identificadas se contrastan con el proyecto de ley en tramitación en el Senado (Boletín N°17.877-33), lo que permite distinguir qué brechas ya son abordadas por la iniciativa legislativa, cuáles quedan sin respuesta y cuáles requieren ajustes adicionales. El desarrollo íntegro del análisis, brecha por brecha y con el detalle del debate legislativo, se presenta en el Anexo 12.6.2; esta sección expone sus resultados de manera sintética.

7.5.1 Brechas de la Ley N°20.998

Brecha N°1 - Ausencia de regulación específica para el saneamiento interconectado entre SSR

La ley vigente no contempla disposiciones para la operación conjunta de sistemas de saneamiento entre SSR que comparten un territorio, lo que deja sin respaldo jurídico explícito a la figura del operador interconectado y genera incertidumbre sobre sus responsabilidades ante la SISS. El Boletín N°17.877-33 la aborda solo parcialmente: el nuevo artículo 9° incorpora las soluciones colectivas y el nuevo artículo 13° faculta a la Subdirección para contratar con terceros la operación de plantas que sirvan a varios SSR, pero el proyecto no reconoce la figura de la cooperativa de segundo grado como operador habilitado ni establece un mecanismo de habilitación específico. Esta es la brecha de mayor relevancia para el modelo analizado.

Brecha N°2 – Falta de reconocimiento de la cooperativa de segundo grado

La ley reconoce como licenciatarios únicamente a comités y cooperativas de manera individual. El artículo 3° del proyecto vincula expresamente la cooperativa de agua potable rural al DFL N°5/2003, avance que sin embargo se limita a las cooperativas de primer grado, impidiendo la habilitación formal de una organización de segundo grado como operador ante la SISS.

Brecha N°3 - Estructura tarifaria sin componente de saneamiento para gestión conjunta

La estructura tarifaria actual contempla exclusivamente el cobro por agua potable. El artículo 8° del proyecto avanza al establecer el cobro en cuenta única de agua potable y saneamiento, pero no define un mecanismo de fijación del cargo de saneamiento cuando este es administrado por una entidad distinta del licenciatario individual, vacío que el modelo de San Pedro hace explícito.

7.5.2 Brechas del Decreto Ley N°3.516 de 1980

Brecha N°1 - Ausencia de exigencia de dotación sanitaria en subdivisiones rurales

El DL N°3.516 permite la libre subdivisión de predios rústicos en lotes no inferiores a 5.000 m² sin exigir estándar alguno de dotación de servicios sanitarios, lo que genera asentamientos dispersos sin solución de saneamiento y traslada a los SSR la responsabilidad de atender viviendas cuya localización fue determinada por un marco normativo ajeno a la gestión del agua (véase el desarrollo territorial de esta brecha en la sección 7.6 y en el Anexo 12.6.3).

Brecha N°2 - Desconexión entre la planificación de subdivisiones y la planificación del saneamiento

No existe mecanismo de coordinación entre el SAG, que aprueba las subdivisiones, y la Subdirección de SSR del MOP, que planifica y financia la infraestructura de

saneamiento rural, lo que permite aprobar subdivisiones en territorios sin capacidad de cobertura, generando demanda insatisfecha que el Estado deberá financiar posteriormente a mayor costo. El Boletín N°15.214-14, que propone reemplazar el DL N°3.516 elevando la superficie mínima a 1 hectárea, tampoco incorpora la variable de saneamiento como criterio de evaluación.

7.5.3 Recomendaciones sobre el DFL N°5 de 2003 — Ley General de Cooperativas

Brecha N°1 - Ausencia de disposiciones específicas para cooperativas de SSR

El DFL N°5 regula las cooperativas de manera general, sin disposiciones para las que prestan servicios sanitarios rurales ni para las de segundo grado que administran infraestructura compartida, lo que genera incertidumbre en la distribución de responsabilidades ante la SISS, el tratamiento de los bienes indispensables del servicio y los mecanismos de resolución de conflictos entre cooperativas socias.

Brecha N°2 - Proceso de transformación de comités APR en cooperativas

No existe un procedimiento simplificado de transformación que reconozca la continuidad jurídica de la organización, sus derechos adquiridos ante la SISS y sus bienes como patrimonio inicial de la cooperativa; el proceso general del Título II resulta complejo y costoso para organizaciones pequeñas. El proyecto de ley reconoce a comités y cooperativas como licenciatarios y el debate legislativo registra posiciones favorables a asimilar sus estatutos, lo que sugiere apertura a resolver esta brecha durante la tramitación.

7.5.4 Brechas técnicas del Manual DOH

La revisión del Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural de la DOH (2023) a la luz de los requerimientos del caso identifica cuatro brechas técnicas:

A. La profundidad mínima de instalación de 1,60 m, heredada del estándar urbano y desproporcionada para las cargas de tráfico rurales.

B. El diámetro mínimo de 180 mm, sobredimensionado para los caudales reales de tramos iniciales rurales.

C. La ausencia total de criterios de diseño para sistemas interconectados entre múltiples SSR.

D. La falta de regulación del alcantarillado condominial como tecnología, lo que obliga a aprobaciones caso a caso sin parámetros preestablecidos. El desarrollo de estas brechas y su síntesis tabular se presentan en el Anexo 12.6.3 (Tabla 12.3

Síntesis de brechas técnicas del Manual DOH para el caso de San Pedro.Tabla 12.3).

7.5.5 Síntesis del análisis normativo

El contraste entre las brechas del caso y el contenido del Boletín N°17.877-33 indica que el proyecto de ley constituye un avance en la incorporación del saneamiento como componente del servicio, la simplificación de licencias y el fortalecimiento del rol de la Subdirección, pero mantiene sin resolver el reconocimiento del operador de segundo grado. Adicionalmente, la integración entre las políticas de ordenamiento territorial y la planificación del saneamiento, documentada como práctica consolidada en Polonia y los Países Bajos (Sobolewska-Mikulska, Loon-Steensma, Stańczuk-Gałwiaczek, & Ritzema, 2018) no es abordada de manera integral por ninguna de las iniciativas legislativas en tramitación, y constituye el ajuste normativo de mayor alcance que los resultados de esta investigación identifican. La síntesis del análisis normativo se indica en la Tabla 7.12.

Tabla 7.12 Síntesis de recomendaciones normativas y su estado en el Boletín N°17.877-33.

Cuerpo Legal	Brecha	Recomendación	Estado en Boletín N°17.877-33
Ley N°20.998	Ausencia de regulación para saneamiento interconectado entre SSR	Reconocer expresamente la operación conjunta de SSR y la figura de segundo grado	Abordada parcialmente (Art. 9° y 13° nuevos)
Ley N°20.998	Ausencia de figura de cooperativa de segundo grado	Incorporar definición y habilitación de cooperativas de segundo grado	No abordada
Ley N°20.998	Estructura tarifaria sin componente de saneamiento interconectado	Procedimiento simplificado de fijación de cargo de saneamiento para gestión conjunta	Abordada parcialmente (Art. 8° nuevo)
DL N°3.516	Sin exigencia de saneamiento en subdivisiones rurales	Informe previo favorable SSSR como requisito de subdivisión en zonas con SSR	No abordada
DL N°3.516	Desconexión entre planificación de	Mecanismo de consulta SAG-SSSR para aprobación de subdivisiones	No abordada

	subdivisiones y saneamiento		
DFL N°5/2003	Ausencia de disposiciones específicas para SSR cooperativos	Título específico para cooperativas de SSR o remisión explícita en Ley N°20.998	No abordada
DFL N°5/2003	Proceso complejo de transformación comité APR a cooperativa	Procedimiento simplificado de transformación con continuidad jurídica	Abordada indirectamente

Fuente: Elaboración propia basada en análisis del caso San Pedro, DL N°3.516/1980, Ley N°20.998, DFL N°5/2003 y Boletín N°17.877-33.

7.5.6 Factores críticos de éxito para la implementación de Saneamiento Rural

La identificación de los factores críticos de éxito (en adelante FCE) se realiza mediante una síntesis transversal de los resultados obtenidos en las secciones anteriores, integrando las dimensiones de diseño, factibilidad, gestión y normativa en un análisis que distingue entre factores internos, aquellos que dependen de la capacidad y decisión de los propios SSR, y factores externos, que dependen de condiciones institucionales, normativas y territoriales sobre las cuales los SSR tienen influencia limitada. Cada factor se caracteriza según su nivel de impacto sobre la viabilidad del sistema y la urgencia de su resolución, generando una matriz que orienta la priorización de acciones tanto para los gestores locales como para los organismos de apoyo institucional.

Factores Críticos Internos

FCE-I1: Fortalecimiento de Capacidades Técnicas y Operacionales

Ninguno de los cinco sectores cuenta con personal capacitado en la operación de redes de alcantarillado, de la PEAS ni de plantas de tratamiento (sección 7.3.3). La disponibilidad de programas de formación de operadores rurales de la SUBDERE y el MOP hace que este factor pueda ser resuelto, aunque requiere planificación anticipada y compromiso de las organizaciones en la destinación de tiempo y recursos para la capacitación de su personal.

FCE-I2: Disposición a la Coordinación Interorganizacional

La operación conjunta exige que los cinco sectores desarrollen una cultura de decisión colectiva que va más allá de sus prácticas actuales de gestión autónoma. Esta disposición no puede imponerse normativamente: debe construirse mediante procesos participativos de diseño de la gobernanza y de generación de confianza entre las directivas. Experiencias latinoamericanas documentan que esta construcción requiere entre uno y dos años de trabajo colaborativo previo a la constitución formal de la organización de segundo grado, tiempo que debe incorporarse en la planificación de la implementación.

Factores Críticos Externos

FCE-E1: Disponibilidad de Financiamiento Público para la Inversión

La inversión total del sistema se estima entre 3.731 y 5.306 millones de pesos (Tabla 7.3), monto que excede completamente la capacidad financiera de los cinco sectores. La factibilidad económica depende de la postulación exitosa a los programas públicos disponibles, Programa de Saneamiento Rural del MOP y FNDR de la SUBDERE, cuyos procesos de aprobación pueden extenderse entre 6 y 10 años.

FCE-E2: Apoyo Institucional de la Subdirección de SSR y la SISS

La Subdirección debe acompañar la transformación jurídica de los SSR y la constitución de la cooperativa de segundo grado, y la SISS debe reconocer a esta última como operador habilitado, estableciendo mecanismos de tarificación y fiscalización adecuados. La ausencia de precedentes de cooperativas de segundo grado de SSR en Chile hace que este apoyo sea especialmente relevante, pues los organismos deberán adaptar sus procedimientos a una figura que la Ley N°20.998 no contempla explícitamente (sección 7.5.1).

FCE-E3 a FCE-E9: Factores externos de carácter normativo-territorial

Un tercer grupo de factores externos proviene del entorno normativo y territorial en que se inserta el sistema: las cuatro brechas técnicas del Manual DOH que obligan a aprobaciones caso a caso (FCE-E3, sintetizadas en la sección 7.5.4); el DL N°3.516 como factor territorial adverso, que genera dispersión habitacional creciente con distancias de hasta 70 metros lineales entre viviendas y explica el 22% de viviendas dispersas del área de estudio (FCE-E4); la brecha estructural entre ordenamiento territorial y gestión del agua en Chile, contrastada con la práctica integrada de Polonia y los Países Bajos (FCE-E5); la ausencia de Plan Regulador Comunal aprobado en San Pedro desde 2009, que debilita la base de proyección de la demanda (FCE-E6); la definición de zonas urbanizables del plan regulador sin coordinación con la capacidad de los SSR (FCE-E7); el reconocimiento del DL N°3.516 en el propio PLADECO comunal, que registra un crecimiento de 3.633 a 4.300 viviendas entre 2011 y 2016 (FCE-E8); y el estado deficitario del saneamiento comunal que el PLADECO documenta, incluida la planta de El Prado que se rebalsa (FCE-E9). El desarrollo completo de estos siete factores se presenta en el Anexo 12.6.3.

Matriz de Factores Críticos de Éxito

La síntesis de los doce factores identificados se presenta en la Tabla 7.13, que los pondera según su nivel de impacto sobre la viabilidad del sistema y la urgencia de

su resolución (alta, media o baja según el horizonte temporal requerido para su abordaje).

Tabla 7.13 Matriz de factores críticos de éxito para la implementación del sistema de saneamiento de San Pedro.

Código	Factor Crítico	Tipo	Impacto	Urgencia	Actor Responsable
FCE-I1	Fortalecimiento capacidades técnicas y operacionales	Interno	Alto	Alta	SSR + SUBDERE + MOP
FCE-I2	Disposición a coordinación interorganizacional	Interno	Alto	Media	SSR
FCE-E1	Disponibilidad de financiamiento público	Externo	Máximo	Alta	MOP + SUBDERE + GORE
FCE-E2	Apoyo institucional SUBDERE y SISS	Externo	Alto	Alta	SUBDERE + SISS
FCE-E3	Brechas técnicas Manual DOH (profundidad, diámetro, interconexión, condominial)	Externo	Alto	Alta	MOP - DOH
FCE-E4	Impacto DL N°3.516 sobre dispersión territorial	Externo	Alto	Media	MINAGRI + SAG + MINVU
FCE-E5	Brecha ordenamiento territorial y gestión del agua	Externo	Alto	Baja	Estado + Municipio
FCE-E6	Ausencia de PRC aprobado en San Pedro	Externo	Medio	Media	Municipio + MINVU
FCE-E7	PRMS y zonas urbanizables sobre San Pedro	Externo	Medio	Baja	GORE + MINVU
FCE-E8	DL N°3.516 reconocido en PLADECO de San Pedro	Externo	Alto	Media	Municipio + MINAGRI
FCE-E9	Estado actual del saneamiento según PLADECO	Externo	Alto	Alta	Municipio + MOP

Fuente: Elaboración propia basada en DFL N°5/2003, DL N°3.516/1980, Ley N°20.998, MOP-DOH (2023), I. Municipalidad de San Pedro (2022) y Stańczuk-Gałwiaczek et al. (2018).

El análisis revela que la implementación del sistema enfrenta desafíos que trascienden la dimensión técnica y se instalan en los planos jurídico, institucional y territorial. Los factores internos son resolubles mediante procesos organizacionales que los propios SSR pueden liderar con el apoyo de los organismos competentes, mientras que los factores externos requieren intervenciones de política pública que superan el ámbito de acción de las organizaciones locales. En particular, la tensión entre el DL N°3.516 y los requerimientos de los sistemas colectivos de saneamiento constituye una brecha estructural que, de no ser abordada en el marco normativo nacional, limitará la replicabilidad del modelo en otros territorios rurales de la Región Metropolitana, independientemente de la calidad técnica del diseño y la solidez del modelo de gestión.

7.6 Replicabilidad del Modelo de Saneamiento en SSR en RM

El presente capítulo sistematiza los aprendizajes obtenidos a lo largo del desarrollo del caso de estudio de San Pedro, traduciéndolos en lineamientos metodológicos que orienten la replicación del modelo de saneamiento diferenciado por morfología territorial en otros SSR de la Región Metropolitana.

7.6.1 Alcance y Propósito de los Lineamientos

Los presentes lineamientos sistematizan los aprendizajes obtenidos a lo largo del desarrollo del caso de estudio de San Pedro, traduciéndolos en orientaciones metodológicas que permitan a otros territorios rurales de la Región Metropolitana evaluar la pertinencia y viabilidad de adoptar un modelo similar de saneamiento interconectado. Su propósito no es proporcionar un diseño acabado para otros contextos, sino establecer una hoja de ruta que guíe a futuros equipos técnicos, organismos públicos y organizaciones comunitarias en el proceso de diagnóstico, diseño, gestión e implementación de sistemas de saneamiento para SSR que comparten un mismo territorio.

La condición de replicabilidad central que define el modelo de San Pedro es la presencia de múltiples SSR en un mismo territorio, condición que habilita la interconexión operativa y la constitución de una cooperativa de segundo grado como figura de gestión conjunta. Sin esta condición, el modelo pierde su elemento diferenciador respecto a las soluciones de saneamiento individual por SSR que ya existen en la literatura técnica y en los programas públicos nacionales. La replicabilidad no implica uniformidad: cada territorio deberá adaptar la morfología del diseño, la escala del sistema y los mecanismos de coordinación a sus

condiciones específicas, manteniendo la coherencia conceptual del enfoque diferenciado por morfología territorial y del modelo de gobernanza cooperativa.

7.6.2 Perfil de Territorios Candidatos a la Replicación

El perfil de territorios transferibles se construye a partir de las variables que determinaron la viabilidad del modelo en el caso de estudio, organizadas en criterios de elegibilidad obligatorios (condiciones sin las cuales el modelo no es aplicable en sus términos esenciales) y criterios complementarios, cuya presencia aumenta significativamente las probabilidades de éxito. Ambos criterios se indican en la Tabla 7.14 y Tabla 7.15 respectivamente.

Tabla 7.14 Criterios de elegibilidad obligatorios para la replicación del modelo.

Criterio	Descripción	Fundamento en el caso San Pedro
Multiplicidad de SSR	Presencia de dos o más SSR en un territorio contiguo o funcionalmente relacionado	Cinco sectores en San Pedro como base de la interconexión
Ausencia de saneamiento colectivo	El territorio no cuenta con sistema de alcantarillado ni tratamiento de aguas servidas	Situación actual de los cinco sectores de San Pedro
Concesión vigente bajo Ley N°20.998	Los SSR deben contar con concesión formal ante la SISS	Requisito para la habilitación del operador de saneamiento
Acceso a fuentes de agua	Existencia de servicio de agua potable como condición habilitante del uso del saneamiento	Tres SSR con red, dos con aljibe en San Pedro

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios de elegibilidad complementarios son condiciones que favorecen la replicabilidad sin ser estrictamente necesarias, pero cuya presencia aumenta significativamente las probabilidades de éxito:

Tabla 7.15 Criterios de elegibilidad complementarios para la replicación del modelo.

Criterio	Descripción	Nivel de Relevancia
Morfología territorial mixta	Presencia simultánea de zonas concentradas, semiconcentradas y dispersas	Alta
Experiencia organizacional previa	Al menos algunos SSR con historia de gestión de infraestructura propia	Alta
Disposición comunitaria al saneamiento	Percepción positiva de las comunidades hacia la implementación de saneamiento	Alta
Proximidad geográfica entre SSR	Distancia entre los territorios de los SSR no superior a 10 km	Media
Topografía favorable	Pendientes que permitan escurrimiento por gravedad en los trazados principales	Media
Ausencia de impacto severo del DL N°3.516	Baja proporción de viviendas en zonas dispersas generadas por subdivisiones recientes	Media

Fuente: Elaboración propia basada en resultados del caso San Pedro y FCE identificados en sección 7.6.

7.6.3 Guía de Pasos Metodológicos para la Replicación

El proceso de replicación se organiza en cinco fases secuenciales, desde el diagnóstico inicial hasta la puesta en marcha del sistema. La Tabla 7.16 sintetiza el propósito y los productos clave de cada fase, junto con la sección de esta investigación cuya metodología replica; el detalle de actividades, productos y responsables de cada fase se presenta en el Anexo 12.6.4 (Tablas 12.4 a 12.8).

Tabla 7.16 Síntesis de las fases metodológicas para la replicación del modelo.

Fase	Propósito	Producto Clave	Referencia Metodológica
1. Diagnóstico territorial y organizacional	Caracterizar el territorio, los SSR y las comunidades en las dimensiones relevantes para el diseño	Catastro de SSR; mapa de morfología; informes de brechas y percepción; marco normativo territorial	Capítulos 1 a 6
2.Selección tecnológica	Identificar la tecnología más adecuada para cada morfología territorial	Matriz multicriterio; acta de validación con SSR; informe de selección	Sección 7.2
3.Diseño del sistema	Adaptar el diseño conceptual a la morfología y tecnologías seleccionadas	Esquema de red por etapas; distribución de unidades; esquema de plantas e interconexión	Secciones 7.1 y 7.2
4.Evaluación de factibilidad y modelo de gestión	Evaluar la viabilidad del sistema y proponer la gobernanza para su operación conjunta	Informes de factibilidad; propuesta de modelo de gestión; proyectos de inversión presentados	Secciones 7.3 y 7.4
5.Implementación y puesta en marcha	Ejecutar el modelo: transformación jurídica, obras, capacitación y operación	Cooperativas constituidas; habilitación SISS; sistema construido; operadores certificados; tarifa vigente	Secciones 7.4 y 7.6

Fuente: Elaboración propia.

7.6.4 Variables de Adaptación del Modelo

La replicabilidad del modelo no implica su aplicación mecánica en otros territorios. Cuatro variables deberán ajustarse en cada caso para asegurar que la solución responda a las condiciones específicas del territorio y de las organizaciones locales.

Número de SSR participantes: El modelo es aplicable con un mínimo de dos SSR, aunque su viabilidad económica mejora con mayor número de organizaciones, dado que los costos fijos de la cooperativa de segundo grado se distribuyen entre más usuarios.

Escala del sistema: la tecnología de tratamiento es adaptable según la escala de cada territorio: para poblaciones menores a 2.500 habitantes se recomienda el lombrifiltro por su bajo costo operacional y su nulo requerimiento energético

permanente; para rangos entre 2.500 y 6.000 habitantes, la solución puede estructurarse con unidades de lombrifiltro en paralelo en una primera fase, evolucionando hacia tecnologías de mayor capacidad (como lodos activados) cuando la base de usuarios y la capacidad tarifaria de la cooperativa lo permitan. Esta progresión debe quedar explicitada desde la etapa de prefactibilidad, de modo que la infraestructura de recolección y la disponibilidad de terrenos sean compatibles con la tecnología de la etapa final del horizonte de diseño.

Figura de gestión: si bien el modelo propone la cooperativa de segundo grado como figura óptima, en territorios donde los SSR tienen figuras jurídicas distintas entre sí podrían evaluarse alternativas como la corporación de derecho privado o el convenio de administración conjunta, siempre que garanticen la personalidad jurídica necesaria para operar el sistema ante la SISS.

Etapas de implementación: El número y secuencia de etapas de la red condominial debe definirse en función de la distribución territorial de la demanda y la disponibilidad de financiamiento en cada caso, sin que la solución de San Pedro en tres etapas constituya un estándar obligatorio.

7.6.5 Síntesis de los Lineamientos de Replicabilidad

Los lineamientos presentados (Tabla 7.17) constituyen el aporte de transferibilidad de la investigación, permitiendo que los resultados del caso trasciendan su contexto específico y contribuyan al desarrollo de soluciones de saneamiento rural para otros SSR de la Región Metropolitana que enfrentan condiciones similares. El conjunto de estos elementos -condiciones habilitantes, fases metodológicas y variables de adaptación- se sintetiza gráficamente en la Figura 12-4 de anexos, que esquematiza el modelo replicable en sus tres planos: condiciones de entrada, proceso metodológico y arquitectura de la solución. Su implementación exitosa dependerá, en último término, de la voluntad de los organismos públicos competentes para adoptar el enfoque integrado de gestión del agua y ordenamiento territorial que esta investigación propone como condición de largo plazo para la sostenibilidad del saneamiento rural en Chile.

Tabla 7.17 Síntesis de lineamientos de replicabilidad del modelo de San Pedro.

Elemento	Condición en San Pedro	Criterio de Replicabilidad
Condición habilitante	Cinco sectores en territorio contiguo	Mínimo dos SSR en territorio relacionado
Morfología territorial	Concentrada, semiconcentrada y dispersa	Cualquier combinación de morfologías
Esquema de red	Colector primario convencional (una PEAS) + ramales condominiales en tres etapas	Definir troncal y etapas según topografía, demanda y financiamiento local

Tecnología zona concentrada	Lombrifiltro (Etapas 1 y 2) con transición a lodos activados (Etapa 3)	Seleccionar según evaluación multicriterio local
Tecnología zona dispersa	Fosas sépticas comunitarias	Seleccionar según densidad y permeabilidad del suelo
Figura de gestión	Cooperativa de segundo grado (DFL N°5/2003)	Adaptar según figura jurídica actual de los SSR
Financiamiento	MOP + FNDR + SUBDERE	Identificar fuentes disponibles en el contexto local
Factor territorial adverso	DL N°3.516 genera dispersión creciente	Evaluar impacto en cada territorio antes del diseño

Fuente: Elaboración propia.

7.7 Modelo de gobernanza integral

El modelo de gobernanza participativa articula la estructura cooperativa de gestión con mecanismos de participación comunitaria desplegados a lo largo del ciclo de vida de la solución. A diferencia de los enfoques que limitan la participación a una consulta inicial, este modelo incorpora a las comunidades como actores de decisión en la localización de la infraestructura, la selección de la tecnología, la definición de la estructura tarifaria, la operación del servicio y su vigilancia social, reconociendo (en línea con la evidencia internacional) que la apropiación comunitaria es condición de sostenibilidad del saneamiento rural.

7.7.1 Diagrama del modelo de gobernanza participativa

El modelo se sintetiza en la Figura 12-3 de anexos, que integra tres planos complementarios: (a) la estructura de gobernanza en cuatro niveles, desde los actores habilitantes externos (Subdirección de SSR, SISS, Municipio y GORE), pasando por la cooperativa de segundo grado y las cinco cooperativas de primer grado, hasta la base social de usuarios; (b) los mecanismos de participación comunitaria (decisión sobre localización de infraestructura, participación en la selección tecnológica, voz y voto en la estructura tarifaria, vigilancia social del servicio, capacitación de operadores locales y resolución dialogada de conflictos); y (c) el despliegue de esa participación a lo largo del ciclo de vida de la solución (diagnóstico, diseño, implementación, operación y monitoreo), con un lazo de retroalimentación que conecta el monitoreo con el rediseño y permite el mejoramiento continuo del sistema.

Esta arquitectura de gobernanza cierra el conjunto de resultados de la investigación: el diseño técnico diferenciado por morfología (secciones 7.1 y 7.2), la factibilidad verificada con condiciones (sección 7.3), el modelo de gestión cooperativa (sección 7.4), los ajustes normativos identificados (sección 7.5), los factores críticos priorizados (sección 7.6) y los lineamientos de replicabilidad (sección 7.7) convergen en un esquema donde la participación comunitaria no es un requisito

formal, sino el mecanismo que sostiene la legitimidad y la continuidad del saneamiento rural interconectado en el tiempo.

8. CONCLUSIONES

Se sintetizan los principales hallazgos de la investigación, organizándolos en torno a cada objetivo específico desarrollado a lo largo de la tesis y culminando en una conclusión general que responde al objetivo general planteado. Las conclusiones integran las dimensiones técnicas, económicas, de gestión y normativa que estructuraron el análisis, reconociendo que la factibilidad del sistema de saneamiento propuesto para San Pedro no puede ser evaluada desde una sola de estas dimensiones, sino únicamente desde su consideración conjunta e interdependiente.

8.1 Conclusiones por Objetivo Específico

OE1 - Documentación de soluciones de saneamiento rural: la revisión de la literatura nacional e internacional permitió constatar que las tecnologías de saneamiento rural han experimentado un desarrollo significativo en las últimas décadas, con soluciones probadas y documentadas para distintas morfologías territoriales. El alcantarillado condominial con tratamiento mediante lombrifiltro y las fosas sépticas comunitarias emergen como las alternativas más adecuadas para contextos rurales de baja y media densidad en América Latina, con experiencias exitosas en Brasil, Bolivia y Paraguay que avalan su viabilidad técnica y económica. La ausencia de experiencias masivas documentadas en Chile revela una brecha entre el conocimiento disponible a nivel internacional y su aplicación en el contexto nacional, brecha que esta investigación contribuye a reducir.

OE2 - Percepción de las comunidades rurales: el análisis de fuentes informativas evidenció que las comunidades rurales reconocen el saneamiento como una necesidad prioritaria, pero manifiestan desconfianza respecto a la capacidad de los organismos públicos para implementar soluciones sostenibles en el tiempo. La percepción comunitaria identifica consistentemente los costos tarifarios y la complejidad de operación como las principales barreras para la adopción de sistemas colectivos de saneamiento, lo que reafirma la pertinencia de las tecnologías de bajo costo operacional seleccionadas en esta investigación. Esta visión es respaldada institucionalmente por el Diagnóstico Nacional de Saneamiento Rural publicado por la Federación Nacional APR's Chile (Federación Nacional APR's Chile, Agosto 2025), que documenta que un 74% de las plantas existentes presenta deficiencias operacionales, confirmando que la brecha identificada en San Pedro forma parte de un patrón estructural nacional que esta investigación contribuye a abordar.

OE3 - Vinculación con módulos del MWM-USM: los módulos del Magíster en Gestión del Agua de la Universidad Técnica Federico Santa María aportaron el

marco conceptual y metodológico que articula las distintas dimensiones de esta investigación. La gestión integrada de recursos hídricos, la gobernanza del agua, la economía del sector sanitario y la regulación de servicios rurales constituyen los ejes conceptuales que permiten abordar el saneamiento no como un problema exclusivamente técnico, sino como un desafío de gestión que requiere soluciones organizacionales, institucionales y normativas articuladas con el diseño de infraestructura.

OE4-Marco teórico del estado del arte: la integración de los resultados de los objetivos 1 al 3 permitió construir un marco teórico que sitúa la problemática de saneamiento rural de San Pedro en el contexto más amplio de los desafíos del sector a nivel nacional e internacional. Este marco revela que las limitaciones del saneamiento rural en Chile no son de orden técnico sino principalmente institucional, normativo y de gestión, conclusión que orienta el enfoque de las propuestas desarrolladas en los capítulos posteriores.

OE5 - Criterios técnicos y normativos: la revisión de la regulación vigente identificó un conjunto de criterios técnicos y normativos aplicables al diseño de sistemas de saneamiento rural en Chile, articulados principalmente en torno a la Ley N°20.998, el DS N°50 y el DS N°236. Se constató que el marco normativo existente es suficiente para habilitar las tecnologías propuestas, aunque presenta vacíos relevantes en materia de operación conjunta de sistemas interconectados entre SSR y de integración con las políticas de ordenamiento territorial, vacíos que son abordados en las recomendaciones normativas del capítulo siguiente.

OE6 - Percepción regional de los SSR: el análisis de la percepción regional de los SSR reveló que las organizaciones del sector reconocen la necesidad del saneamiento y expresan disposición a incorporarlo como parte de su gestión, pero identifican la falta de financiamiento, la complejidad regulatoria y la insuficiencia de apoyo técnico institucional como las principales barreras para su implementación. Esta percepción es coherente con los factores críticos de éxito identificados en la sección 7.5 y valida la pertinencia del modelo de gestión propuesto, que busca precisamente reducir la complejidad organizacional mediante la cooperativa de segundo grado.

OE7 - Análisis multicriterio con panel de expertos: el análisis multicriterio con el panel de expertos permitió ponderar las distintas dimensiones relevantes para la selección tecnológica, incorporando visiones técnicas, regulatorias y comunitarias en una decisión fundada. Los resultados del panel confirman la prioridad de los criterios de costo operacional y capacidad de gestión local por sobre los criterios de rendimiento técnico máximo, orientación que se refleja directamente en la selección de tecnologías de bajo costo y operación simple para el sistema de San Pedro. Como también, la exigencia regulatoria rural debe tratarse deferente de la urbana.

OE8 - Selección tecnológica por morfología territorial: la clasificación del territorio de San Pedro en zonas concentradas, semiconcentradas y dispersas,

combinada con la evaluación multicriterio de tecnologías, permitió seleccionar el alcantarillado condominial con lombrifiltro para las zonas de mayor densidad y las fosas sépticas comunitarias para las zonas dispersas. Esta selección diferenciada constituye el fundamento del diseño propuesto y demuestra que una solución tecnológica única no es adecuada para territorios rurales con morfologías heterogéneas como San Pedro.

OE9 - Diseño del sistema de saneamiento diferenciado: el diseño del sistema de saneamiento para San Pedro integra dos componentes complementarios que atienden el 100% de las viviendas del área de estudio en tres etapas para el componente convencional y una etapa única para el componente no convencional. La red de alcantarillado condominial se proyecta sobre el territorio de manera integrada, siguiendo criterios hidráulicos y de eficiencia sin estar condicionada por los límites administrativos de los cinco sectores, lo que genera una interdependencia operativa que el modelo de gestión debe formalizar. El diseño así concebido demuestra que la interconexión operativa de múltiples SSR no solo es técnicamente viable, sino que optimiza la infraestructura requerida respecto a soluciones individuales por organización.

OE10 - Evaluación de factibilidad: la evaluación integrada de factibilidad concluye que el sistema propuesto es técnica y económicamente viable con financiamiento público, y gestión factible con fortalecimiento institucional previo. La inversión total estimada entre M$3.709 y 5.210 al valor de la UF del 1 de junio de 2026 es accesible mediante los programas de financiamiento del MOP y la SUBDERE, y la tarifa de saneamiento requerida para la sostenibilidad del servicio, estimada entre $3.100 y $4.900 mensuales por vivienda, es comparable a la tarifa de agua potable que los usuarios ya pagan actualmente, sugiriendo una disposición a pagar razonable. Las principales brechas identificadas son de carácter organizacional y no técnico, lo que refuerza la centralidad del modelo de gestión como componente crítico de la propuesta.

OE11 - Modelo de gestión integral: el modelo de gestión integral propuesto articula dos niveles organizacionales sustentados en el DFL N°5 de 2003: las cinco cooperativas de servicios de primer grado, que mantienen la gestión autónoma del agua potable, y la cooperativa de segundo grado, que administra centralizadamente el sistema de saneamiento interconectado a través de una Gerencia Técnica que puede constituirse con personal propio o mediante contrato con terceros, según las capacidades disponibles. La coordinación con los actores externos incorpora a la DOH en el apoyo técnico y financiero, y a la SISS y la SEREMI de Salud en los roles de regulación y fiscalización del operador. Esta arquitectura de gobernanza respeta la autonomía de cada SSR mientras crea la capacidad de gestión conjunta que el sistema interconectado requiere, constituyendo una innovación organizacional en el sector sanitario rural chileno que no tiene precedentes documentados a nivel nacional.

OE12 - Factores críticos de éxito: el análisis identificó doce factores críticos de éxito, tres internos y nueve externos, sistematizados en una matriz que pondera su impacto, urgencia y actor responsable (Tabla 7.13). Entre los factores internos, la transformación jurídica de los comités APR en cooperativas es el de mayor urgencia por ser condición habilitante del modelo de gestión, seguida del fortalecimiento de capacidades técnicas y operacionales y de la disposición a la coordinación interorganizacional. Entre los factores externos, la disponibilidad y los plazos del financiamiento público, cuyos procesos de aprobación pueden extenderse entre 6 y 10 años, condicionan la programación de las etapas, mientras que el impacto del DL N°3.516 sobre la dispersión territorial emerge como el factor estructural de mayor relevancia para la sostenibilidad de largo plazo del sistema, al generar progresivamente nuevas viviendas dispersas que los SSR deben atender con soluciones de mayor costo individual, erosionando la economía de escala del sistema colectivo.

OE 13 - Lineamientos de replicabilidad: los lineamientos formulados para la replicación del modelo en otros territorios rurales de la Región Metropolitana establecen como condición habilitante la presencia de múltiples SSR en un mismo territorio, y proponen una guía metodológica de cinco fases que orienta el proceso desde el diagnóstico hasta la puesta en marcha. El perfil de territorios candidatos identifica criterios de elegibilidad obligatorios y complementarios que permiten priorizar los territorios de la Región Metropolitana con mayor potencial de transferencia del modelo, contribuyendo a la planificación del sector sanitario rural a escala regional.

OE 14 - Análisis del marco normativo y brechas legales: el análisis del marco normativo identificó brechas en cuatro cuerpos regulatorios que condicionan la implementación del sistema propuesto. En la Ley N°20.998, la ausencia de regulación para el saneamiento interconectado entre SSR, la falta de reconocimiento de la cooperativa de segundo grado como licenciatario ante la SISS y una estructura tarifaria sin componente de saneamiento para la gestión conjunta. En el DL N°3.516, la subdivisión predial rural desacoplada de la planificación sanitaria. En el DFL N°5 de 2003, la falta de un procedimiento simplificado de transformación de comités APR en cooperativas con continuidad jurídica. En el Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural de la DOH, cuatro brechas técnicas: la profundidad mínima de 1,60 m heredada del estándar urbano, el diámetro mínimo de 180 mm sobredimensionado para tramos iniciales rurales, la ausencia de criterios de diseño para sistemas interconectados y la falta de regulación del alcantarillado condominial. El contraste con el Boletín N°17.877-33 en tramitación (Tabla 7.12) muestra que la iniciativa aborda parcialmente la operación conjunta y el rol de la Subdirección, pero mantiene sin resolver el reconocimiento del operador de segundo grado, mientras que la integración entre ordenamiento territorial y

planificación del saneamiento, práctica consolidada en Polonia y los Países Bajos no es abordada por ninguna iniciativa legislativa vigente y constituye el ajuste normativo de mayor alcance que esta investigación identifica.

8.2 Conclusión General

La investigación demuestra que la implementación de un sistema de saneamiento para los cinco SSR de San Pedro es factible en sus dimensiones técnica, económica y de gestión, bajo condiciones que han sido identificadas, caracterizadas y abordadas a lo largo de sus capítulos. La factibilidad técnica queda establecida por la compatibilidad del diseño diferenciado con las condiciones territoriales, normativas y operacionales del área de estudio. La factibilidad económica queda establecida por la accesibilidad de la inversión mediante financiamiento público disponible, cuya gestión debe anticiparse a procesos de aprobación de 6 a 10 años, y por la sostenibilidad del servicio a través de una tarifa comparable a la que los usuarios ya pagan por el agua potable. La factibilidad de gestión queda establecida por la viabilidad jurídica del modelo cooperativo propuesto y por la identificación clara de las brechas organizacionales que deben ser resueltas antes de la implementación.

El aporte central de esta investigación al conocimiento del sector sanitario rural chileno reside en la demostración de que la interconexión operativa de múltiples SSR, articulada mediante una cooperativa de segundo grado sustentada en el DFL N°5 de 2003, constituye un modelo de gobernanza viable e innovador que permite superar las limitaciones de escala que hacen inviable el saneamiento individual por SSR. Este modelo integra en una sola propuesta las dimensiones técnica, económica, organizacional y normativa del problema, respondiendo al desafío del saneamiento rural no desde la ingeniería aislada sino desde la gestión integral del agua como política pública territorial.

La investigación revela además una tensión estructural entre el marco normativo que regula la subdivisión de predios rurales, específicamente el DL N°3.516, y los requerimientos de los sistemas colectivos de saneamiento, tensión que la literatura internacional identifica como uno de los principales obstáculos para la sostenibilidad de largo plazo de la infraestructura sanitaria rural. La ausencia de integración entre las políticas de ordenamiento territorial y la planificación del saneamiento en Chile constituye la brecha más profunda identificada por esta investigación y la que

requiere una respuesta de política pública de mayor alcance que la que los SSR pueden gestionar por sí solos.

Finalmente, los resultados de San Pedro permiten afirmar que el modelo desarrollado es replicable en otros territorios rurales de la Región Metropolitana que presenten múltiples SSR en un mismo territorio y ausencia de saneamiento colectivo, condiciones que caracterizan a una proporción significativa de las localidades rurales de la región.

En ese sentido, esta investigación no solo resuelve un problema técnico local, sino que sienta las bases metodológicas para escalar el saneamiento rural en Chile desde la gestión fragmentada hacia la gobernanza integral del agua como política pública territorial con una mirada sistémica.

9. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones señaladas deben leerse en el marco de la trayectoria de desarrollo de la gestión del agua rural sintetizada en la Figura 12-5 de anexos, en la que el paso desde el saneamiento individual hacia el saneamiento colectivo interconectado constituye el quinto de seis estados de transición del territorio (se indica un extracto de dicha figura respecto de los estados 4 y 5 para la comprensión del lector, Figura 9-1). Las recomendaciones profesionales y de aplicación buscan, precisamente, habilitar esa transición para San Pedro y para los territorios donde el modelo sea replicado, mientras que las recomendaciones por escenarios reconocen la incertidumbre normativa y territorial bajo la cual dicha transición deberá gestionarse.

Figura 9-1. Trayectoria del desarrollo de la gestión del agua rural, estado 4 a 5.



Fuente: Extracto Figura 12.5 anexo

9.1 Recomendaciones profesionales

- Diseñar el saneamiento diferenciado por morfología territorial y no con una solución tecnológica única, clasificando el territorio antes de seleccionar tecnología.
- Priorizar el costo operacional y la capacidad de gestión local por sobre el rendimiento técnico máximo, tal como lo confirmó el panel de expertos.
- Validar la matriz multicriterio con la comunidad y no solo con el equipo técnico, para incorporar la disposición a pago desde el inicio.
- Explicitar la evolución tecnológica en el diseño (lombrifiltro → lodos activados) desde la prefactibilidad, dejando espacio físico para la etapa final.
- Condicionar el componente disperso a ensayos de percolación antes de comprometer fosas comunitarias.
- Iniciar la gestión del financiamiento público en paralelo a la transformación cooperativa, considerando que los procesos de aprobación del Programa de Saneamiento Rural del MOP y del FNDR pueden extenderse entre 6 y 10 años.
- Definir tempranamente el esquema de la Gerencia Técnica del operador, con personal propio o mediante contrato con terceros, según las capacidades locales disponibles para la operación de redes, PEAS y plantas de tratamiento.

9.2 Recomendaciones de aplicación

- Reconocer en la Ley N°20.998 la gestión conjunta del saneamiento entre SSR y la figura de la cooperativa de segundo grado como operador habilitado ante la SISS.
- Establecer un procedimiento tarifario simplificado para el cargo de saneamiento administrado por una entidad de segundo grado.
- Exigir, en el DL N°3.516, informe favorable de la Subdirección de SSR como requisito de subdivisión en zonas con SSR, y crear un mecanismo de consulta SAG–Subdirección.
- Incorporar en el DFL N°5/2003 (o por remisión en la Ley N°20.998) un procedimiento simplificado de transformación de comités APR en cooperativas, con continuidad jurídica.

- Actualizar el Manual DOH: profundidades diferenciadas por uso de suelo, diámetros mínimos por función del tramo, criterios para sistemas interconectados y reconocimiento del alcantarillado condominial.
- Formalizar un mecanismo de coordinación entre la SISS y la SEREMI de Salud para la regulación y fiscalización de operadores rurales interconectados, evitando duplicidad de exigencias sobre las organizaciones comunitarias.
- Orientar los instrumentos públicos de fomento del saneamiento rural según los estados de transición de la gestión del agua rural (Figura 12-5), priorizando a los territorios que ya alcanzaron la gestión consolidada del agua potable y se encuentran en condiciones de avanzar hacia el saneamiento colectivo interconectado.

9.3 Recomendaciones personales

- El principal aprendizaje: el saneamiento rural es un problema de gestión y gobernanza antes que de ingeniería; el cuello de botella no fue técnico sino institucional.
- La importancia de escuchar a las comunidades temprano: la disposición a pago y la confianza determinaron más que el rendimiento técnico de las tecnologías.
- Qué haría distinto: incorporar trabajo de campo cualitativo (entrevistas) más temprano, y levantar datos de consumo reales para no depender de la dotación normativa de 150 L/hab/día.
- Reglas claras y concisas, pensadas desde la realidad rural: buena parte de las barreras identificadas no provienen de la falta de tecnología ni de recursos, sino de normas y estándares heredados de condiciones urbanas (profundidades y diámetros mínimos, procedimientos tarifarios y exigencias administrativas) que encarecen y complejizan soluciones que en el territorio rural son más simples. Una regulación breve, comprensible para dirigentes comunitarios y proporcional a la escala y capacidades de los SSR, habilitaría más saneamiento rural que instrumentos normativos extensos concebidos para operadores urbanos.

10. BIBLIOGRAFÍA

Aguila Inostroza, M. (26 de julio de 2025). *Aguila & Cía*. Obtenido de Marco Jurídico y Regulatorio de los Servicios Sanitarios Rurales en Chile: https://www.aguilaycia.cl/post/marco-jur%C3%ADdico-y-regulatorio-de-los-servicios-sanitarios-rurales-en-chile

Almuktar, S. A., Abed, S. N., & Scholz, M. (2018). Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. *Environmental Science and Pollution Research, 25*, 23595-23623.

APR Rural Chile. (2022). *Proyecto de APR presentado por Municipio y financiado por la Subdere*. Obtenido de https://aguaruralchile.cl/2022/08/24/proyecto-de-apr-presentado-por-municipio-y-financiado-por-la-subdere/

Barros Marangon, B., Abrantes Silva, T., Lúcia Calijuri,, M., do Carmo Alves, S., Juste dos Santos, V., & Paulo de Sousa Oliveira, A. (2020). Reuse of treated municipal wastewater in productive activities in Brazil's semi-arid regions. *Journal of Water Process Engineering, 37*, 1-9.

Bravo, J., Anriquez, G., Melo, O., & Donoso, G. (2025). Beyond coverage: Unveiling income and spatial inequalities in access to water and sanitation services in Chile. *Utilities Policy, 97*, 1-11.

Chae, S., Hejase, C. A., Young, R. B., Green, S., Tong, T., Kim, K.-Y., . . . Dionysiou, D. (2026). Challenges and opportunities in reuse of treated municipal wastewater for agriculture in the United States: a critical review. *Chemical Engineering Journal: Green and Sustainable, 2*, 1-19.

Chan, T., MacDonald, M. C., Kearton, A., Elliott, M., Shields, K. F., Powell, B., . . . Hadwen, W. L. (2020). Climate adaptation for ruralwater and sanitation systems in the Solomon Islands: A community scale systems model for decision support. *Science of the Total Environment, 714*, 1-13.

Cheng, S., Zhao, Q., Wen, C., Manga, M., Xiang, R., Wang, X., & Li, Z. (2024). The potential application of non-sewered sanitation systems in healthcare facilities – a case study in Beijing, China. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 1-7.

Cisternas, M. (2026). Proyección de redes condominiales conectadas a colector principal [Imagen generada por IA con Gemini]. Obtenido de https://gemini.google.com/

Daniel, D., Pamudji Al Djono, T., & Prihesti Iswarani, W. (2023). Factors related to the functionality of community-based rural water supply and sanitation program in Indonesia. *Geography and Sustainability, 4*(1), 29-38.

Delanka-Pedige, H. M., Cheng, X., Munasinghe-Arachchige, S. P., Bandara, G. L., Zhang, Y., Xu, P., . . . Nirmalakhandan, N. (2020). Conventional vs. algal wastewater technologies: Reclamation of microbially safe water for agricultural reuse. *Algal Research, 51*, 1-6.

Diario Financiero. (2025). *Banco Mundial: "Chile es como un pequeño laboratorio" en gestión de agua que puede replicarse en América Latina*. Obtenido de https://www.df.cl/america/banco-mundial-chile-es-como-un-pequeno-laboratorio-en-gestion-de-agua

El Libero. (2025). *Agua potable y saneamiento rural: urgen cambios sustantivos para agilizar la inversión en infraestructura*. Obtenido de https://ellibero.cl/tribuna/agua-potable-y-saneamiento-rural-urgen-cambios-sustantivos-para-agilizar-la-inversion-en-infraestructura/

El Observatodo. (2026). *Agua en Chile: cuando el derecho no siempre se traduce en acceso*. Obtenido de https://www.elobservatodo.cl/noticia/sociedad/agua-en-chile-cuando-el-derecho-no-siempre-se-traduce-en-acceso

Federación Nacional APR's Chile. (Agosto 2025). *Diagnóstico Nacional de Saneamiento Rural en Chile: Brechas, Desafíos y el Derecho al Saneamiento Digno.*

García Martínez, N., Quesada Medina, J., Almela, L., & Andreo Martínez, P. (2017). Domestic wastewaters reuse reclaimed by an improved horizontal subsurface-flow constructed wetland: A case study in the southeast of Spain. *Bioresource Technology*, 236-246.

GEMAT (Gestión Evualuación Medio Ambiente y Tratamiento). (s.f.). *Sistema Tohá*. Obtenido de https://sistematoha.cl/newSistematoha/proyectos/

Glendell, M., Gagkas, Z., Troldborg, M., Negri, C., Pagaling, E., Jones, I., Chongo Mzyece, C. (2026). Validating a Bayesian network model to characterise faecal indicator organism loss from septic tank systems in rural catchments. *Water Research, 288*, 1-14.

Gonz´alez, C., Negrete, C., Do, A., Herrera, J., Martínez Díaz, I., Calderón, R., & Rodríguez, B. (2026). Tertiary treatment of domestic wastewater for reuse: Implementation and evaluation in a rural context in Chile. *Journal of Environmental Management, 402*, 1-13.

Homsi Auchen, J., & Alarcón Martínez, E. (2018). Obtenido de Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo: https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/estudio_de_soluciones_sanitarias_para_el_sector_rural_1.pdf

I. Municipalidad San Pedro. (2022). *Plan de Desarrollo Comunal San Pedro 2022-2025.* Obtenido de https://www.munisanpedro.gob.cl/wp-content/uploads/2023/02/PLADECO-2022-2025_V.F.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas. (2024). *Censo 2024*. Obtenido de https://censo2024.ine.gob.cl/resultados-dashboard/

Li, P., Cao, P., Ma, S., Wang, W., Wang, Z., Wu, W., . . . Liu, J. (2026). 2026Integrating Native and Functional Plants in Constructed Wetlands: A Self-sustaining Approach to Rural Sewage Treatment. *Water & Ecology, 2*(1), 80-101.

Li, P., Zheng, T., Sun, H., Zan, F., Wu, W., Lv, M., . . . Liu, J. (2026). A multi-objective optimization framework for sustainable rural wastewater treatment and agricultural reuse. *Sustainable Horizons, 17*, 1-11.

Li, W., Shi, Z., Hong, J., & Zhu, M. (2026). Biological ponds enhanced with autotrophic moving bed biofilm reactor for upgrading rural wastewater treatment plant effluent: performance and microbial mechanisms. *Bioresource Technology, 447*, 1-12.

Li, X., Meng, J., Wang, L., Zhou, Z., Wu, Z., & Wang, Q. (2026). Directional enrichment of functional microbial communities and mutual regulation of nitrogen and phosphorus metabolism pathways during rural wastewater treatment using food waste fermentation residue. *Bioresource Technology, 440*, 1-10.

Li, Y., Sun, H., Luo, S., Zhan, W., Li, W., Li, Y., . . . Li, L. (2025). Dietary changes and uneven sanitation systems widen urban-rural health environment efficiency disparity. *Journal of Environmental Management, 391*, 1-10.

Li, Y., Zhao, Y., Xiang, X., Zhang, Q., Yuan, F., Wang, Z., . . . Zhou, C. (2024). Rural integrated sanitation assessment at community level in Chongqing, China—A cluster analysis. *Ecological Indicators, 165*, 1-8.

Luckmann, J., Grethe, H., & McDonald, S. (2016). When water saving limits recycling: Modelling economy-wide linkages of wastewater use. *Water Research, 88*, 972-980.

Martinez De La Hoz, J. L., Mohammad Bappy, M., Shafikul Islam, M., Marcantel, M., & P. Hayes, M. (2026). Interpretable forecasting of dissolved oxygen leveraging foundation model for proactive aeration in rural wastewater treatment systems. *Water Research, 289*, 1-14.

Men, Y., Yang, X., Li, W., Ma, S., Liu, J., & Zheng, T. (2026). Pollutant elimination performance and clogging mechanism of single-household rural greywater collection and treatment integrated device. *Process Safety and Environmental Protection, 210*, 1-9.

Ministerio de Obras Públicas. (2024). *MOP conmemora 60 años del programa de Agua Potable Rural (APR), que beneficia a más de 2 millones de personas en el país*. Obtenido de https://www.mop.gob.cl/mop-conmemora-60-anos-del-programa-de-agua-potable-rural-apr-que-beneficia-a-mas-de-2-millones-de-personas-en-el-pais/

Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas. (2023). *Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural — Criterios de Diseño de Saneamiento Rural (Primera Edición).*

Müller, A., Avellán, T., & Schanze, J. (2020). Risk and sustainability assessment framework for decision support in 'water scarcity – water reuse' situations. *Journal of Hydrology, 591*, 1-15.

Nsenga kumwimba, M., Huang, J., Wang, T., Dzakpasu, M., Odedishemi Ajibade, F., Edouard Ifon, B., . . . Kavidia Muyembe, D. (2026). Unveiling the overlooked role of micronanobubble aeration in enhancing partial nitrification and pollutant removal in rural activated sludge systems. *Journal of Water Process Engineering, 86*, 1-15.

Oishi, W., Mizutani, D., Nakazato, Y., McConville, J., & Sano, D. (2026). Adapting sanitation systems to demographic transitions: Optimizing hybrid configurations of sewered and non-sewered solutions. *Water Research, 290*, 1-12.

Parra Piérart, I., & Chiang Rojas, G. (2013). Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del centro sur de Chile. *Gestión y Ambiente, 16*(3), 39-51.

Shiu, H.-Y., Lee, M., & Chiueh, P.-T. (2017). Water reclamation and sludge recycling scenarios for sustainable resource management in a wastewater treatment plant in Kinmen islands, Taiwan. *Journal of Cleaner Production, 152*, 369-378.

Shyu, H.-Y., Bair, R. A., Castro, C. J., Xaba, L. P., Ncube, T. T., Cottingham, R., . . . Yeh, D. H. (2025). Advanced Non-Sewered sanitation system for onsite water recycling in a South African informal settlement. *Water Research X, 29*, 1-9.

Sobolewska-Mikulska, K., Loon-Steensma, J., Stańczuk-Gałwiaczek, M., & Ritzema, H. (2018). Integration of water management and land consolidation in rural areas to adapt to climate change: Experiences from Poland and the Netherlands. *Land Use Policy, 77*, 498–511.

Soy Valdivia. (2026). *Gobierno Regional de Los Ríos crea subsidio para atender emergencias en sistemas de Agua Potable Rural y saneamiento*. Obtenido

de https://www.soychile.cl/valdivia/sociedad/2026/02/07/939311/gore-crea-subsidio.html

SSWM – Sustainable Sanitation and Water Management. (s.f.). *Alcantarillado condominial o simplificado*. Recuperado el 1970672026, de SSWM: https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/conduccion/alcantarillado-condominial-o-simplificado

Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales. (Diciembre de 2025). Obtenido de Ministerio de Obras Públicas: https://ssr.mop.gob.cl/uploads/sites/11/2026/03/BD_SSR_OFICIAL_2025_12_EX.xlsx

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. (2013). Obtenido de Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135609/SGAPDS-3-13.pdf

Sun, H., Liu, Z., He, C., Zhen, Z., & Hao, F. (2026). Rural domestic sewage treatment and CO2 flux from the perspective of landscape design. *Ecological Engineering, 225*, 1-10.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2025). *Informe de Gestión del Sector Sanitario.*

Universidad de Chile. (2021). *Derecho Humano al agua potable y saneamiento en el ámbito rural: propuestas de la U. de Chile para el país*. Obtenido de https://uchile.cl/noticias/173923/derecho-humano-al-agua-potable-y-al-saneamiento-en-el-ambito-rural

Wang, J., He, J., Leong Lee, H., Zou, J., Yang, J., Yang, C., . . . Zhou, Y. (2026). Efficient treatment of rural domestic wastewater using glass pumice derived from waste glass in constructed wetlands: A pathway to sustainable resource valorization. *Environmental Research, 292*, 1-11.

Wang, T., Zhu, B., & Zhou, M. (2019). Ecological ditch system for nutrient removal of rural domestic sewage in the hilly area of the central Sichuan Basin, China. *Journal of Hydrology, 570*, 839–849.

What is SaniHUB? (2021). Obtenido de SaniHUB: https://sanihub.org/en/what-sanihub-0

Yoonus, H., & Al-Ghamdi, S. G. (2020). Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on Life-Cycle Assessment: A systematic and bibliographic analysis. *Science of the Total Environment, 712*, 1-10.

Yulieth Rossio, C. P., & Seo, Y. (2020). Participatory Approaches in the Planning of Drinking Water Supply and Basic Sanitation Projects in the Rural Areas of Colombia. *KSCE Journal of Civil Engineering, 24*, 1374-1382.

Zhao, Y., Li, Y., Zheng, Y., Yan, P., Lai, Y., Wang, X., . . . Zhang, J. (2026). Enhanced co-removal of nutrients and glyphosate from rural sewage in siphon-driven constructed wetlands: Optimization and mechanisms. *Water Research, 298*, 1-14.

11. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

11.1 Glosario de Términos

Aguas servidas: Aguas residuales generadas por el uso doméstico, que incluyen las provenientes de baños, cocinas y lavaderos, y que requieren tratamiento previo a su disposición final en cuerpos receptores.

Alcantarillado condominial: Sistema de recolección de aguas servidas que instala ramales al interior de los bloques de viviendas a baja profundidad, entre 0,2 y 0,6 metros, reduciendo costos de excavación respecto al alcantarillado convencional y siguiendo trayectorias más cortas hacia los colectores principales.

Alcantarillado convencional: Sistema tradicional de recolección de aguas servidas mediante colectores instalados bajo el eje de las calles a profundidades que pueden superar los 2,5 metros, con descarga hacia una planta de tratamiento centralizada.

Área de servicio: Superficie geográfica reconocida por la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales como territorio en que un licenciatario presta servicios sanitarios rurales, conforme al artículo 17 de la Ley N°20.998.

Bienes indispensables: Bienes cuya titularidad y operación son esenciales para la prestación del servicio sanitario rural, declarados inembargables por la Ley N°20.998, que incluyen arranques, redes de distribución y recolección, captaciones, estanques y plantas de tratamiento.

CAPEX: Sigla en inglés de *Capital Expenditure*. Corresponde a los costos de inversión inicial requeridos para la construcción e instalación de infraestructura, incluyendo obras civiles, equipos y materiales.

Cargo fijo: Componente de la estructura tarifaria de los SSR que corresponde a un cobro mensual constante por conexión al servicio, independiente del volumen de agua consumida, destinado a cubrir los costos fijos de administración y mantenimiento de la infraestructura.

Cargo variable: Componente de la estructura tarifaria de los SSR que corresponde a un cobro proporcional al volumen de agua consumida, expresado en pesos por metro cúbico.

Comité APR: Organización comunitaria funcional constituida conforme a la Ley N°19.418 sobre juntas de vecinos y demás organizaciones comunitarias, que administra un sistema de agua potable rural con aportes del Estado.

Cooperativa de primer grado: Cooperativa constituida por personas naturales o jurídicas que se asocian para satisfacer necesidades comunes, en conformidad con el DFL N°5 de 2003.

Cooperativa de segundo grado: Organización cooperativa formada por la reunión de dos o más cooperativas de primer grado, con el propósito de coordinar, complementar y realizar operaciones propias del objeto de sus cooperativas asociadas, según el artículo 6° del DFL N°5 de 2003.

Decreto Ley N°3.516: Norma dictada en 1980 por el Ministerio de Agricultura que establece las reglas para la subdivisión de predios rústicos en Chile, permitiendo la división libre de terrenos rurales siempre que los lotes resultantes tengan una superficie no inferior a 5.000 m².

Disposición final: Etapa del saneamiento que consiste en la evacuación del efluente tratado hacia cuerpos receptores, como ríos, canales o el suelo, en conformidad con los estándares de calidad establecidos en el DS N°90.

DS N°50: Decreto Supremo del Ministerio de Obras Públicas que establece el reglamento de la Ley N°20.998, regulando los aspectos técnicos y administrativos de los servicios sanitarios rurales.

DS N°90: Decreto Supremo del Ministerio Secretaría General de la Presidencia que establece las normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

DS N°236: Decreto Supremo del Ministerio de Salud que regula los alcantarillados particulares en Chile, estableciendo las condiciones técnicas para la instalación y operación de sistemas de tratamiento de aguas servidas individuales y comunitarios.

Efluente: Agua residual tratada que resulta del proceso de tratamiento de aguas servidas y que es evacuada hacia un cuerpo receptor o reutilizada.

Factor crítico de éxito: Condición cuyo cumplimiento resulta determinante para que un proyecto o sistema pueda implementarse y sostenerse en el tiempo, cuya ausencia compromete significativamente la factibilidad del conjunto.

Factibilidad: Evaluación de la factibilidad de un proyecto en sus dimensiones técnica, económica y de gestión, que permite determinar si las condiciones necesarias para su implementación están presentes o pueden ser generadas.

Fosa séptica comunitaria: Sistema de tratamiento primario de aguas servidas que agrupa a un conjunto acotado de viviendas bajo una unidad compartida, reteniendo sólidos sedimentables y permitiendo la descarga del efluente clarificado hacia un campo de infiltración al terreno.

Gobernanza: Conjunto de mecanismos, procesos e instituciones mediante los cuales los actores involucrados en la gestión de un recurso o servicio articulan sus intereses, toman decisiones y ejercen sus derechos y responsabilidades.

Gestión integral: Enfoque de administración que considera de manera coordinada y simultánea las dimensiones técnica, económica, organizacional y normativa de un sistema, evitando tratarlas de manera aislada.

Interconexión operativa: Esquema de funcionamiento conjunto en que dos o más organizaciones comparten infraestructura, flujos operacionales y mecanismos de coordinación para la prestación de un servicio común.

Licenciatario: Comité o cooperativa de agua potable rural reconocido como titular del derecho a prestar el servicio sanitario rural en un área de servicio determinada, conforme a las disposiciones de la Ley N°20.998.

Lombrifiltro: Sistema de tratamiento de aguas servidas que utiliza lombrices de tierra para degradar la materia orgánica presente en el efluente, produciendo un lodo estabilizado y un efluente de calidad adecuada para su disposición final. No requiere energía eléctrica para su operación y puede ser manejado por personal no especializado con capacitación básica.

Morfología territorial: Caracterización del territorio según la distribución espacial de sus asentamientos habitacionales, distinguiendo entre zonas concentradas, semiconcentradas y dispersas en función de la densidad de viviendas por unidad de superficie.

OPEX: Sigla en inglés de *Operational Expenditure*. Corresponde a los costos recurrentes de operación y mantenimiento de un sistema o infraestructura una vez que este se encuentra en funcionamiento.

Panel de expertos: Grupo de profesionales con conocimiento especializado en un área temática, convocados para aportar sus visiones y criterios en el marco de una investigación mediante instrumentos de consulta estructurados.

Piloto replicable: Proyecto o modelo implementado en un territorio específico con el propósito de demostrar su viabilidad y generar aprendizajes transferibles a otros contextos con características similares.

Planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS): Instalación destinada a remover los contaminantes presentes en las aguas residuales mediante procesos físicos, químicos o biológicos, hasta alcanzar los estándares de calidad exigidos por la normativa para su disposición final.

Predio rústico: Terreno ubicado fuera de los límites urbanos, con destino potencial agrícola, ganadero o forestal, sujeto a las normas de subdivisión del DL N°3.516.

Saneamiento: Conjunto de etapas que comprenden la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas servidas y el manejo de sus lodos, así como las soluciones individuales y descentralizadas, conforme a la definición del artículo 3° del Boletín N°17.877-33.

Servicio Sanitario Rural (SSR): Servicio que consiste en la provisión de agua potable y saneamiento sin fines de lucro en zonas rurales, prestado por comités o cooperativas de agua potable rural con aportes del Estado, conforme a la Ley N°20.998.

Sistema diferenciado: Diseño de infraestructura de saneamiento que aplica tecnologías distintas según la morfología territorial de cada zona del área de servicio, reconociendo que una solución única no es adecuada para territorios con densidades habitacionales heterogéneas.

Subdivisión predial: División de un predio en dos o más lotes de menor superficie, sujeta a las normas del DL N°3.516 en el caso de predios rústicos.

Tarifa de saneamiento: Cobro mensual que los usuarios de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas pagan al operador del servicio para financiar los costos de operación, mantenimiento y reposición de la infraestructura.

Zona concentrada: Sector territorial con alta densidad habitacional, donde la proximidad entre viviendas permite soluciones colectivas de recolección y tratamiento de aguas servidas mediante redes de alcantarillado.

Zona dispersa: Sector territorial con baja densidad habitacional, donde la distancia entre viviendas hace inviable económicamente la extensión de redes de alcantarillado, requiriendo soluciones descentralizadas o individuales de saneamiento.

Zona semiconcentrada: Sector territorial con densidad habitacional intermedia, donde la implementación de soluciones colectivas de saneamiento es técnicamente posible, pero requiere mayor inversión por vivienda conectada respecto a las zonas concentradas.

11.2 Acrónimos y Siglas

Acrónimo	Significado
APR	Agua Potable Rural
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BCN	Biblioteca del Congreso Nacional
CAPEX	Capital Expenditure (Costo de Inversión)
CCN	Consejo Consultivo Nacional
DFL	Decreto con Fuerza de Ley
DL	Decreto Ley
DS	Decreto Supremo
FENAPRU	Federación Nacional de Agua Potable Rural
FESAN	Federación Nacional de Cooperativas de Servicios Sanitarios de Chile
FNDR	Fondo Nacional de Desarrollo Regional
GORE	Gobierno Regional
IPC	Índice de Precios al Consumidor
LGUC	Ley General de Urbanismo y Construcciones
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MUN	Mesa Única Nacional
MWM	Magíster en Gestión del Agua (Master in Water Management)
OPEX	Operational Expenditure (Costo de Operación)
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OMS	Organización Mundial de la Salud
PTAS	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas
QGIS	Quantum Geographic Information System
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SSR	Servicio Sanitario Rural
SSSR	Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales
SUBDERE	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo
UF	Unidad de Fomento
USM	Universidad Técnica Federico Santa María
UTM	Unidad Tributaria Mensual
WSP	Water and Sanitation Program (Banco Mundial)

12. ANEXOS

12.1 Formulario Percepción Regional: Saneamiento en los Servicios Sanitarios Rurales

Percepción Regional: Saneamiento en los Servicios Sanitarios Rurales

Se pretende caracterizar el estado actual y la percepción regional de los SSR/APR respecto a la implementación de sistemas de saneamiento (alcantarillado y tratamiento de aguas servidas), incluyendo capacidades técnicas, organizacionales, disponibilidad de infraestructura y barreras percibidas.

Tesis: "Factibilidad de diseño e implementación de saneamiento en San Pedro Sur, provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Interconexión operativa de cinco Servicios Sanitarios Rurales". Miguel Angel Cisternas Villenas, Magíster en Gestión del Agua, Universidad Técnica Federico Santa María

* Obligatoria

Información básica del Servicio

1. Nombre del Servicio *

   Ejemplos: APR Aguas del Maipo, SSR Pimpinela, COOP Huelu

2. Comuna *

3. Administración *

   - ◯ Comité
   - ◯ Cooperativa

4. Correo

5. Año de Construcción del Servicio *

- ◯ Menor a 1964
- ◯ Entre 1964 a 1993
- ◯ Entre 1994 a 2016
- ◯ Entre 2017 a 2019
- ◯ 2020 en adelante

6. Número de Arranques *

Existentes

7. Indique cantidad de Arranques en lista de espera *

8. ¿Su localidad actualmente cuenta con saneamiento? *

Saneamiento= alcantarillado mas planta de tratamiento de aguas servidas

- ◯ Si
- ◯ No
- ◯ En Proyecto/Diseño
- ◯ En Construcción

9. ¿Cómo se realiza la disposición de aguas servidas en su localidad? *

- ☐ Pozo Negro
- ☐ Letrina
- ☐ Fosa Séptica
- ☐ Red de Aguas Servidas - Gestionada por Sanitaria
- ☐ Red de Aguas Servidas - Gestionada por su Servicio
- ☐ Red de Aguas Servidas - Gestionada por Municipalidad
- ☐ Red de Aguas Servidas - Gestionada por Privado
- ☐ Otro

Percepción de implementación de Saneamiento

Con una escala de 1 a 5, en donde 1 significa "Totalmente en Desacuerdo" y 5 significa "Totalmente de Acuerdo". **Aclaración:** "Saneamiento" significa alcantarillado más plantas de tratamiento de Aguas Servidas.

10. **Sección A:** Capacidades Técnicas Disponibles *

	Totalmente en Desacuerdo	2	3	4	Totalmente de Acuerdo	No Aplica
Se tiene acceso a asesoría técnica externa (Consultor, ingenieros, universidades, etc)	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Somos capaces de administrar saneamiento	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Los operadores estan dispuestos a capacitarse en saneamiento	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Se tienen procedimientos técnicos para operación y manteniendo en Agua Potable	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Se tiene capacidad para responder a roturas las 24 horas	◯	◯	◯	◯	◯	◯

11. **Sección B:** Capacidades Organizacionales *

	Totalmente en Desacuerdo	2	3	4	Totalmente de Acuerdo	No Aplica
Tenemos capacidad para financiar proyectos/diseños	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Los socios del servicio apoyan la implementación de sistemas de saneamiento	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Ve factible coordinarse con otros SSR/APR cercanos para gestionar soluciones conjuntas	◯	◯	◯	◯	◯	◯

12. **Sección C:** Infraestructura Disponible *

	Totalmente en Desacuerdo	2	3	4	Totalmente de Acuerdo	No Aplica
Se cuenta con terreno disponible para ubicar una Planta de Aguas Servidas (1.500 m2 o más)	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Se cuenta con terreno disponible para disponer de los lodos (1.000 m2)	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Existe dificultad para adquirir nuevos terrenos de forma gratuita o bajo costo	◯	◯	◯	◯	◯	◯
Tenemos sectores con alcantarillado alrededor de la localidad	◯	◯	◯	◯	◯	◯

13. ¿Cuáles considera que son las principales dificultades para implementar sistemas de saneamiento en su localidad? *

14. ¿Creen que a los socios les gustaría contar con un sistema de saneamiento (alcantarillado y tratamiento de aguas servidas) en su localidad? *

- **Considerando los siguientes beneficios:** Mejora en la salud (disminución de enfermedades), mayor higiene y limpieza en el hogar, protección del medio ambiente (menos contaminación de suelos y aguas), eliminación de malos olores, mayor valorización de la vivienda, mayor comodidad y calidad de vida, posibilidad de reutilización de aguas tratadas (riego, etc.).

◯ Totalmente de Acuerdo

◯ Depende del monto en que aumente la tarifa

◯ Se encuentran satisfechos con la condición Actual

◯ Totalmente en Desacuerdo

15. ¿Cuáles de estos beneficios considera más importantes? (Seleccione máximo 3) *

Seleccione 3 opciones.

- [ ] Salud
- [ ] Medio Ambiente
- [ ] Comodidad
- [ ] Eliminación de Olores
- [ ] Aumento del valor de la vivienda
- [ ] Reutilización de aguas
- [ ] Otro:

Este contenido no está creado ni respaldado por Microsoft. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario.

Microsoft Forms

12.2 Formulario Panel Expertos: Saneamiento en Servicios Sanitarios Rurales Interconectados en la R.M.

Panel Expertos: Saneamiento en Servicios Sanitarios Rurales Interconectados en la R.M.

Consentimiento informado para participantes de Investigación

I. Información General

- **Investigador Responsable:** Miguel Angel Cisternas Villenas
- **Programa y Universidad:** Magíster en Gestión del Agua, Universidad Técnica Federico Santa María.
- **Título Tesis:** Factibilidad de diseño e implementación de saneamiento en San Pedro Sur, provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Interconexión operativa de cinco Servicios Sanitarios Rurales.
- **Propósito del estudio:** evaluar la factibilidad del diseño e implementación de soluciones de saneamiento rural, considerando la interconexión operativa de cinco localidades. Para ello, se desarrollará un formulario dirigido a un panel de expertos, con el fin de identificar las principales variables, criterios técnicos, normativos y operacionales que influyen en la implementación de sistemas de saneamiento en zonas rurales.
- **Alcances:** El presente formulario contempla preguntas orientadas a distintos perfiles profesionales vinculados al diseño, evaluación y gestión de sistemas de saneamiento rural. Debido a la diversidad de especialidades y experiencias de los participantes, algunas preguntas pueden no ser aplicables a determinados perfiles. Para estos casos, se dispone de la opción "**No Aplica**", la cual deberá ser seleccionada cuando una consulta no se relacione directamente con su experiencia o ámbito profesional. Esto permitirá resguardar la validez de la información recopilada y asegurar una interpretación adecuada de los resultados.

II. Voluntariedad y Confidencialidad

- **Participación Voluntaria:** Su participación es totalmente voluntaria y puede retirarse del estudio en cualquier momento.
- **Confidencialidad:** Toda la información proporcionada será tratada de manera confidencial y utilizada exclusivamente con fines académicos, en el marco de la presente investigación de postgrado.

III. Beneficios y Riesgos

- **Beneficios:** Los resultados de esta investigación contribuirán al desarrollo de un modelo piloto replicable para la implementación de sistemas de saneamiento rural en Servicios Sanitarios Rurales interconectados, aportando información relevante para futuras iniciativas en la Región Metropolitana y otras zonas rurales del país.
- **Riesgos:** No se identifican riegos físicos o legales para los participantes. El Principal compromiso corresponde al tiempo dedicado en responder el formulario.

IV. Difusión de Resultados

- Los resultados obtenidos podrán ser sistematizados, analizados y difundidos en: informes académicos, presentaciones universitarias, publicaciones científicas, seminarios o congresos, otros medios de difusión con fines exclusivamente académicos. En todos los casos, se garantizará el anonimato de los participantes, sin revelar información personal identificable.

* Este formulario registrará su nombre, escriba su nombre.

1. Consentimiento *

Al responder este formulario, usted declara haber leído y comprendido la información presentada, y acepta participar de manera libre y voluntaria en esta investigación.

- ◯ Si
- ◯ No
- ◯ Otras

2. Nombre completo *

3. Correo *

4. Perfil *

Se pueden seleccionar máximo dos.

Seleccione 2 opciones.

- [ ] Ingeniero Civil
- [ ] Consultor Sanitario
- [ ] Académico
- [ ] Funcionario Público
- [ ] Proveedor en Saneamiento
- [ ] Representante APR
- [ ] Otras

5. Años de Experiencia en diseño de Saneamiento: *

- ◯ 0 - 5
- ◯ 6 - 10
- ◯ 11 - 20
- ◯ más de 20
- ◯ No Aplica

6. Años de Experiencia en gestión para Servicios Sanitarios Rurales: *

- ◯ 0 - 5
- ◯ 6 - 10
- ◯ 11 - 20
- ◯ más de 20
- ◯ No Aplica

7. Tipo de proyectos desarrollados: *

- ◯ Sistemas convencionales o tradicionales (lodos activados, lagunas, alcantarillado convencional, etc)
- ◯ Sistemas no tradicionales o alternativos (humedales, biodigestores, modulares, soluciones descentralizadas, etc)
- ◯ Ambas
- ◯ No Aplica
- ◯ Otras

8. ¿Qué tecnología considera más apropiadas para localidades rurales en la región Metropolitana? *

En caso de combinar tecnologías, considerar seleccionar más de una.

- [ ] Alcantarillado Convencional (considera Lodos Activados)
- [ ] Alcantarillado al Vacío
- [ ] Lodos Activados
- [ ] Lagunas Anaeróbicas
- [ ] Lagunas Aeradas
- [ ] Lagunas de estabilización facultativas
- [ ] Humedal Artificial
- [ ] Biodiscos
- [ ] Biofiltros
- [ ] Lombrifiltro
- [ ] IFAS
- [ ] MBBR
- [ ] No Aplica
- [ ] Fosa Sépticas Individuales
- [ ] Fosas Sépticas Comunitarias
- [ ] Plantas Modulares
- [ ] Otras

9. ¿Qué criterios considera más relevantes al seleccionar una solución de saneamiento rural? *

Califique según nivel de importancia según su criterio:

- 1= Totalmente en Desacuerdo
- 2= En Desacuerdo
- 3= Ni Acuerdo ni Desacuerdo
- 4= De Acuerdo
- 5=Totalmente de Acuerdo

	1	2	3	4	5
Densidad poblacional	◯	◯	◯	◯	◯
Cantidad de Viviendas	◯	◯	◯	◯	◯
Topografía	◯	◯	◯	◯	◯
Disponibilidad de terreno	◯	◯	◯	◯	◯
Costos de Mantención	◯	◯	◯	◯	◯
Normativa vigente	◯	◯	◯	◯	◯
Inversión Estatal	◯	◯	◯	◯	◯
Participación Comunitaria	◯	◯	◯	◯	◯
Aceptación Comunitaria	◯	◯	◯	◯	◯
Capacidad de operación local	◯	◯	◯	◯	◯
Reúso	◯	◯	◯	◯	◯

10. ¿Cuál considera que es la factibilidad de implementar sistemas de reúso de aguas servidas tratadas en zonas rurales, considerando criterios técnicos, económicos, normativos y de aceptación comunitaria? *

- ◯ Muy factible
- ◯ Factible
- ◯ Medianamente factible
- ◯ Poco factible
- ◯ No factible

11. ¿La normativa chilena actual favorece soluciones adecuadas para saneamiento rural? *

- ◯ Si
- ◯ No
- ◯ Parcialmente

12. Principales brechas normativas que identifique: *

Seleccione las dos más importantes que considere

Seleccione como máximo 2 opciones.

- ☐ Falta de regulación específica
- ☐ Exceso de exigencias urbanas
- ☐ Falta de financiamiento
- ☐ Escasa fiscalización
- ☐ Débil soporte técnico
- ☐ Otras

13. ¿Qué cambios normativos considera prioritarios? *

14. ¿Qué recomendaciones generales cree que son importantes a considerar al momento de diseñar saneamiento en zonas rurales? *

15. ¿En qué condiciones recomendaría alcantarillado rural? *

Este contenido no está creado ni respaldado por Microsoft. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario.

Microsoft Forms

12.3 Review Bibliográfico

12.3.1 Fichas Bibliográficas

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Stańczuk-Gałwiaczek, M., Sobolewska-Mikulska, K., Ritzema, H., & van Loon-Steensma, J. M. (2018). Integration of water management and land consolidation in rural areas to adapt to climate change: Experiences from Poland and the Netherlands. *Land Use Policy,* 77, 498–511. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.005
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Desarrollo Rural
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2.Redacciones propias**	**Citas Textuales** **Introducción (P499):** "En este contexto complejo, es de suma importancia equilibrar todas las ambiciones y tareas e involucrar a los actores clave en la búsqueda de medidas y diseños resilientes al agua para el área rural" "La implementación de objetivos relacionados con el clima en la planificación espacial a menudo implica adaptaciones en la gestión del agua... para lograr áreas rurales a prueba de clima y resilientes" **Evaluación ex post de la realización de zonas rurales multifuncionales (P499):** "Se utilizó la 'eficacia' para caracterizar el logro de un proyecto o proceso en relación con su efecto previsto. Comparamos cualitativamente la medida en que

se realizaron las actividades previstas... y si se alcanzaron los resultados planeados para otras funciones"

4.1.2. Waproyecto de desarrollo rural wolnica-Zarzeka (P504):
"Surgieron problemas para obtener los terrenos para implementar el plan... Sin la perspectiva de obtener beneficios financieros... la inversión en el desarrollo y mantenimiento del área sería difícil de recuperar".

"El principal problema en este caso no fue la obtención de financiamiento (ya que había muchas opciones disponibles), sino la adquisición de la propiedad de las tierras... Esto detuvo el proyecto"

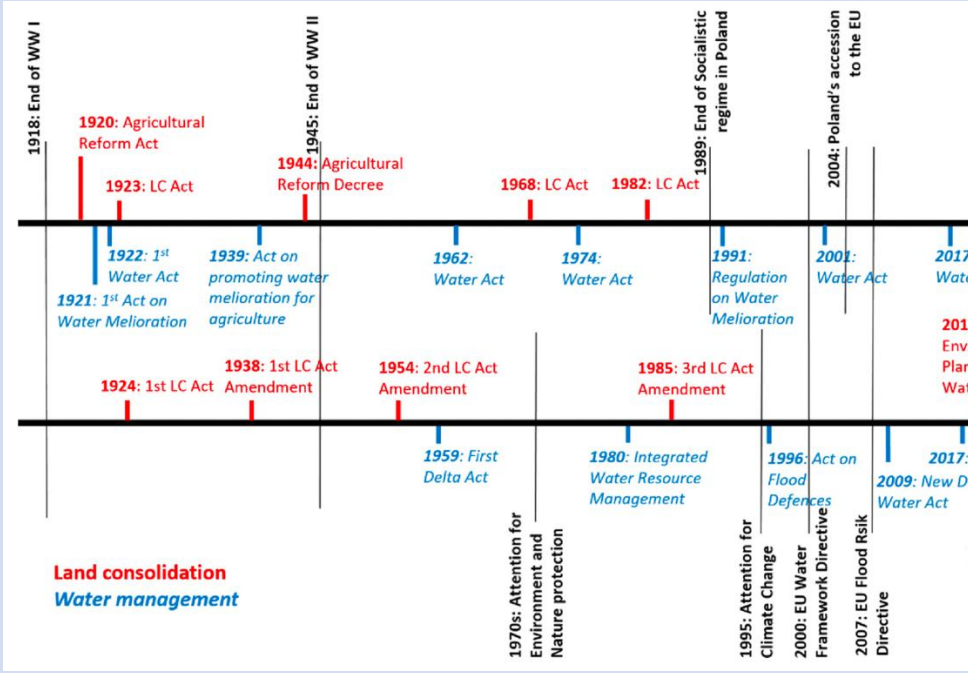
5.2. Enfoque participativo (P509):
"La falta de participación de los interesados en los proyectos de desarrollo rural dificultó la obtención de diseños óptimos... Además, la falta de aportes de los interesados condujo a diseños de proyectos poco realistas"

"…La introducción de un enfoque más participativo, es decir, con la plena participación de las comunidades locales, las asociaciones y otros actores, mejoraría la eficacia de los proyectos. Podría concienciar al público sobre el proceso y servir de ayuda para identificar las acciones y diseñar soluciones más convenientes o aquellas que conduzcan al compromiso más aceptable. Esto podría reducir el número de recursos judiciales"

5.4. Comunicación y promoción del proceso (P509):
"Las actividades de promoción aumentan el interés de la comunidad... mientras que, indirectamente, elevan la conciencia pública sobre el enfoque multipropósito"

5.5 Marco Financiero (P.509):
"Sería recomendable crear mecanismos legales y organizativos que sincronicen las obras…y las medidas de gestión del agua en un único proceso de inversión, de modo que ambas actividades puedan llevarse a cabo desde una sola fuente de financiamiento"

Redacciones propias:
Destacar la experiencia de los Países Bajos en el marco de sus programas de desarrollo rural, donde la política agrícola y la gestión del agua —tanto sanitaria como de riego— se articulan bajo un enfoque integral de planificación territorial. El uso del suelo, la consolidación parcelaria, paisajismo y la organización del territorio se coordinan estratégicamente con la proyección y dimensionamiento de los sistemas hídricos. Esta integración permite evitar la dispersión de viviendas y redes extensas asociadas a bajas densidades poblacionales, lo que reduce los costos de inversión y operación. La infraestructura sanitaria y de riego se planifica en función de una estructura territorial previamente ordenada, favoreciendo la economía de escala y una mayor eficiencia técnica como financiera. Evidenciando que la sostenibilidad de los sistemas de agua y saneamiento no depende únicamente de soluciones tecnológicas, sino de una coherente articulación entre política agrícola, ordenamiento territorial y gobernanza hídrica.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Ejemplo a aplicar en Chile, en donde debería una relación entre los planes reguladores, la subdivisión rural según el decreto de ley N°3.516 y el desarrollo de proyectos hídricos.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Cambios de políticas públicas agrícolas y gestión del agua en Polonia y Países Bajos (P501): 

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Bravo, J., Anriquez, G., Melo, O., & Donoso, G. (2025). Beyond coverage: Unveiling income and spatial inequalities in access to water and sanitation services in Chile. *Utilities Policy, 97*, 102061. **https://doi.org/10.1016/j.jup.2025.102061**
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Alcantarillado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2.Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resultados Censo de Población y Vivienda de 2024 (P3):** El 87,8% reside en zonas urbanas, mientras que el 12,2% vive en zonas rurales. Esta distribución subraya una tendencia sostenida hacia la urbanización en Chile. Los datos censales históricos ilustran aún más esta trayectoria, ya que la proporción de la población residente en zonas urbanas aumentó del 83,5 % en 1992 al 86,6 % en 2002, lo que refleja un aumento constante de la concentración urbana a largo del tiempo. Un poco más de la mitad del área urbana del país (55,8 %) se encuentra fuera de los territorios concesionados. Existen marcadas diferencias geográficas en la proporción del territorio urbano fuera de las concesiones. **Caso de Estudio (P4):** "En las zonas rurales, el acceso está limitado predominantemente por el aislamiento geográfico, las debilidades institucionales y la cobertura insuficiente de la infraestructura" **Respecto al saneamiento (P4),** “el estudio muestra que el 13,06 % de la población nacional carece de conexión a un sistema público de alcantarillado, el 2,91 % de la población urbana y el 83,02 % de la población rural. Sin embargo, al incluir las fosas sépticas y las letrinas como formas de saneamiento mejorado, la proporción de la población sin acceso a saneamiento mejorado disminuye considerablemente, al 2,35 % a nivel nacional, al 0,92 % en las zonas urbanas y al 12,22 % en las zonas rurales. Estos resultados subrayan las distintas barreras estructurales que condicionan el acceso a los servicios de saneamiento. En las zonas urbanas, la principal limitación reside en la ubicación del hogar dentro de una zona de servicio concesionada. En cambio, en las zonas rurales, el acceso se ve limitado principalmente por el aislamiento geográfico, las deficiencias institucionales y la insuficiente cobertura de infraestructura”. **Tendencia Rural (P9):** "Se necesita una coordinación institucional más fuerte, ya que la fragmentación entre el MOP, la SUBDERE, los municipios y las empresas de servicios públicos reduce la eficiencia, lo que hace esencial un mecanismo interministerial para alinear la vivienda, la planificación territorial y las estrategias de agua, saneamiento e higiene (WASH)"

	Del resumen "Abordar estas inequidades requiere innovación institucional, planificación participativa y la integración de la equidad social en los marcos de gobernanza del agua" **4.5. Recomendaciones de políticas para abordar la desigualdad en agua y saneamiento en Chile (P9 y 10):** "En áreas de media y alta densidad, los sistemas de APR se ven retrasados por cuellos de botella administrativos y de inversión que pueden prolongarse durante una década, lo que resalta la necesidad de procedimientos simplificados y una priorización más clara" "El fortalecimiento de las capacidades de gobernanza, gestión y financieras de los comités de APR y las cooperativas rurales a través de la capacitación y la digitalización garantizará la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de agua rurales" **5. Conclusiones (P10):** "La política de agua y saneamiento en Chile debe priorizar la equidad en su núcleo... El progreso solo será posible mediante la adopción de una política de servicios públicos centrada en la equidad que aborde la economía política de la expansión de los servicios" "Los hallazgos desafían las suposiciones prevalecientes de que una alta cobertura nacional equivale a un acceso universal, revelando las limitaciones de los indicadores agregados" **Redacciones propias:** Introduce y respalda el uso de soluciones basadas en la naturaleza (SBN) como alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. En el contexto de los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR) en Chile, donde existen limitaciones económicas, energéticas y operacionales, este enfoque resulta especialmente pertinente, al ofrecer tecnologías de bajo costo, bajo consumo energético y fácil operación, como humedales construidos o sistemas de filtración natural. Además, el estudio refuerza la idea de que estas soluciones pueden integrarse en esquemas descentralizados o híbridos, mejorando la sostenibilidad ambiental al reducir emisiones y permitir la recuperación de servicios ecosistémicos. No obstante, también destaca que su desempeño depende de condiciones locales y del diseño adecuado, lo que implica la necesidad de criterios técnicos claros para su implementación en Chile.

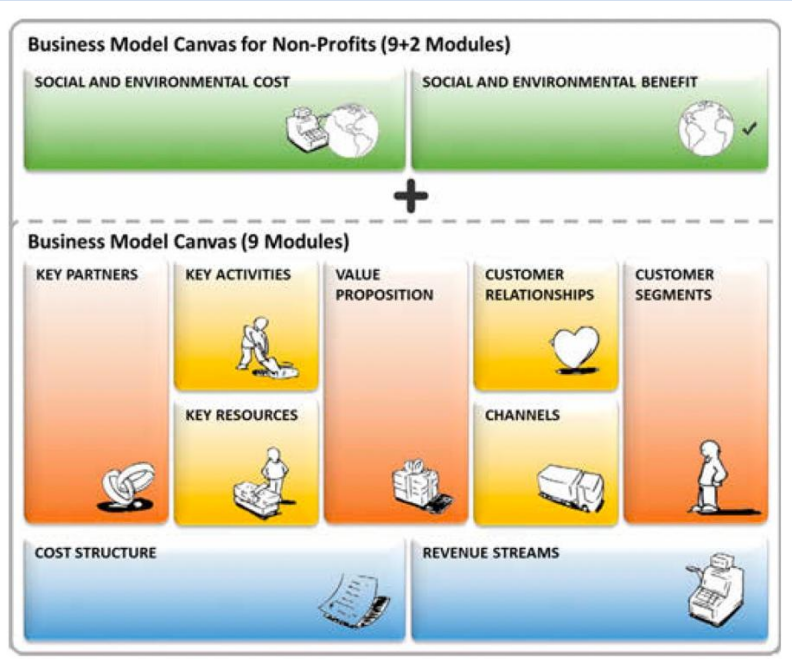
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** permite fortalecer la propuesta de tecnologías apropiadas y sostenibles para SSR, alineadas con tendencias internacionales.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Distribución de hogares según tipo de acceso al agua (P4): **Table 5** Distribution of households by type of water access. Own elaboration based on data from CASEN 2017. Distribución de hogares según tipo de acceso a agua y saneamiento: tabla 6 (P5): Own elaboration based on data from Casen 2017).

	Formal water supply networks		Improved, safe water sources	
	Access (%)	No access (%)	Access (%)	No access (%)
Urban	99.61	0.39	99.85	0.16
Rural	53.42	46.58	82.20	17.80
National	93.79	6.21	97.60	2.40

	Sanitation Connected to a Sewerage System		Improved Sanitation	
	Access (%)	No access (%)	Access (%)	No access (%)
Urban	97	2,91	99,08	0,92
Rural	16,98	83,02	87,81	12,22
National	86,94	13,06	94,65	2,35

	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	**Coronel Picon, Y. R., & Seo, Y. (2020). Participatory approaches in the planning of drinking water supply and basic sanitation projects in the rural areas of Colombia. KSCE Journal of Civil Engineering, 24(4), 1374–1382. https://doi.org/10.1007/s12205-020-1091-1**
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios Regulación Aspectos Sociales Desarrollo Rural
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P.1374):** "El uso de estas metodologías en la planificación de los proyectos permite la selección de tecnologías que se adapten a las condiciones culturales, sociales y económicas de las comunidades beneficiarias; también genera un sentido de pertenencia y propiedad de los sistemas, lo que resulta en su sostenibilidad" **Introducción (P.1375):** "La participación comunitaria en la etapa de planificación... incluye aspectos como la ubicación de la infraestructura, la elección de la tecnología, el diseño de las tarifas y los requisitos de operación" "Las metodologías participativas... permiten un mayor acercamiento a la realidad local y ayudan a establecer vínculos de confianza entre los 'externos' y las comunidades rurales" "Los resultados indican que los aspectos institucionales, sociales, financieros, técnicos y políticos limitan su aplicación" "A menudo, los planificadores de proyectos pueden no estar explícitamente capacitados en la gestión de procesos participativos, lo que puede llevar a un uso limitado de las metodologías" **Resultados y Discusión (P1377):** "Es necesario avanzar hacia la fase de implementación de políticas... para lograr resultados concretos que promuevan la planificación desde abajo (bottom-up)... Esto garantizará que las soluciones respondan a las condiciones socioeconómicas, ambientales y culturales de las comunidades" **3.5 Barreras a la planificación con enfoques participativos (P1380):** "Para la incorporación efectiva del enfoque participativo... es necesario definir instrumentos rectores para la planificación... fortalecer las capacidades de los profesionales a cargo de la planificación del proyecto, los gobiernos locales y las comunidades; y la asignación de recursos financieros"

	"El fortalecimiento de las comunidades locales en la organización y el desarrollo comunitario, la participación, la gestión y el liderazgo... influye en su sostenibilidad" **Apuntes** Los resultados mostraron que existen factores institucionales, sociales, financieros, técnicos y políticos que limitan la aplicación de los enfoques participativos. En este sentido, para la incorporación efectiva de enfoques participativos en la planificación de proyectos, es necesario: 1) definir instrumentos rectores para la planificación y desarrollo de procesos participativos; 2) fortalecer las capacidades de los profesionales a cargo de la planificación de proyectos; gobiernos locales y comunidades; 3) las asignaciones de recursos financieros son esenciales para la implementación de procesos participativos. **Redacciones propias:** Refuerza el avance tecnológico de los sistemas descentralizados, mostrando que ya no son soluciones “básicas”, sino alternativas técnicamente robustas y competitivas frente a sistemas centralizados. En Chile no solo es viable implementar soluciones descentralizadas, sino que estas pueden alcanzar altos niveles de eficiencia si se diseñan adecuadamente. El estudio destaca la modularidad y escalabilidad como ventajas fundamentales, lo que permite adaptar el saneamiento a comunidades rurales en crecimiento o dispersión. Sin embargo, también recalca que el éxito depende de la capacidad de operación y monitoreo, lo que evidencia una brecha institucional en muchos SSR.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Avalar:** respalda la necesidad de fortalecer la gestión y operación en el contexto rural chileno, alineándose con un enfoque de saneamiento sostenible y adaptativo.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Figura N2: Modelo CANVAS para organizaciones sin fines de lucro (P1377): 

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	**Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. (2023). Manual de proyectos de aguas servidas (Primera edición, octubre 2023). https://ssr.mop.gob.cl/uploads/sites/11/2025/03/Manual-de-Proyectos-de-Aguas-Servidas.pdf**
Palabras claves:	Regulación
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** “Plantas de tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) (P.40 a 41): Se debe incorporar en los proyectos de PTAS, se incluya el ítem de operación garantizada y marcha blanca, para la etapa de construcción, lo que se deberá incorporar en detalle, en la etapa de licitación en los términos de referencia respectivos. No obstante lo anterior, cuando existan sistemas de recolección construidos se sugiere que en su etapa de diseño, o previa a esta, se requieran campañas de muestreo de muestras compuesta de 24 horas en los colectores que descargarán en la futura PTAS en distintos periodos, dado que en el caso de que no se haya caracterizado correctamente el afluente a la PTAS, el futuro proveedor a cargo de esta operación garantizada se podrá excusar por eventuales incumplimiento en el efluente porque NO se recibió un afluente de acuerdo a lo definido en el diseño. El Tiempo mínimo de operación garantizada será de 1 a 2 años, dependiendo del tamaño de sistema de tratamiento. **Redacciones propias:** Se evidencia del manual que regula principalmente soluciones individuales o colectivas aisladas, pero no desarrolla lineamientos específicos para proyectos de sistemas interconectados entre distintos SSR. Por ello, se hace necesario elaborar un Manual de Servicios Interconectados —o incorporar un capítulo específico dentro del manual vigente— que establezca criterios técnicos, económicos, operacionales y de gobernanza para este tipo de esquemas. Esto permitiría capturar economías de escala en infraestructura y tratamiento, optimizar costos de operación y mantención, profesionalizar la gestión, mejorar el cumplimiento normativo, fortalecer la resiliencia ante contingencias y eventos climáticos, facilitar la planificación territorial integrada y asegurar mayor sostenibilidad financiera y técnica en el largo plazo, superando las limitaciones estructurales del modelo fragmentado actual. Asimismo, se observa que el marco actual no considera la regulación y gestión de servidumbres de paso y de acueducto necesarias para la instalación de redes en caminos privados. Esto deja fuera del análisis una variable que puede transformarse en una de las principales dificultados para la materialización de proyectos de servicios sanitarios rurales. Debería incorporar directrices específicas sobre esta materia permitiría anticipar conflictos, otorgar mayor certeza técnica y legal al diseño de redes y facilitar una planificación sanitaria rural más eficiente y coordinada.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** marco normativo actual para el diseño del saneamiento en localidades rurales.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	**Ley N° 20.998. (2017). Regula los servicios sanitarios rurales (última modificación 2023). https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1100197**
Palabras claves:	Regulación
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Art. N2: Definiciones (P 1 y 2):** **Saneamiento:** recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas y manejo de sus lodos. **Servicio sanitario rural:** aquel que consiste en la provisión de agua potable y/o saneamiento sin fines de lucro, conforme a lo dispuesto en esta ley, con el debido aporte de inversión y capacitación del Estado. **Soluciones descentralizadas de saneamiento**: aquellas que, encontrándose dentro del área de servicio, no estén conectadas con una red de alcantarillado primario, permiten la recolección, tratamiento y vertimiento o reutilización de las aguas residuales de sistemas comunitarios, conjuntos residenciales **Art. N7: Etapas de los Servicios (P 3 y 4):** **La etapa de recolección de aguas servidas** consiste en la conducción de dichas aguas desde el inmueble hasta la entrega para su tratamiento y disposición final. Alternativamente, esta etapa podrá consistir en soluciones descentralizadas de saneamiento para su posterior disposición **La etapa de tratamiento y disposición de aguas servidas** consiste en la remoción de los contaminantes presentes para la posterior evacuación de éstas en cuerpos receptores, y en el manejo de los lodos generados, en las condiciones que establece la normativa legal y reglamentaria vigente, o en sistemas de tratamiento. - Solicitada la etapa de distribución, el Ministerio otorgará conjuntamente la de recolección. - Sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso precedente, la prestación de la etapa de recolección será exigible sólo una vez que esté aprobada la puesta en operación de las redes por la Subdirección. - La producción de agua potable, el tratamiento y disposición de aguas servidas y el manejo de los lodos podrán ser contratados con terceros por el operador. **Art. N43: Responsabilidad por mantenimiento y reposición(P16):** Responsabilidad por mantenimiento y reposición. Los costos de mantenimiento y reposición del arranque de agua potable y la unión domiciliaria, del sistema de agua potable y saneamiento rural, respectivamente, serán de cargo del operador. El mantenimiento y reposición de las instalaciones interiores domiciliarias de agua potable y de saneamiento serán de exclusiva responsabilidad y cargo del propietario del inmueble. Artículos Transitorios, Artículo tercero (P 37): Los municipios que al momento de entrar en vigencia esta ley operen servicios de agua potable o saneamiento, podrán traspasarlos a un comité o cooperativa.

	En caso de que un comité o cooperativa le requiera el traspaso del servicio sanitario rural, el municipio respectivo deberá pronunciarse dentro del plazo de noventa días, contado desde el requerimiento. **Redacciones propias:** En relación al artículo tercero transitorio de la Ley N° 20.998, si bien se establece el traspaso de servicios de agua potable o saneamiento desde las municipalidades hacia comités y cooperativas, la norma no desarrolla en detalle el procedimiento, los estándares técnicos mínimos, la situación patrimonial de la infraestructura, ni los mecanismos de acompañamiento técnico y financiero para concretar dicha transferencia. Esta falta de precisión puede generar vacíos operativos y jurídicos que terminen perjudicando a los comités y cooperativas, quienes podrían asumir servicios con infraestructura deficiente, déficits tarifarios o incumplimientos normativos, sin contar necesariamente con las capacidades técnicas y administrativas suficientes para su adecuada gestión. En donde, la ausencia de lineamientos claros respecto de cómo debe materializarse el traspaso podría afectar la sostenibilidad técnica y financiera de los Servicios Sanitarios Rurales, trasladando riesgos estructurales desde el ámbito municipal hacia organizaciones comunitarias con menor respaldo institucional.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** ley que regula los servicios sanitarios rurales.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	**Chile. Decreto N° 50. (2020). Reglamento de la Ley N° 20.998 que regula los servicios sanitarios rurales (última modificación 2021). https://bcn.cl/2lxdm**
Palabras claves:	Regulación
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Art. Nº16: Vigencia y Objeto(P11):** ….El saneamiento incluye las etapas de recolección, tratamiento y disposición final de aguas servidas y el manejo de lodos. No obstante, lo anterior, en caso de que la Licenciataria opte por contratar el tratamiento y disposición de aguas servidas y el manejo de los lodos con terceros, deberá contar con el respectivo contrato con el proveedor que asegure el cumplimiento de las normas sanitarias y ambientales. **Art. Nº39: Mantención, operación e información (P26):** b) Mantener en perfecto estado de funcionamiento las instalaciones y asegurar su correcta operación, a fin de evitar interrupciones en el servicio de saneamiento para garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental y sanitaria vigente. e) Tener a su cargo los costos de mantención de arranques de agua potable hasta el medidor inclusive, y de las uniones domiciliarias de alcantarillado hasta la cámara más próxima al colector público de aguas servidas, excluyéndose esta última, la que corresponde a la última cámara de inspección domiciliaria según el Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y alcantarillado, y en general de toda la infraestructura que conforma el sistema de agua potable y saneamiento de acuerdo al segmento en que sea clasificado el operador. **Art. Nº40: Calidad de la prestación del servicio (P26):** La prestación del servicio de agua potable y saneamiento deberá cumplir además de las condiciones de servicio establecidas en su Licencia, con la normativa sanitaria y ambiental vigente. Para estos efectos, la Subdirección elaborará un manual de apoyo, en consulta con la Superintendencia, la Autoridad Sanitaria y la autoridad ambiental. **Art. Nº46: Factibilidad del servicio (P30):** El informe técnico de las factibilidades deberá ser realizado por los operadores y elaborado por un ingeniero civil. Sin embargo, cuando el informe establezca que se requiere un diseño de ingeniería, éste deberá ser elaborado por un consultor del área de la Ingeniería Sanitaria. En todo caso, el diseño de ingeniería se requerirá siempre que el número de conexiones solicitadas pueda afectar el normal funcionamiento del servicio sanitario rural. Una copia del informe o diseño, según corresponda, deberá ser entregado a la Subdirección Regional, para su aprobación en forma previa a otorgar la factibilidad. Tratándose de alcantarillado, el informe técnico deberá contener:

	a) Esquema operacional del sistema de alcantarillado con indicación de cotas de sus principales componentes, del área de servicio y la ubicación en la red de recolección de las nuevas conexiones solicitadas y la cota o profundidad del colector frente al terreno donde se solicita la factibilidad de conexión. b) En caso de que existan antecedentes en la Subdirección de problemas operacionales, obstrucciones, rebases y, o afloramiento de aguas servidas se solicitará un balance de disponibilidad y demanda de la capacidad de los colectores y las plantas elevadoras y la capacidad de la conducción de la impulsión si es el caso, el análisis de efectuarse tanto en la situación inicial sin nuevas conexiones y a un horizonte de 10 y 20 años. c) Un balance de disponibilidad y demanda de la capacidad de la planta de tratamiento, con un horizonte de 10 y 20 años. **Redacciones propias:** El Decreto 50, presenta diversas brechas que afectan el desarrollo del saneamiento rural, destacando una implementación desbalanceada que ha priorizado el abastecimiento de agua potable por sobre el tratamiento de aguas servidas. Si bien la normativa reconoce la importancia de servicios sanitarios integrales, en la práctica existen limitaciones en el desarrollo de soluciones descentralizadas, falta de financiamiento sostenible para operación y reposición, y exigencias técnicas y sanitarias poco ajustadas a la realidad rural. A esto se suman debilidades en las capacidades de gestión de los comités, escasa articulación con la planificación territorial y problemas de coordinación institucional, lo que en conjunto dificulta la implementación efectiva de sistemas de saneamiento adecuados y sostenibles en zonas rurales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** reglamento que regula la ley N20.998.

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	**Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2025). Continuidad de alcantarillado: Servicios sanitarios rurales de los segmentos mayor y mediano (3ª ed., agosto 2025). https://www.siss.gob.cl/589/articles-19503_Man_Cont_Alc_SSR.pdf**
Palabras claves:	Regulación
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Registros requeridos al SSR: Alteraciones del servicio de Alcantarillado (P 10):** Los Comités y Cooperativas deberán registrar la información relativa a las alteraciones del servicio de alcantarillado, considerando los campos mínimos que se consignan a continuación en la tabla. Dichos registros podrán realizarse en formato físico (papel) o digital (si se dispone) y deberán mantenerse en la oficina del Comité o Cooperativa por un período mínimo de dos años, ya que podrán ser requeridos por la Superintendencia de Servicios Sanitarios para efectos de fiscalización, utilizados como insumo para la toma de decisiones operativas del SSR y/o como fundamento para justificar necesidades de inversión. **Fiscalización de la SISS en materia de continuidad de Alcantarillado (P 13):** **Análisis de reiteración de obstrucciones** La Superintendencia podrá identificar, a través de los registros entregados por los Comités y Cooperativas y de las inspecciones en terreno, la ocurrencia reiterada de obstrucciones en determinados tramos de la red. Esta reiteración puede constituir un indicio de fallas estructurales o deficiencias en el diseño, operación o mantención del sistema. En caso de fallas estructurales y problemas de diseño, la Superintendencia informará a la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, contribuyendo de este modo a la solución de los déficits detectados mediante asesoría técnica y/o proyectos de mejoramiento o reposición de infraestructura. **Reclamos de usuarios** Cuando existan reclamos por parte de los usuarios (socios y no socios) relacionados con el funcionamiento del sistema de alcantarillado, la Superintendencia podrá solicitar al Comité o Cooperativa el registro de las fallas reiteradas y realizar una inspección en terreno. Durante dicha visita, se revisará el estado estructural de la infraestructura sanitaria. Si se observa que podrían estar ingresando aguas servidas distintas a las habituales —por ejemplo, desde fuentes no autorizadas—, la SISS podrá requerir una medición de gases, con el fin de identificar señales que confirmen la presencia de este tipo de descargas. Esta tarea se realizará en coordinación con la Subdirección Regional y con el propio Comité o Cooperativa.

	Redacciones propias: El manual de fiscalización enfatiza en procesos colaborativos durante la transición, indicando recomendaciones operativas con finalidad pedagógica y de apoyo en la gestión. Siendo un documento básico de fiscalización al definir registros mínimos, criterios de revisión y procedimiento de supervisión. Este enfoque es coherente con la realidad de los SSR, que requieren consolidación técnica antes que una fiscalización estrictamente sancionatoria.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Límites de responsabilidad servicio y usuario: 

	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	**Aguila Inostroza, M. E. (2025, julio 26). Marco jurídico y regulatorio de los servicios sanitarios rurales en Chile. Aguila & Cía.. https://www.aguilaycia.cl/post/marco-jur%C3%ADdico-y-regulatorio-de-los-servicios-sanitarios-rurales-en-chile**
Palabras claves:	Regulación Aspectos Sociales
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** “La implementación de la ley ocurre en un escenario complejo, donde tres crisis se retroalimentan, amenazando la viabilidad de los operadores rurales. La complejidad de la ley consume los escasos recursos de los comités, que carecen de la capacidad de gestión para enfrentarla, mientras la crisis hídrica hace cada vez más difícil cumplir con la obligación de garantizar agua” “la implementación de este marco enfrenta desafíos críticos. El informe identifica una tensión fundamental entre el objetivo de profesionalización y la realidad de las organizaciones comunitarias de base voluntaria, cuya capacidad administrativa y financiera es a menudo limitada” “El éxito del nuevo modelo depende críticamente de la efectividad y el alcance de los programas de capacitación y asistencia técnica que debe proveer la Subdirección de SSR. Sin un fortalecimiento masivo y continuo de las capacidades locales, las exigencias de la ley corren el riesgo de convertirse en letra muerta o en una fuente de frustración y abandono por parte de los líderes comunitarios” **Redacciones propias:** La reforma busca profesionalizar la gestión de los Servicios Sanitarios Rurales, incorporar formalmente el saneamiento dentro de las obligaciones del servicio y asegurar su sostenibilidad técnica y financiera mediante un régimen tarifario técnico y planes de inversión estructurados. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos relevantes asociados a la limitada capacidad administrativa y operativa de muchos comités y cooperativas, la complejidad de las exigencias regulatorias y la tensión existente entre el rol fiscalizador y el rol de fomento del Estado. Dentro de las recomendaciones estratégicas señaladas en el artículo, se propone promover activamente la conformación de uniones comunales o asociaciones entre comités geográficamente cercanos, con el fin de compartir costos profesionales y fortalecer capacidades técnicas, legales y administrativas. Esta línea de acción podría profundizarse mediante políticas públicas que incentiven no solo la asociatividad formal, sino también la interconexión operativa de los sistemas, permitiendo generar economías de escala, redundancia operativa y reducción de costos estructurales. En este contexto, si bien el marco normativo vigente establece una regulación unitaria para los SSR, aún resulta insuficiente en lo relativo al desarrollo de esquemas técnicos y jurídicos específicos para sistemas interconectados, materia que podría incorporarse en una futura actualización legal o reglamentaria.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** el que determina la ley por ojos de un abogado.

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Daniel, D., Pamudji Al Djono, T., & Iswarani, W. P. (2023). Factors related to the functionality of community-based rural water supply and sanitation program in Indonesia. *Geography and Sustainability, 4*(1), 29–38. https://doi.org/10.1016/j.geosus.2022.12.002
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Desarrollo Rural
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **4.1. Discusión e implicaciones de los resultados (P8):** Otro hallazgo es que la inversión per cápita se asoció negativamente con la funcionalidad. Una alta inversión per cápita se refleja en un número reducido de beneficiarios o una amplia cobertura del sistema de abastecimiento de agua. Este caso suele darse en viviendas dispersas y zonas remotas y subdesarrolladas Un estudio previo con datos de Nepal, Egipto y Tanzania indica que alcanzar el punto de equilibrio en un plazo de 5 años en el suministro de agua rural requiere un aumento del precio del agua de 5 a 9 veces el precio actual, lo cual es poco realista, especialmente para los hogares de bajos ingresos (Otter et al., 2020). Por lo tanto, sugerimos que se incluya un análisis económico exhaustivo en el estudio de viabilidad antes del inicio del proyecto. Este análisis puede ayudar a la BPSPAMS (comité de la junta de agua de la aldea) a asignar el presupuesto al sistema más rentable y advertir a la BPSPAMS y al facilitador distrital de PAMSIMAS (Programa comunitario de abastecimiento de agua potable y saneamiento rural) que el proyecto tiene una alta probabilidad de fracaso, y que deben pensar estratégicamente cómo prevenirlo. Además, debería existir un plan alternativo de inversión y construcción para viviendas dispersas y zonas remotas sin desarrollar a fin de reducir los costos de inversión. La inferencia predictiva indica que el estado de las tarifas influye en gran medida en la funcionalidad del sistema PAMSIMAS. Los sistemas sin pago tienen una probabilidad del 23% de no funcionar, o 20 veces mayor que si existe pago. **Conclusiones (P9):** Los efectos sinérgicos de tener conexiones domiciliarias, una buena gestión y un estado de las tarifas superior a los costos de recuperación aumentaron la probabilidad de que el sistema PAMSIMAS funcionara a pleno rendimiento del 87% en la línea base al 98%. **Redacciones propias:** El estudio evidencia que la sostenibilidad de los sistemas comunitarios de agua potable depende de una combinación sinérgica entre gestión sólida, estructura tarifaria efectiva y conexiones domiciliarias, más que únicamente del nivel de inversión inicial. Bajo el contexto de los SSR en Chile, estos resultados adquieren especial relevancia, ya que muchos comités y cooperativas enfrentan desafíos similares: dificultades en la fijación técnica de tarifas -teniendo viviendas con gratuidad- y limitaciones en capacidad administrativa. Asimismo, el hallazgo de que una mayor

	inversión per cápita se asocia negativamente con la funcionalidad en zonas dispersas resulta comparable a la realidad de sistemas rurales aislados en Chile, donde los altos costos de operación y mantenimiento dificultan la sostenibilidad financiera. Por lo tanto, la experiencia indonesia refuerza la necesidad de fortalecer los mecanismos de gestión, profesionalización y planificación económica, avanzando desde un modelo centrado en la infraestructura hacia uno orientado a la sostenibilidad integral del servicio.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Homsi Auchen, J., & Alarcón Martínez, E. (2018). Estudio de soluciones sanitarias para el sector rural, unidad de saneamiento sanitario. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/estudio_de_soluciones_sanitarias_para_el_sector_rural_1.pdf
Palabras claves:	Alcantarillado Tecnología de Tratamiento Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Fosas Sépticas (P108):** corresponden conceptualmente a un tratamiento primario, alcanzando eficiencias de remoción del orden de 75 – 80 y 10 – 25 % en términos de sólidos suspendidos y DBO respectivamente. La principal ventaja con respecto a los pozos negros y letrinas consiste en que se constituyen en una solución más higiénica y permite instalar dependencias de baño y cocina, confiriéndole un nivel de calidad de vida superior. Adicionalmente, las fosas sépticas pueden ser incorporadas a un sistema centralizado (de implementarse). Estado del arte en lo que a tratamiento y disposición de aguas servidas (P108): alternativas viables de tratamiento considerando como base mínima los sistemas en base a fosas sépticas, constituida en una de las más implementadas. para definir la **viabilidad de las alternativas de disposición de los efluentes** de una fosa séptica en el entorno inmediato, se deben tomar en consideración los siguientes aspectos, según corresponda: • Mecánica de suelos. • Material y naturaleza del perfil estratigráfico. • Permeabilidad. • Nivel freático. • Pendiente del terreno. • Restricciones en la calidad de las aguas subterráneas. • Disponibilidad de espacio. Las alternativas de tratamiento más importantes del tipo convencional de tecnología establecida son las siguientes (P110): • Cultivo suspendido aeróbico (lodos activados y lagunas aireadas). • Cultivo fijo (lechos bacterianos). • Cultivo mixto (MBBR, IFAS). **Tecnologías Tradicionales (P110):** Las tecnologías tradicionales o tecnologías más importantes establecidas en el país, pueden resumirse del siguiente modo: -Biológicas no convencionales. • Lagunas de estabilización facultativas. -Biológicas convencionales. • Lodos activados en sus distintas versiones. • Biofiltros. • Biodiscos. • Lagunas aireadas multicelulares.

Nuevas tecnologías en el mercado (P110):
Las nuevas tecnologías en el país, pueden resumirse del siguiente modo.
• Cultivo mixto (suspendido + fijo).
• MBBR.
• IFAS.
• Biofiltros con medio plástico.

Soluciones innovadoras (P111):
En el actual estado del arte, han aparecido tecnologías innovadoras en el país, las que
pueden resumirse del siguiente modo:
• Lombrifiltros.
• Humedales en distintas versiones.
• Biotreat.
• Lecho verde vertical de juncos.
• Filtro vegetal con fibra de coco (tipo Ecoflo).

El sector urbano cuenta con empresas de servicios sanitarios encargadas de la operación y mantenimiento de sus sistemas de tratamiento, lo que marca una diferencia sustantiva con el sector rural, puesto que mientras el primero cuenta con personal calificado para la operación y mantenimiento, soportado económicamente a través de una tarifa debidamente regulada, el sector rural no cuenta con personal de experiencia en la operación y mantenimiento de sus PTAS (especialmente cuando se trata de tecnologías como los lodos activados que requieren cierto grado de especialización) y de acuerdo a lo visualizado en las visitas a diferentes PTAS, el soporte económico es dependiente de si el responsable es una cooperativa, un comité o la municipalidad.

Limitantes y restricciones (P112):
• Personal capacitado para operar plantas de mediana dificultad, como por ejemplo lodos activados.
• Capacidad económica para operar adecuadamente los sistemas de tratamiento. En plantas de altos costos operacionales como lodos activados, los costos de la energía eléctrica juegan un papel incidente.

Propuesta de proyecto piloto (P113);
- Nanotecnología para la recuperación de aguas servidas domésticas (El reactor biológico Hydro-BG, empresa HYDROSOL,)
- Humedales en distintas versiones.
• Biotreat (simbiosis, fundación Chile).
• Lecho verde vertical de juncos.
• Filtro vegetal con fibra de coco (tipo Ecoflo).

Campos de Aplicación (P114):
Los campos de aplicación de las tecnologías se ciñen al ámbito rural, debiendo distinguirse entre las tecnologías aplicadas a sistemas particulares de tratamiento de aguas servidas (sistemas descentralizados) y los aplicables a localidades semidispersas o aglomeradas.
Los sistemas rurales descentralizados son aplicados cuando se dan entre otras una baja densidad habitacional, la distancia con respecto a otros alcantarillados existentes es significativa o no cuentan con redes de alcantarillado.

Bases de cálculo (P114):
• Población servida. Proyección a lo largo del período de previsión.

• Caudales medios y máximos de aguas servidas domésticas de aguas infiltración, aguas lluvia y residuos industriales líquidos (RILES). Proyección a lo largo del período de previsión.
• Características de las aguas servidas crudas en términos de los parámetros contaminantes de interés, específicamente:
• DBO.
• Sólidos suspendidos.
• Nutrientes (N y P).
• Aceites y grasas.
• Calidad exigida del efluente según normativa vigente.

*RILES dando cuenta del DS609/1998.

Características de las aguas servidas crudas en el sector rural (P122):
Rango de concentraciones típicas
• DBO 150 – 300 mg/l
• SST 130 – 320 mg/l
• NKT 40 – 80 mg/l
• PT 5 – 15 mg/l
Rango de relaciones típicas parámetro/DBO
• SST / DBO 0,8 – 1,2
• SSV / SST 0,75 – 0,80
• NKT / DBO 0,2 – 0,3
• PT / DBO 0,04 – 0,06

Adopción de las bases de cálculo para el sector rural (P123):
Al presente no se cuenta con registros estadísticos que permitan caracterizar la calidad de las aguas servidas crudas del sector rural de manera típica y representativa.
…Es de gravitante importancia para una definición cabal del saneamiento pues las características de las aguas servidas son propias de cada localidad.
Se recomienda homologar **preliminarmente** las bases de cálculo a las del sector urbano (en término de los parámetros de interés), vale decir, los siguientes:
• Aporte per cápita 30 – 40 grDBO/hab/día
• SST/DBO 1,00
• NKT/DBO 0,25
• PT/DBO 0,05
• Aceites y Grasas 0,20

Si el sistema cuenta con red de alcantarillado, se pueden efectuar mediciones de caudal y caracterización de los principales parámetros de interés, el principal de los cuales lo constituye el aporte per cápita.

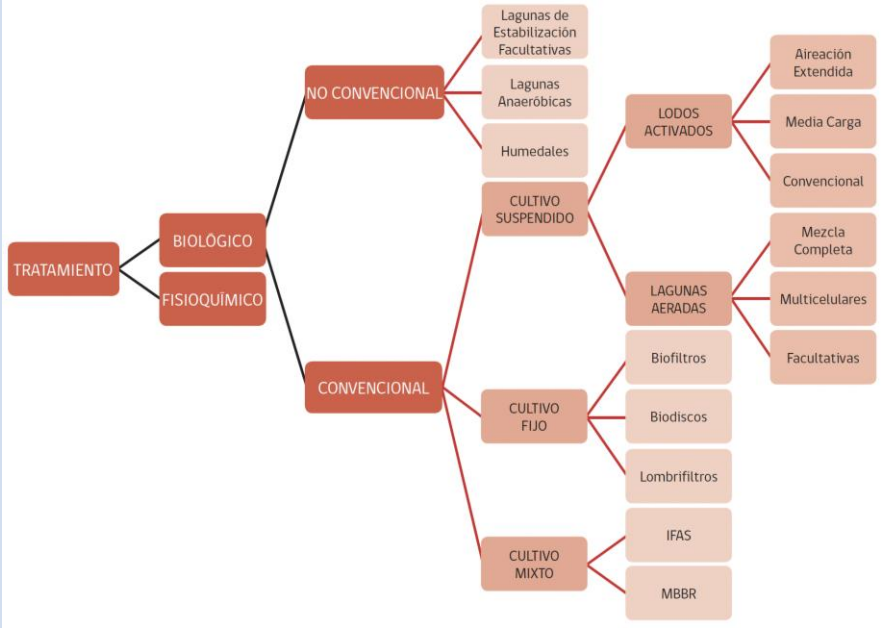
Desinfección (P126):
•La alternativa por hipoclorito de sodio se constituye en la solución económicamente más conveniente para caudales inferiores a 20 l/s y la de cloro gas por sobre dicho caudal.
• La alternativa por cilindros de gas cloro de 68 kg se constituye en la solución económicamente más conveniente para caudales inferiores a 24 l/s y la de contenedores de 1.000 kg por sobre dicho caudal.

Fosas Sépticas (P131):
En relación a los criterios de diseño, se han desarrollado varias relaciones empíricas para estimar el tamaño de las fosas sépticas, recomendando varios autores un tamaño mínimo de 750 galones (2,8 m3).

	El dimensionamiento de la fosa séptica deberá considerar lo establecido en el DS 236/26 (Reglamento de Alcantarillados Particulares) donde sea pertinente. Evaluación de la conveniencia de usar planta elevadora para rebajar la altura de excavación (P203): A la luz de cuyos resultados se puede concluir que la alternativa de contemplar una PEAS para minimizar excavación al implementar el sistema de una red de alcantarillado es económicamente menos conveniente en general, debiendo ello ser validado para cada condición específica que se quiere analizar. **Tarifa para PTAS (P220):** Desde el punto de vista económico, privado y social, de entre las alternativas de tratamiento tarificadas la tecnología de lombrifiltro se constituye en una alternativa viable y sostenible en sistemas rurales de más de 100 habitantes. **Redacciones propias:** El estudio de la SUBDERE plantea que el desarrollo de soluciones sanitarias rurales requiere un enfoque integral que combine adecuadamente la selección tecnológica y la gestión de los sistemas, promoviendo el uso de tecnologías adaptadas a las características territoriales, sociales y climáticas de cada localidad, e incorporando alternativas innovadoras y descentralizadas que sean sostenibles en el tiempo. A su vez, destaca que estas soluciones deben ir acompañadas de un fortalecimiento de la gestión, mediante el desarrollo de capacidades técnicas y organizacionales, una mejor coordinación institucional y la implementación de herramientas de apoyo para la toma de decisiones, de modo de asegurar una operación eficiente, una mantención adecuada y una sostenibilidad a largo plazo de los servicios sanitarios rurales. En relación con el reúso, su potencial como una estrategia clave para enfrentar la escasez hídrica en zonas rurales, promoviendo el aprovechamiento de aguas servidas tratadas en usos como riego agrícola o áreas verdes, siempre que se cumplan las condiciones sanitarias correspondientes. Sin embargo, también identifica brechas importantes, como la falta de un marco normativo específico, limitaciones técnicas en los sistemas de tratamiento y escasa incorporación del reúso en el diseño de proyectos, lo que dificulta su implementación. Por ello, se plantea la necesidad de integrar el reúso desde etapas tempranas de planificación, junto con fortalecer capacidades técnicas y generar lineamientos claros que permitan su aplicación segura, sostenible y adaptada a la realidad rural.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** base de diseño para selección de alternativas para el tratamiento y reúso.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

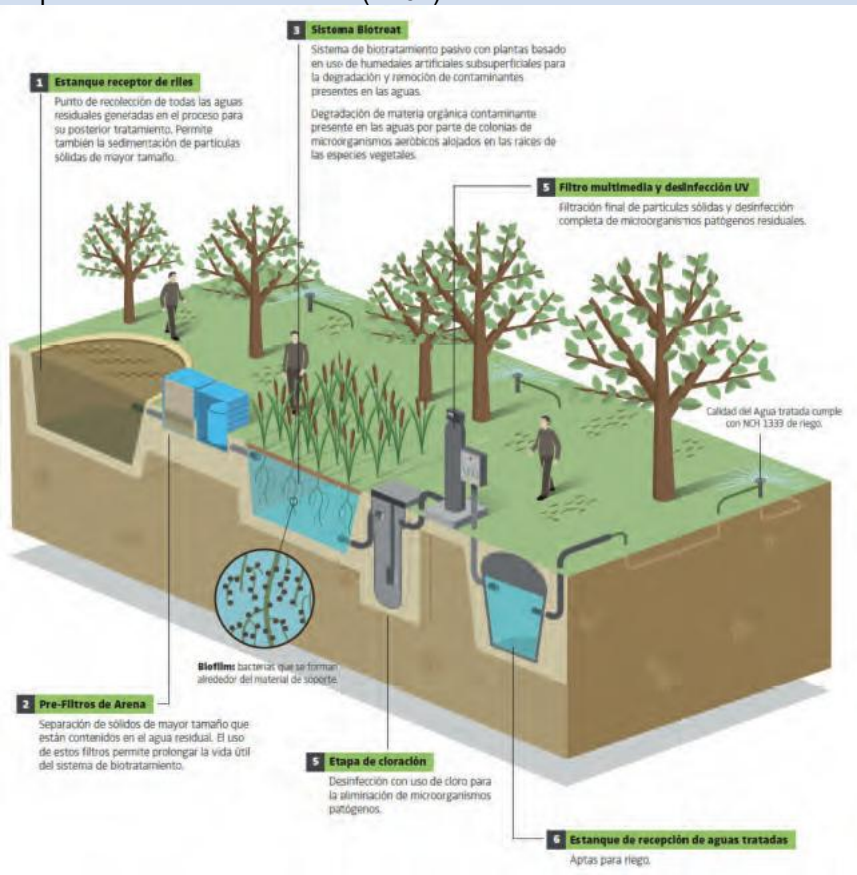
Mapa de alternativas de tratamiento de Aguas Servidas, semidispersas o aglomeradas (P109):



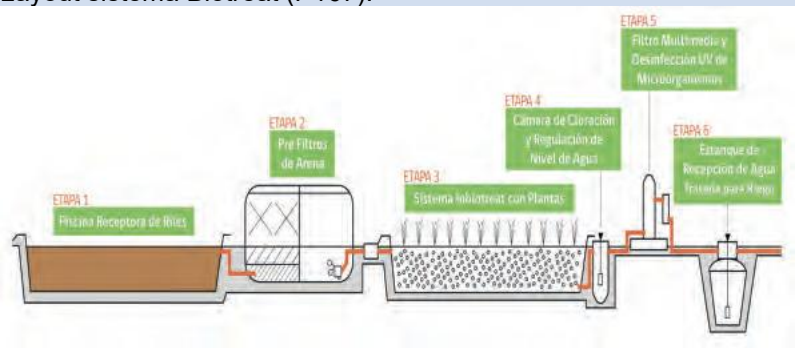
Alternativas típicas de tratamiento de aguas servidas en sistemas descentralizados (P129):

Tipo de tratamiento	Alternativa
Primario	Fosas sépticas
	Tanques imhoff
Primario avanzado	Fosa séptica - cámara de filtración.
	Fosa séptica - reactor de cultivo fijo
	Sedimentación primaria químicamente asistida
Secundario	Tratamiento biológico aeróbico.
	Lombrifiltro
	Filtro de arena de flujo intermitente
	Filtro de grava con recirculación
	Lagunas
	Humedales artificiales
Avanzado	Tratamiento en el suelo
	Filtros de lecho empacado, intermitentes y con recirculación
	Filtración rápida
	Desinfección

Esquema del sistema Biotreat (P167):



Layout sistema Biotreat (P167):



Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de aguas servidas (P171):

Ventajas	Desventajas
Lodos activados	
Prescinde de sedimentación primaria y los lodos generados son altamente mineralizados, por lo que no requieren de tratamiento posterior.	Control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio.
Flexibilidad de operación a través de un control racional de la biomasa presente en el proceso.	Altos costos de operación, asociados fundamentalmente a los requerimientos de oxígeno, los que se proveen en forma mecanizada.
Eficiencia de remoción de carga orgánica sustancialmente más alta que la que se alcanza en otros procesos como los del tipo convencional por cultivo fijo (filtración biológica, biodiscos, etc.), logrando valores superiores a un 90 %.	
Minimización de olores y ausencia de insectos.	
Capacidad de nitrificación y posibilidad de incorporar desnitrificación al proceso.	
Posibilidades de regular energía consumida para variaciones de carga orgánica.	
Biofiltros	
Estabilidad ante variaciones de la carga y concentración afluente.	Baja posibilidad de incluir remoción de nutrientes en el proceso.
Bajos costos de operación y mantenimiento comparados con otros procesos del tipo convencional.	Necesidad de sedimentación primaria para disminuir los sólidos suspendidos afluentes a la componente biológica.
Producción de un lodo estable concentrado, en general bien floculado y fácil de decantar.	Riesgo de desarrollo de moscas psychoda, especialmente en climas cálidos o templados durante las estaciones de alta temperatura.
De fácil puesta en marcha luego de una detención.	Requieren de un eje hidráulico de 3 o más metros de desnivel.
	En las versiones de alta tasa, requieren de un gasto de recirculación que hay que bombear.

Ventajas	Desventajas
Biodiscos (contactores biológicos rotatorios)	
Bajos requerimientos de energía.	No son apropiados para poblaciones equivalentes grandes debido al tamaño máximo de los módulos, no permitiendo en consecuencia economías de escala y tornando complicada la operación y mantenimiento de las mismas.
No requieren de bombeo, recirculación ni elevación, ya que su pérdida de carga es mínima.	Tendencia a generar olores, especialmente en determinadas épocas del año en climas relativamente extremos.
No requieren de eje hidráulico significativo.	Determinados tipos de aguas servidas deben estar sujetos a tratamiento preliminar obligado, especialmente cuando contienen una cantidad apreciable de grasas y aceites.
Tienen mejor eficiencia que los biofiltros debido a la activación del lodo que se desprende de los discos.	Se pueden desequilibrar cuando los esfuerzos al eje no están simétricamente distribuidos a lo largo de la componente.
Lagunas aireadas	
Proceso simple y confiable.	Requerimiento de terreno mayor a alternativas convencionales como lodos activados.
Baja producción de lodos.	Altos requerimientos de energía a bajas condiciones de carga.
Buen grado de estabilización de lodos.	Necesidad de proporcionar energía para mezcla, que puede ser mayor a la requerida para remover DBO.
	Baja reducción de nutrientes.
	Necesidad de desinfección del efluente o lagunas facultativas posteriores.

Ventajas	Desventajas
Lombrifiltros	
Bajos costos de operación.	Requerimiento de alta superficies en tanto el sistema requiera mayor capacidad
Mantención muy simple.	No está en condiciones de recibir RILES con metales, tóxicos o pesados
Remoción de los principales parámetros orgánicos superiores al 90%.	
Los lodos producidos se constituyen en un subproducto que puede reutilizarse como mejorador de suelos o abono agrícola.	

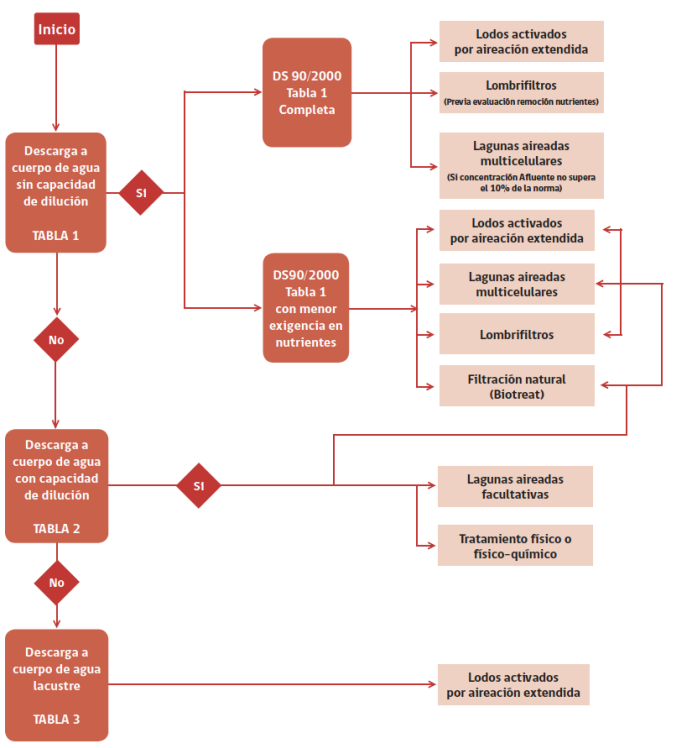
Ventajas	Desventajas
Tratamiento primario	
Mayor facilidad de puesta en marcha ante detenciones del sistema.	La concentración del efluente tratado depende directamente de la concentración del afluente, vale decir, a mayor concentración del afluente, mayor concentración en el efluente.
Proceso de operación más simple que las alternativas convencionales.	Genera lodos crudos, que deben ser estabilizados químicamente o por digestión aeróbica o anaeróbica (controlada continua y adecuadamente para evitar riesgos de inhibición de bacterias y potencial generación de olores ofensivos).
Proceso con bajo consumo de energía (no requiere de aeración).	Baja eficiencia de remoción de DBO, por lo que es aplicable ya sea para tratar aguas servidas domésticas diluidas con bajo aporte orgánico o cuando la normativa vigente permite descargar concentraciones más altas.
Proceso efectivo en la remoción de SST, fósforo y metales.	
Tratamiento primario químicamente asistido	
Mayor facilidad de puesta en marcha ante detenciones del sistema.	La concentración del efluente tratado depende directamente de la concentración del afluente, vale decir, a mayor concentración del afluente, mayor concentración en el efluente.
Operación más simple que las alternativas convencionales.	Genera lodos crudos, que deben ser estabilizados químicamente o por digestión aeróbica o anaeróbica (controlada continua y adecuadamente para evitar riesgos de inhibición de bacterias y potencial generación de olores ofensivos).
Proceso estable con bajo consumo de energía (no requiere de aireación).	Mayor cantidad de lodos generados en el CEPT que en el tratamiento primario debido a la adición de coagulante.
Efectivo en la remoción de SST, aceites y grasas, fósforo y metales.	Mayor dificultad para espesar y deshidratar los lodos que los provenientes de otras tecnologías de tratamiento.
Efectivo en la reducción de olores.	Baja eficiencia de remoción de DBO, por lo que es aplicable ya sea para tratar aguas servidas domésticas diluidas con bajo aporte orgánico o cuando la normativa vigente permite descargar concentraciones más altas de los parámetros de interés.

Resumen eficiencias de remoción de las tecnologías (P174):

Parámetro	% Remoción								
	LAMC	LAC-TIV	SED PRIM	CEPT	LAG FAC	Lombri-filtro	Humeda-les	Biofiltro	Biodis-co
DBO	50 - 60 80 - 90 (1)	90 - 95	20 - 25	40 - 50	70 - 80	75 - 90	80 - 90	70 - 90	70 - 90
Nitrógeno	10	15 - 30 (2) 70 - 95 (3)	5 - 10	10 - 15	40 - 50	60 - 70	50 - 70	10 -30	10 - 30
Fósforo	1	10 - 25 (4) 70 - 90 (5)	10 - 15	70 - 90	20 - 60	60 - 80	50 - 70	30 - 50	30 - 50
Sólidos suspendidos	80 - 90	90 - 95	50 - 70	60 - 90	60 - 80	80 - 90	70 - 90	80 - 90	80 - 90
Coliformes fecales	60 - 99	60 - 90	60 - 90	60 - 90	60 - 99	60 - 99	60 - 99	60 - 99	60 - 99

(1) Incluyendo laguna de sedimentación
(2) Tratamiento secundario convencional
(3) Incluyendo desnitrificación
(4) Tratamiento secundario convencional
(5) Incluyendo remoción combinada de N y P o remoción química de fósforo

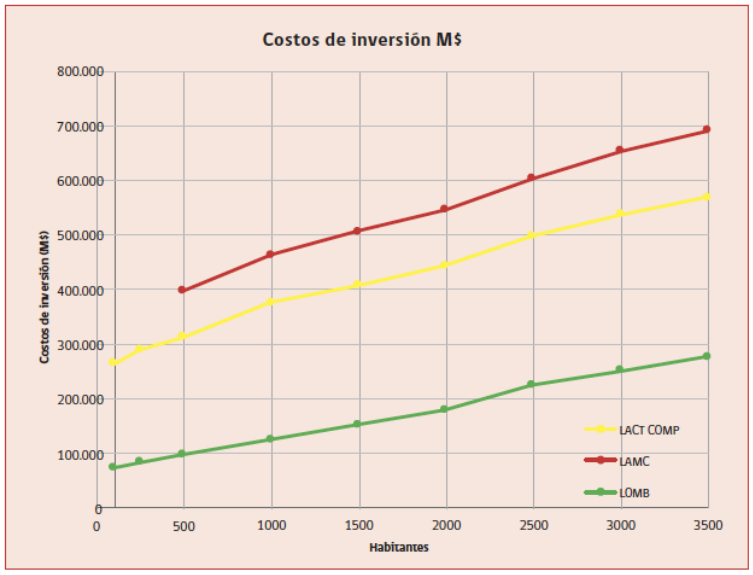
Diagrama de decisiones de selección de tecnologías de tratamiento de aguas servidas (P177):



Listado referencial de tecnologías y proveedores (P179):

Tecnología	Agua-sin	Ma-nantial	Infra-plast	Roth	Fi-bra	Strea-mwater	Biolfil-tro	Fund Chile
Fosas sépticas			X		X			
Humedales		X						X
Lombrifiltros							X	
Tratamiento primario								
Solo	X	X						
Químicamente asistido	X	X						
Biodiscos		X						
Biofiltros		X						
Lodos activados								
Compactas domiciliarias			X	X	X	X		
Compactas para localidades	X	X	X	X	X	X		
Cultivo mixto		X						
Otros								
Plantas elevadoras					X			
Tratamiento preliminar				X				
Medición caudal					X			
Estanques de desinfección					X			
Desodorización		X						
Ingeniería	X	X	X		X		X	X
Construcción y montaje	X	X			X		X	
Mantenimiento					X		X	

Costos de inversión PTAS (P184):



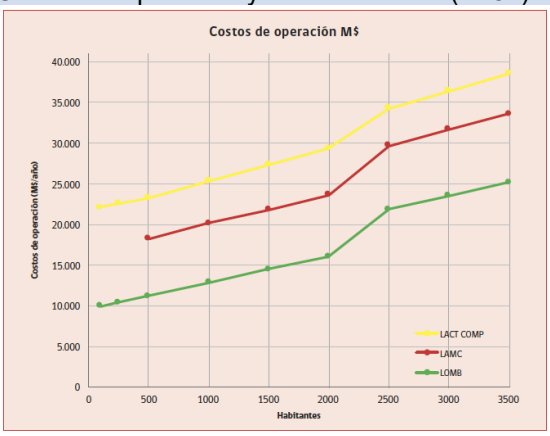
Costos referenciales de operación PTAS (P186):

Población	L Activados compacta	L Activados Concent.	L Aireada multiceluar	Lombrifiltro
habitantes	M$/año	M$/año	M$/año	M$/año
100	15.537	16.761		7.420
250	15.983	17.286		7.908
500	16.641	18.116	15.657	8.720
1000	18.795	20.219	17.543	10.341
1500	20.730	22.451	19.155	11.959
2000	22.757	24.563	20.993	13.579
2500	25.205	26.941	22.987	15.287
3000	27.336	28.864	24.919	16.916
3500	29.457	29.878	26.850	18.557

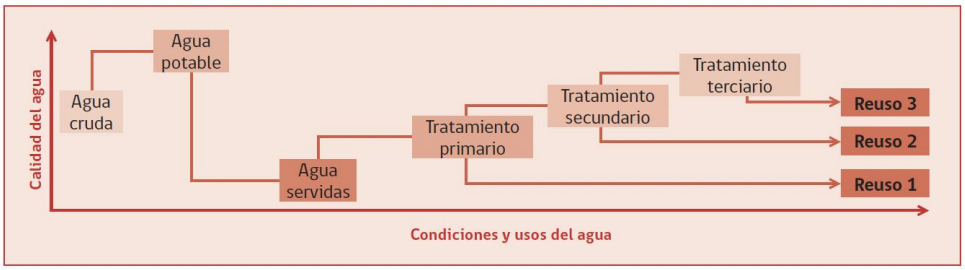
Costos de personal y/u operarios de las PTAS (P186):

Población	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Costos de personal [M$/año]									
Lact compacta	6.591	6.591	6.591	6.591	6.591	6.591	9.104	9.104	9.104
Lact concéntrica	6.591	6.591	6.591	6.591	6.591	6.591	9.104	9.104	9.104
Laguna aireada multic	0	0	2.513	2.513	2.513	2.513	6.591	6.591	6.591
Lombrifiltro	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	6.591	6.591	6.591

Costos de operación y mantenimiento (P187):



Ciclo sanitario para la reutilización de aguas servidas tratadas (P256):



	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Müller, A. B., Avellán, T., & Schanze, J. (2020). Risk and sustainability assessment framework for decision support in “water scarcity – water reuse” situations. *Journal of Hydrology, 591*, 125424. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125424
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios Aspectos Sociales Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Introducción (P2):** "El marco de evaluación integrada de riesgo y sostenibilidad (RSA) está diseñado para aplicarse de manera ex ante para apoyar decisiones relacionadas con si se debe implementar una medida... dado un riesgo medido o proyectado de escasez de agua y lo que se requeriría para hacerlo de manera sostenible" **Desarrollo del marco conceptual (P3):** "...la interpretación de una situación de 'escasez de agua – reutilización de agua' debe seguir un enfoque sistémico, en este caso como un sistema humano y natural acoplado (CHANS). De esta manera, el sistema debe considerar y describir las interrelaciones en forma de flujos de energía, materia e información" **3.3.1.2. Reutilización del agua desde una perspectiva de sostenibilidad (P10):** "Desde una perspectiva social, una medida sostenible puede asegurar las necesidades sociales... Aspectos sociales desafiantes como la percepción y la aceptación pueden abordarse a través del desarrollo de capacidades, el empoderamiento y la participación activa de la comunidad para ubicar las medidas donde sean más necesarias y aceptadas socialmente" "...tal evaluación es idealmente apoyada involucrando a los tomadores de decisiones y a los diferentes interesados para fomentar una generación e intercambio de información organizado y transparente... esto puede ayudar a generar confianza y aumentar la colaboración" "Desde una perspectiva económicamente sostenible, una (re-)valorización de los recursos hídricos y los posibles subproductos (ej. energía, nutrientes) resultantes de su tratamiento puede fomentar la eficiencia de los recursos a largo plazo" **3.3.2. Marco de evaluación integrada de riesgos y sostenibilidad (RSA) (P10):** "El resultado del marco integrado RSA es el nivel de riesgo de escasez de agua (o reducción del riesgo) y el nivel de sostenibilidad de las medidas... Esta información puede guiar al tomador de decisiones hacia la elección de la opción o conjunto de opciones de gestión que permitan minimizar el riesgo y maximizar la sostenibilidad en el contexto evaluado"

3.3.2.3. Análisis. La fase de análisis proporciona una comprensión de la situación de "escasez de agua – reutilización del agua" mediante la identificación de elementos, procesos y flujos, y la interpretación de sus interrelaciones (P12):
"La fase de análisis proporciona una comprensión de la situación... mediante la identificación de elementos, procesos y flujos, e interpretando sus interrelaciones... elementos de los sub-sistemas natural y humano: por ejemplo, usos de agua relevantes, actividades y procesos esenciales, y actores"

Resumen Compendio A1L1-G2 (P1):
Los tomadores de decisiones enfrentan grandes desafíos al intentar reducir los riesgos de escasez de agua de manera sostenible mediante medidas de reutilización. Uno de estos desafíos es la falta de interconexión entre la evaluación de riesgos de escasez de agua y la evaluación de la sostenibilidad para la reutilización de esta.

Para abordar esta problemática, se desarrolla un marco de integrativo denominado “RSA” (por sus siglas en inglés), que contempla una evaluación simultánea de la escasez de agua como riesgo y de la sostenibilidad de las medidas de reutilización de esta agua, considerando las dimensiones sociales, económicas y ambientales.

El marco se implementa a través de un enfoque de tres pasos:

1. Definir e interpretar la situación de “Escasez – Reutilización” del agua como un sistema humano y natural acoplado.
2. Identificar y definir conceptos clave relevantes para la evaluación de riesgos y sostenibilidad.
3. Construir de un marco integrado RSA para apoyar la toma de decisiones.

El resultado indica que la integración del riesgo y la sostenibilidad en una evaluación conjunta es conceptualmente factible. Por lo tanto, este enfoque facilita el camino hacia una operación metodológica, aplicación empírica integral y consistente.

El marco integrado RSA se centra en la cantidad de agua, omitiendo conscientemente la calidad de agua y los problemas de acceso que puedan estar presentes. Estas omisiones deberían ser objeto de atención en futuras investigaciones, sugiriendo su inclusión en este procedimiento de tres pasos. Se utiliza un enfoque cualitativo para el desarrollo del marco, con el potencial de análisis cuantitativos en investigaciones posteriores. Los objetivos más específicos pueden incluir aspectos que dependen del contexto, como limitaciones de recursos financieros y de tiempo, así como la capacidad disponible.

Además, el marco puede apuntar hacia el logro de resultados sinérgicos y la coordinación entre los sectores de suministro de agua y saneamiento. Estos intereses u objetivos específicos no socavan el interés principal, sino que pueden dar forma a la evaluación, destacando aspectos que requieren un análisis detallado y determinando criterios de evaluación.

Tópicos de Interés Compendio A1L1-G2 (P2):

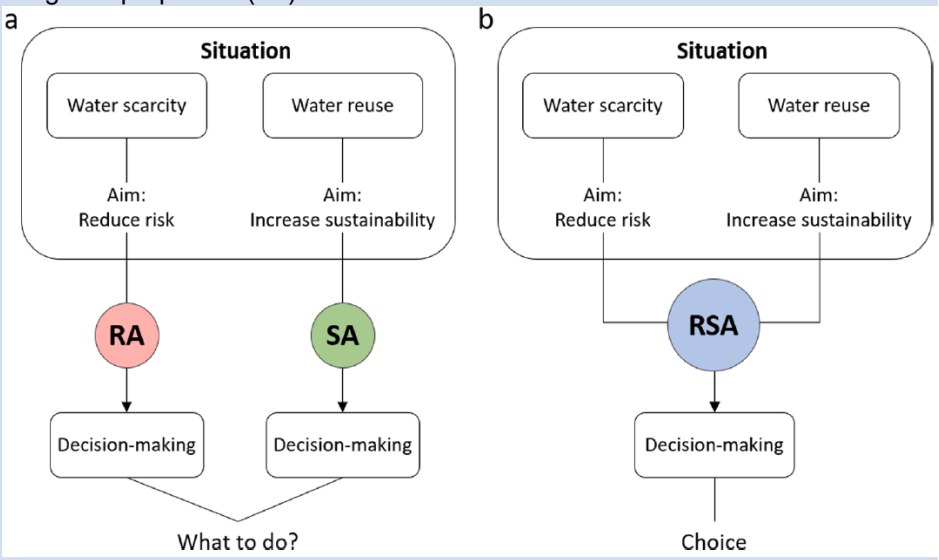
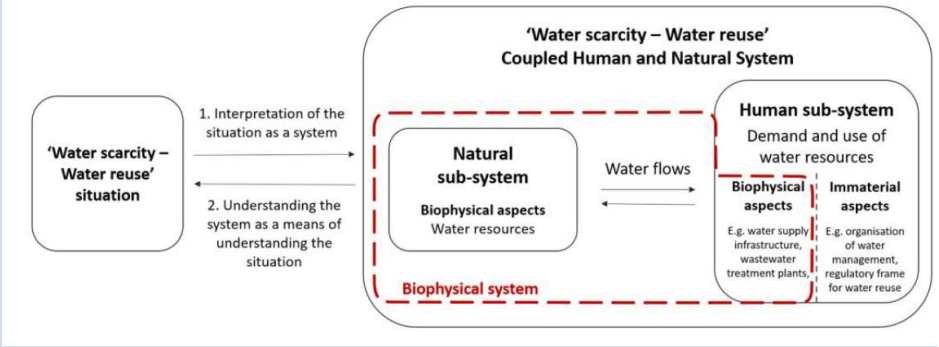
- ***Escasez de Agua (WS, siglas en inglés)***: se refiere a la falta de abundancia volumétrica de recursos de agua para consumo humano que deba satisfacer una demanda especifica. En otras palabras, no existe escasez si no hay una demanda humana que satisfacer.
- ***Escasez de Agua por un Riesgo Respectivo:*** demanda humana de agua expuesta al peligro de una disminución en las cantidades de agua disponible para uso humano. Probabilidad de no satisfacer la demanda humana de agua debido a una disminución en la cantidad de recursos hídricos para uso humano.
- ***Estrés Hídrico:*** falta de disponibilidad neta de agua para uso humano. Considerando cantidad, calidad y accesibilidad del agua.
- ***Reutilización de Agua (WR, siglas en inglés):*** consiste en el proceso de reutilizar aguas residuales domésticas tratadas, cumpliendo con requisitos específicos que aseguran que el agua resultante satisfaga características de calidad adecuadas para usos beneficiosos.
- ***Evaluación de Sostenibilidad (SA, siglas en inglés):*** un medio de orientar la planificación y la toma de decisiones hacia el desarrollo sostenible, implicando conciliar el desarrollo humano con la conservación del medio ambiente, buscando mejorar la calidad de vida humana. Se fundamenta en tres pilares: dimensión social, económica y ambiental.
- ***Evaluación de Riesgos (RA, siglas en inglés):*** determina las respuestas probables ante la exposición a un peligro, para explorar formas de reducirlo. Se basa en dos tareas principales: Análisis de Riesgo y la Evaluación de Riesgo.
- ***Toma de decisiones:*** la toma de decisiones puede categorizarse como una secuencia de pasos con retroalimentaciones cíclicas que conducen a una decisión.
- ***Evaluación de Riesgos y Sostenibilidad (RSA, siglas en inglés)***: es un marco integrado que proporciona un enfoque estructurado y premeditado para abordar simultáneamente el riesgo y la sostenibilidad desde el inicio. Este enfoque respalda decisiones sobre la implementación de medidas de reutilización del agua, considerando un riesgo medido o proyectado de escasez de agua como las estrategias necesarias para llevar a cabo dichas medidas de manera sostenible.

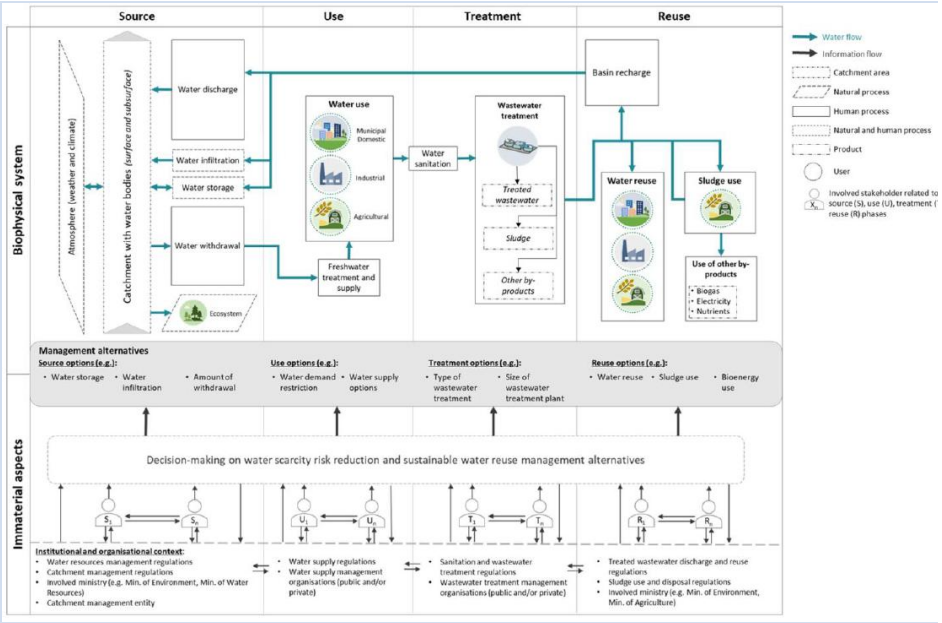
Análisis Compendio A1L1-G2 (P3):

La representación de la situación de “Escasez – Reutilización” del agua como un sistema integrado facilita el análisis del riesgo al subrayar los elementos expuestos y vulnerables del sistema. La visualización de este sistema puede servir como un mapa mental, apoyando el análisis de los componentes conceptuales de su riesgo y facilitando la comprensión de las implicaciones de una situación de escasez de agua.

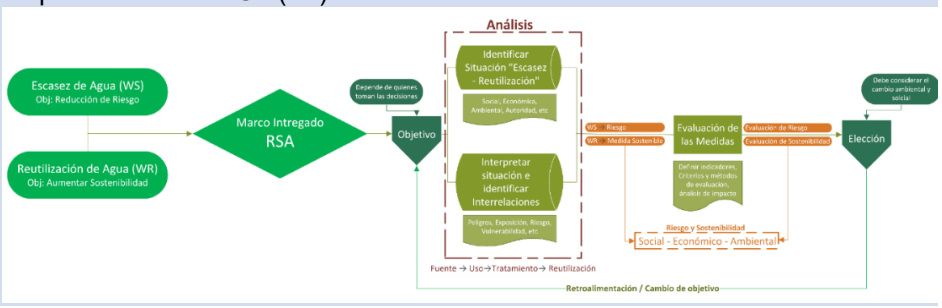
Desde una perspectiva de sostenibilidad, la reutilización del agua se centra en las características que deben tener las medidas de reutilización para ser efectivas, haciendo hincapié en la cantidad de suministro de agua. La contribución de la reutilización del agua a la sostenibilidad ambiental se basa en reducir la demanda de recursos de agua dulce, proporcionando usos adicionales del agua ya “usada”. Esto ayuda a mitigar el agotamiento de los recursos hídricos y, por lo tanto, apoya la protección, conservación y mejora de la capacidad del medio ambiente para sustentar las necesidades humanas.

	Sin embargo, el riesgo de escasez de agua afecta la viabilidad de implementar medidas de reutilización. Si la escasez es grave, existe la posibilidad de que no se disponga de una cantidad suficiente de aguas residuales para su reutilización. En situaciones de escasez menos severa, aún persiste el riesgo de concentrar contaminantes en las aguas residuales, lo que puede dificultar el rendimiento de los sistemas de tratamiento y aumentar los costos asociados. Estas cuestiones representan desafíos significativos para las medidas de reutilización del agua como una estrategia sostenible para reducir el riesgo de escasez. Bajo este marco integrativo, en un contexto de grave escasez de agua que dificulta una implementación sostenible de la reutilización del agua, quienes toman las decisiones deberían evaluar otras alternativas para hacer frente a esta problemática, como la desalinización o la transferencia entre cuencas. Se sugiere que los indicadores relacionados con la calidad del agua en el contexto de la reutilización también se incluyan en la evaluación de la sostenibilidad, ya que son relevantes para una implementación exitosa. En consecuencia, una mejora del marco dirigiría la atención de los tomadores de decisiones hacia aspectos de particular relevancia para la reutilización del agua. El marco integrado RSA interpresa las intenciones más que el conocimiento de hechos concretos. Ofrece un primer enfoque de integración conceptual de la evaluación de riesgos y sostenibilidad para la toma de decisiones en situaciones de “Escasez – Reutilización” del agua, con el fin de proporcionar una estructura que enmarque el trabajo empírico que fomentará el cumplimiento de las políticas internaciones sobre la gestión de la escasez de agua. El resultado para la toma de decisiones puede verse como una fuente unificada de información que ofrece una visión integral de la situación. **Redacciones propias:** Aborda el saneamiento no solo desde una perspectiva técnica, sino también social, económica y ambiental. En el contexto de los SSR en Chile, donde muchas soluciones fracasan por problemas de gestión más que por diseño, este estudio refuerza la necesidad de adoptar modelos integrados que consideren la participación ciudadana, la capacidad institucional y la sostenibilidad a largo plazo. Además, valida que las soluciones descentralizadas son más adecuadas en territorios de baja densidad, pero advierte que su éxito depende de factores como la operación, mantenimiento y apropiación por parte de los usuarios.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** el análisis técnico con una mirada sistémica, justificando que la planificación del saneamiento rural debe ir más allá de la infraestructura, incorporando gobernanza, educación y gestión local.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Presentación de una situación de «escasez de agua – reutilización del agua» considerando (a) la toma de decisiones independiente o (b) el enfoque integrado propuesto (P3):  Abordar la situación de "escasez de agua y reutilización del agua" como un sistema acoplado humano-natural (P4):  Representación de la situación de escasez de agua y reutilización del agua mediante un modelo CHANS simplificado (P5):



Mapa Mental A1L1-G2 (P4):



	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Shiu, H.-Y., Lee, M., & Chiueh, P.-T. (2017). Water reclamation and sludge recycling scenarios for sustainable resource management in a wastewater treatment plant in Kinmen Islands, Taiwan. *Journal of Cleaner Production, 152*, 369–378. **https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.110**
Palabras claves:	Reutilización de Aguas Servidas Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Introducción (P369 y 370):** "Las aguas residuales domésticas se ven ahora más como un recurso que como un residuo. Ofrece oportunidades para recuperar agua, energía y nutrientes fertilizantes en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)" . "La recuperación de aguas residuales también se considera un enfoque importante y atractivo para la gestión eficaz y sostenible del recurso hídrico" "...los sistemas descentralizados (es decir, sistemas de tratamiento in situ) son generalmente preferibles a los centralizados" "A través de la reutilización de aguas residuales, se puede conservar energía de forma indirecta en la producción de agua potable... Además, reduce la necesidad de explorar fuentes de agua con alto consumo energético... y los impactos asociados con el uso de agua dulce" "La recuperación [de agua] demostró ser un enfoque preferible para aumentar el suministro de agua existente en áreas que dependen principalmente del bombeo de agua subterránea" "La reutilización del agua recuperada para aplicaciones agrícolas se consideró el enfoque más respetuoso con el medio ambiente" "Se podrían lograr ventajas ambientales significativas al reutilizar el agua residual recuperada para aplicaciones agrícolas (reducción del 27,8% en el potencial de eutrofización)" "El uso productivo de los lodos, como la aplicación agrícola (es decir, servir como fertilizantes), se reportó para mejorar el desempeño ambiental" "Los beneficios económicos del reciclaje de lodos para aplicaciones agrícolas también lo convirtieron en una opción atractiva para la gestión de lodos" **Conclusiones (P376):** "Los resultados mostraron que los requisitos de energía (principalmente el consumo de electricidad) para el tratamiento de agua y lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales tenían el impacto más notable, llegando al 98,6%" "El consumo de electricidad es el elemento clave en el desempeño ambiental general de la PTAR" **Resumen Compendio A1L1-G2 (P5):**

En Islas Kinmen, Taiwán, donde la agricultura y la industria del vino son actividades económicas clave. La escasez de agua y la eutrofización son preocupaciones importantes, lo que hace necesario explorar alternativas para la reutilización de agua y la gestión de lodos. Se busca evaluar diferentes estrategias de gestión de agua y lodos para identificar prácticas que minimicen los impactos ambientales y maximicen los beneficios.

El estudio se centra en la gestión sostenible de recursos hídricos y la reutilización de lodos. Este contexto es relevante debido a la creciente presión sobre los recursos hídricos y la necesidad de implementar prácticas sostenibles en la gestión del agua y los residuos. El estudio propone cuatro estrategias de gestión del agua y de residuos en la planta de tratamiento de aguas residuales más grande de las islas (WWTP) de Jincheng, ubicada en las Islas Kinmen, Taiwán. Empleando la evaluación del ciclo de vida (ACV) para cuantificar los impactos ambientales de cada estrategia, destacando la importancia de la sostenibilidad en la gestión de recursos hídricos.

Una de las estrategias más efectivas es la reutilización de aguas residuales para la agricultura, que se traduce en una reducción del potencial de eutrofización en un 27.8%. Además, la incineración de lodos reciclados se presenta como una opción viable, generando energía y reduciendo la cantidad de residuos.

El estudio también sugiere que la mejora en la mezcla eléctrica futura podría disminuir los impactos ambientales en un 15.36% en promedio, lo que resalta la necesidad de integrar tecnologías más limpias y eficientes en la gestión del agua y los residuos. En conjunto, estas estrategias ofrecen un enfoque integral para abordar los desafíos ambientales en las islas Kinmen.

Tópicos de Interés Compendio A1L1-G2 (P6):
•La Gestión de Lodos mediante la valorización de lodos, incluyendo incineración y su uso como combustible.
•Análisis del consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de reutilización de agua.
•Desarrollo Sostenible en Islas - Enfoques para la gestión de recursos en pequeños estados insulares en desarrollo.
•Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) es la Herramienta para analizar el impacto ambiental de diferentes alternativas de tratamiento de aguas residuales.
•La reutilización de aguas residuales para la agricultura redujo el potencial de eutrofización en un 27.8%.
•La incineración de lodos reciclados mostró beneficios significativos en la generación de energía.
•La mejora en la mezcla eléctrica futura podría reducir los impactos ambientales en un 15.36% en promedio.
•Reutilización de aguas residuales: La reutilización para la agricultura mostró una reducción significativa del potencial de eutrofización.
•La incineración de lodos no solo ayuda a reducir residuos, sino que también genera energía, lo que contribuye a la sostenibilidad.
•Se identificó que una futura mejora en la mezcla eléctrica podría reducir los impactos ambientales en un 15.36%.

El análisis de cada escenario en el estudio se centra en los impactos ambientales y beneficios asociados con la gestión de agua y lodos en la planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP) de Jincheng. A continuación, se presenta un resumen del análisis para cada escenario:

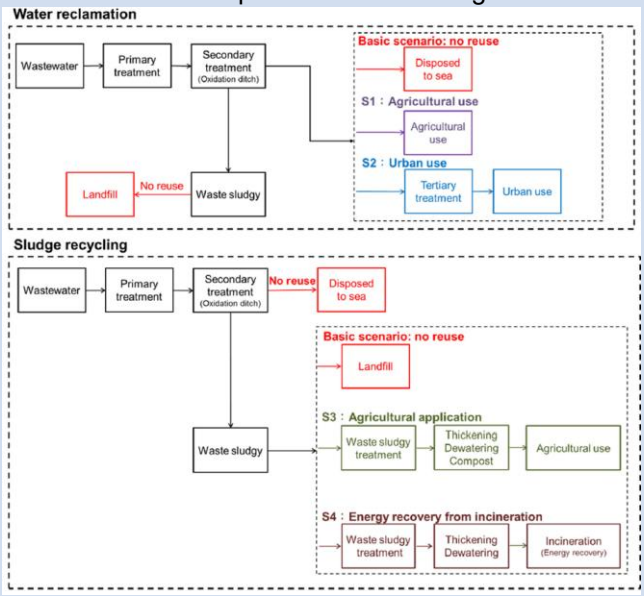
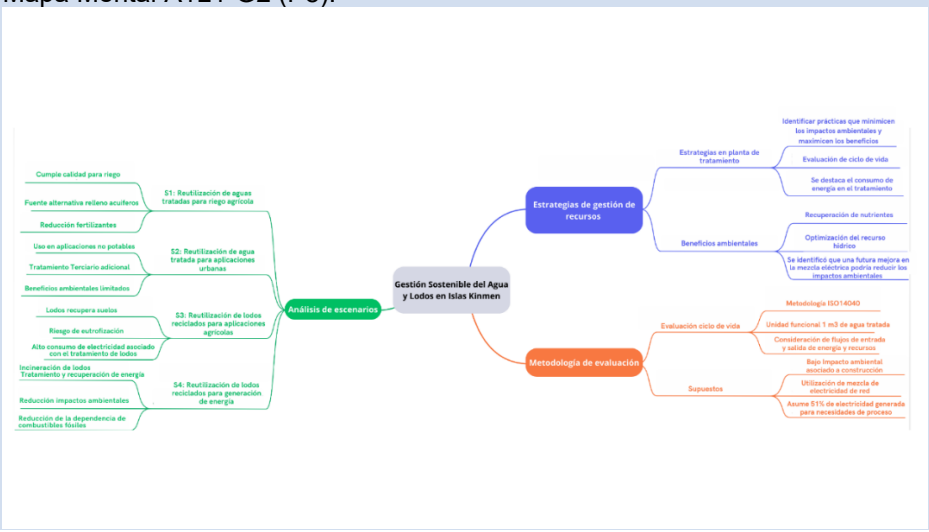
Análisis Compendio A1L1-G2 (P7):
Escenario 1 - Reutilización de agua para aplicaciones agrícolas: Se utilizó el efluente secundario directamente para riego, lo que permitió recuperar nutrientes (nitrógeno y fósforo) y reducir el impacto de eutrofización en un 27.8%. **Beneficios**: La reutilización de agua tratada para riego agrícola puede reducir la eutrofización en un 27.8% al recuperar nutrientes (nitrógeno y fósforo) que de otro modo se perderían. **Impactos**: Aunque se requiere un tratamiento terciario, los beneficios ambientales superan los impactos asociados con este tratamiento.

Escenario 2 - Reutilización de agua para usos urbanos: Similar al escenario 1, pero el agua tratada se destina a usos urbanos. Los impactos ambientales se compararon con el escenario básico donde el agua tratada se descarga al mar. **Beneficios**: La reutilización de agua para usos urbanos también presenta beneficios, pero estos son significativamente menores en comparación con el uso agrícola. **Impactos**: La adición de tratamiento terciario para la reutilización urbana genera impactos ambientales similares a los del tratamiento de agua potable, resultando en beneficios ambientales muy limitados (aproximadamente 0.02%).

Escenario 3 - Reutilización de lodos reciclados para aplicaciones agrícolas: Los lodos tratados se reutilizan en aplicaciones agrícolas, lo que reduce la necesidad de fertilizantes químicos y mejora la sostenibilidad. **Impactos**: Este escenario mostró un aumento significativo en los impactos ambientales, siendo 6.53 veces más que en el escenario básico. Esto se debe principalmente al alto consumo de electricidad asociado con el tratamiento de lodos (espesamiento, deshidratación y compostaje).

Escenario 4 - Reutilización de lodos reciclados para generación de energía: Los lodos se incineran para generar energía, lo que contribuye a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y mejora el balance energético de la planta. **Beneficios**: La generación de energía a partir de lodos reciclados se considera más favorable que su uso en aplicaciones de tierra, ya que puede neutralizar los impactos ambientales. **Impactos**: Aunque la reutilización de lodos en el suelo puede contribuir a la eutrofización debido al exceso de nutrientes, la generación de energía presenta una reducción más significativa en el potencial de calentamiento global.

Redacciones propias:
En general, el análisis muestra que la reutilización de agua para la agricultura es la opción más beneficiosa, mientras que la reutilización de lodos para la generación de energía también ofrece ventajas significativas en comparación con su uso en aplicaciones agrícolas. El estudio resalta la importancia de implementar estrategias sostenibles en la gestión de recursos hídricos y residuos, especialmente en áreas vulnerables como las islas Kinmen.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir**	**Orientar:** guía para la formulación de políticas y la mejora de la infraestructura ambiental en regiones similares
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Límites del sistema para escenarios de gestión sostenible de recursos (P371):  Mapa Mental A1L1-G2 (P8): 

	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	**Almuktar, S. A. A. A. N., Abed, S. N., & Scholz, M. (2018). Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: A review. Environmental Science and Pollution Research, 25(9), 23595–23623. https://doi.org/10.1007/s11356-018-2629-3**
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P23595):** "Debido a los desafíos de la escasez de agua en todo el mundo, es esencial pensar en recursos hídricos no convencionales para abordar el aumento de la demanda de agua dulce limpia" "Pueden surgir problemas ambientales y de salud pública debido a una provisión insuficiente de instalaciones de saneamiento y eliminación de aguas residuales" **Tecnologías aplicadas en el tratamiento y reutilización de aguas residuales para riego (P23600):** "Una combinación de sistemas de alta tecnología para el tratamiento de aguas residuales parece inapropiada, ya que a menudo es económicamente inviable" "Existe una gran necesidad de desarrollar técnicas de tratamiento y reutilización de aguas residuales adecuadas, económicas y rápidas en lugar de sistemas de tratamiento tradicionales y costosos" **Vegetación de humedales artificiales (P23605):** "La aplicación de aguas residuales tratadas para el riego agrícola tiene mucho potencial, especialmente cuando se incorpora la reutilización de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, que son esenciales para la producción vegetal" "El uso de agua regenerada de sistemas de humedales construidos puede representar una fuente de agua importante para la reutilización del riego en zonas rurales sujetas a escasez de agua, con importantes beneficios ambientales y económicos" **Observaciones finales (P23617):** "Los humedales construidos requieren un aporte de energía muy bajo o nulo y, por lo tanto, los costos de operación y mantenimiento son mucho más bajos en comparación con los sistemas de tratamiento convencionales" "Entre las tecnologías de tratamiento actuales... se concluyó que los humedales son una de las más adecuadas en términos de eliminación de contaminantes y tienen ventajas debido tanto a los bajos costos de mantenimiento como a la energía requerida" "El comportamiento y la eficiencia de los humedales en relación con el tratamiento de aguas residuales están vinculados principalmente a la composición de las macrófitas, el sustrato, la hidrología, la tasa de carga superficial, el modo de alimentación del afluente, la disponibilidad de microorganismos y la temperatura" "Las características de las aguas residuales deciden sobre la clase de humedal (diseño) que se utilizará para el tratamiento"

"Además del tratamiento, los humedales construidos a menudo se diseñan como ecosistemas de doble propósito o multipropósito, que pueden proporcionar otros servicios ecosistémicos como el control de inundaciones, el secuestro de carbono o el hábitat de la vida silvestre"

Resumen Compendio A1L1-G2 (P9):
El artículo analiza el desafío de la escasez de agua y se centra en tratar las aguas residuales mediante humedales artificiales, y posteriormente reutilizarlo para diversos fines, pero principalmente para riego, además de las características y diseño de los sistemas de humedales y su eficiencia en el tratamiento de aguas servidas para su posterior reutilización con los fines indicados.

Los humedales artificiales son una de las tecnologías aplicadas para el uso de agua servida tratada en riego. La función de purificación de un humedal artificial involucra interconexiones de varias plantas de humedales, suelos y organismos microbianos que apoyan el tratamiento de aguas residuales. El desempeño de un humedal artificial, en cuanto al tratamiento de aguas residuales, depende de la naturaleza, diseño, tipo de planta, actividad microbiana y las condiciones climáticas locales.

La clasificación de los humedales artificiales depende de tres factores principales: el nivel del agua en el sistema, que como consecuencia clasifica el humedal artificial como flujo en superficie libre o flujo subsuperficial; macrófitos; y la dirección del agua en el sistema. Respecto a los humedales artificiales de flujo subsuperficial, se pueden clasificar en humedales de flujo vertical, horizontal e híbridos.

Para el diseño y operación sustentable de un humedal artificial, es importante considerar los antecedentes sobre la vegetación (macrófitos) que va a componer el humedal, dada las características de estos, su tolerancia y capacidad de eliminación de contaminantes, son considerados un elemento importante en el diseño. Es necesario revisar los sustratos que puede tener un humedal, así como también los microrganismos que deben estar presentes.

Respecto a los parámetros operacionales a considerar, los más importantes tienen que ver con el tiempo de retención hidráulica y la tasa de carga superficial del afluente. También es importante revisar la profundidad de inundación del humedal, así como también su modo de alimentación. Finalmente se debe considera el impacto de los factores medioambientales en el comportamiento de los humedales artificiales como el pH de las aguas residuales, la temperatura y la disponibilidad de oxígeno.

Los humedales artificiales tienen muy bajos costos de operación y mantenimiento, incluida la energía de bombeo si se requiere, el mantenimiento de caminos de acceso y bermas, mantenimiento previo al tratamiento (incluida limpieza periódica de cámaras de reja y vaciado de tanques sépticos y desarenadores), recolección de vegetación si corresponde, y reemplazo y reparación de equipos. Lo anterior hace atractivo el uso de humedales artificiales por sobre las plantas de tratamiento convencionales.

El reciclaje de las aguas residuales para riego utilizando humedales artificiales es una alternativa disponible para suplir la escasez de recursos hídricos al reincorporar nutrientes para la producción de plantas, por el gran potencial que tiene para eliminar contaminantes y por los bajos costos de mantenimiento y

por la baja cantidad de energía requerida, si fuera necesario considerar algún elemento de elevación mecánica.

Tópicos de Interés Compendio A1L1-G2 (P10):

- La reutilización de aguas servidas tratadas es importante para abordar la escasez de agua y mejorar la producción agrícola mediante el uso de las aguas tratadas para riego.
- Los humedales artificiales para tratamiento de aguas servidas mejoran el tratamiento de aguas residuales y son adecuados para riego.
- Los Humedales artificiales se pueden clasificar en humedales de flujo en superficie libre y de flujo subsuperficial, los cuales a su vez existen de flujo vertical, de flujo horizontal y sistemas híbridos de humedales artificiales con ambos tipos de flujos.
- Factores como la presencia de macrófitos, sustratos, profundidad del agua, tasa de retención hidráulica, tasa de carga superficial, afluente, modo de alimentación, disponibilidad de microorganismos, pH del agua y temperatura, afectan la eficiencia del tratamiento.
- Los humedales artificiales requieren un aporte de energía muy bajo o nulo, y por lo tanto, los costos de operación y mantenimiento son mucho menores en comparación con los sistemas de tratamiento convencionales.

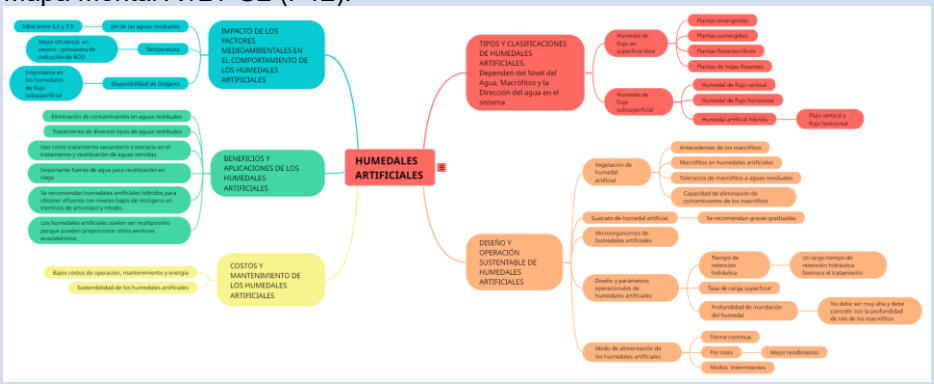
Análisis Compendio A1L1-G2 (P11):

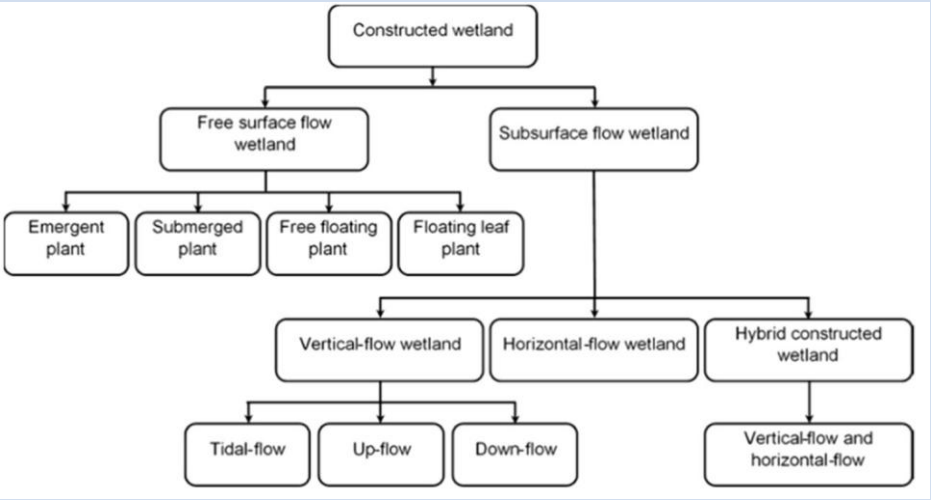
Para los componentes de un humedal artificial, es importante revisar el uso de especies macrófitos adecuadas, para lograr una mejor eficiencia en el tratamiento de las aguas servidas se debe revisar su tolerancia a los contaminantes presentes y la capacidad de eliminación de contaminantes, locales, tolerantes a inundaciones y que vivan más de 2 años o crezcan en estaciones diferentes para mejorar la sostenibilidad de los humedales.

Los sustratos de los humedales artificiales, de preferencia deben ser grava graduada, en conjunto con materiales como tierra y/o compost para poder entregar el primer soporte a las plantas, además que pueden eliminar contaminantes mejorando la calidad del efluente para cumplir con estándares de agua para riego. También se destaca la importancia de los microrganismos de los humedales artificiales, que colaboran en la eliminación de contaminantes de las aguas servidas durante procesos biológicos y físicos, transformaciones químicas y la absorción de los macrófitos.

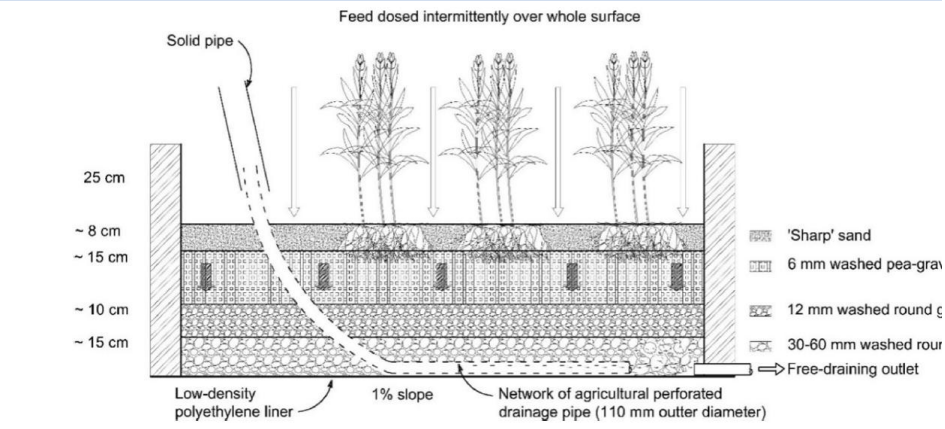
En cuanto a la tasa de carga superficial, es muy difícil de controlar dada la variabilidad de caudales de entrada en los humedales artificiales, además de la variación de la composición, el aumento del flujo produce un aumento de la tasa que produce una disminución en el tiempo de retención hidráulica, que a su vez es un factor importante que afecta la eficiencia del tratamiento de los humedales artificiales, dado que a mayor tiempo de contacto entre contaminantes y biomasa.

Ahora si revisamos los factores medioambientales, respecto a la temperatura se concluye rápidamente que la reducción de BOD, nitrógeno amonio y fósforo es más eficiente en verano. También es importante considerar la disponibilidad de oxígeno en los humedales de flujo subterráneo, ya que controla la nitrificación y la aeróbica degradación de la materia grasa. Finalmente, el pH de las aguas residuales también es relevante en el proceso de degradación

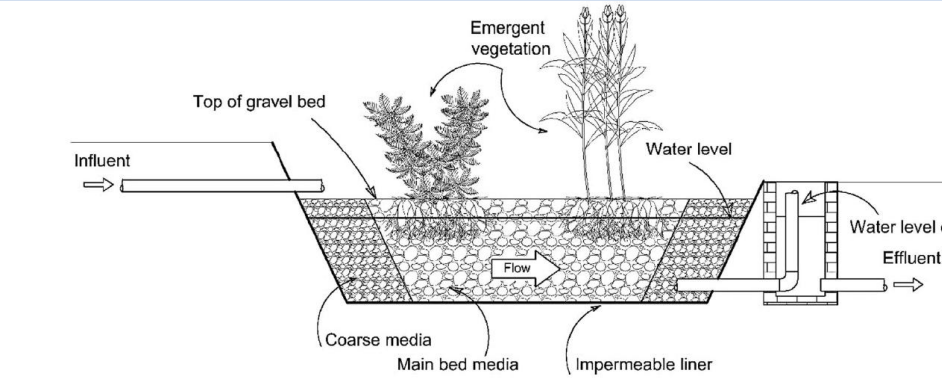
	anaeróbica de la materia orgánica y dada la sensibilidad de las bacterias, estas solo pueden sobrevivir a valores de pH entre 6,5 y 7,5. **Redacciones propias:** En el artículo se presentan los resultados de mediciones realizadas en algunas localidades donde se usan humedales artificiales (con distintas dimensiones) para tratar tipos de aguas servidas domésticas con diferentes fines de uso. Los resultados indican que, dependiendo del tiempo de retención hidráulica del humedal y de los macrófitos utilizados, la reducción de la BOD, Nitrógeno total, Sólidos suspendidos y coliformes fecales pueden alcanzar a un 67%, 74%, 8%, 78% y 93 a 99% respectivamente. Por lo tanto, es importante conocer las características de aguas servidas a tratar para poder determinar el mejor diseño del humedal artificial para lograr los mejores resultados en el tratamiento y cumplir con los estándares que se requieran para su reutilización. El uso de sistemas de humedales híbridos mejora la eliminación de patógenos del efluente, ya que los humedales de una sola etapa no pueden satisfacer las normas para la reutilización del agua tratada en riego.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Mapa Mental A1L1-G2 (P12):  Clasificación de los humedales artificiales (P23602):



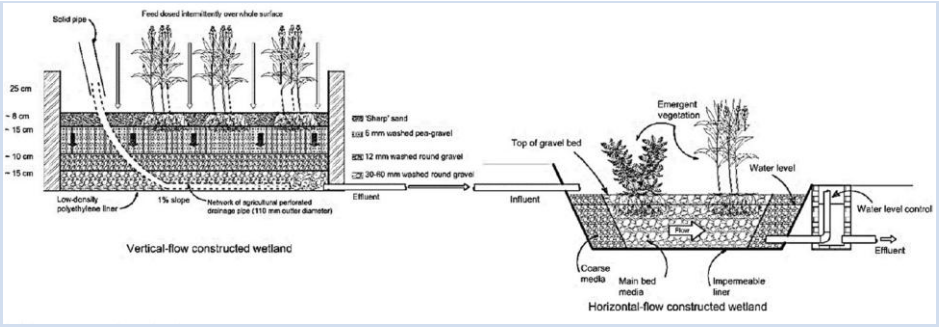
Disposición típica de un humedal artificial de flujo vertical que permite una alta proporción de agua de salida por superficie terrestre, lo que beneficia al sector agrícola (P23604):



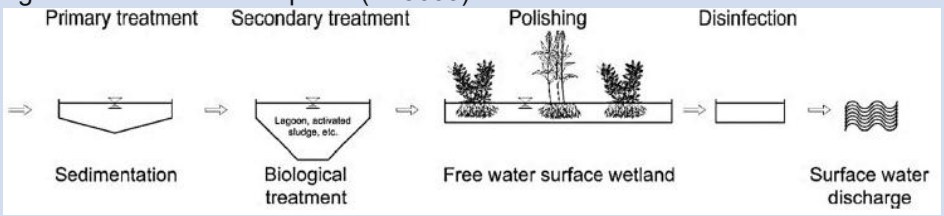
Esquema de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, que tiene altos costos de capital, lo que lo hace menos atractivo para el sector agrícola (P23605):



Disposición de un humedal artificial híbrido (P23604):



Aplicación típica de un humedal de flujo superficial libre para el tratamiento de aguas residuales municipales (P23605):



	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. (2013). Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón (Edición 2013). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135609/SGAPDS-3-13.pdf
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento Tratamiento descentralizado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Contexto de saneamiento rural** "Es necesario contar con más alternativas de procesos de tratamiento de bajo costo de inversión, operación y mantenimiento, lo que permitirá ampliar la cobertura del servicio... en pequeñas comunidades" “En pequeñas localidades… la descarga… causa malos olores y la presencia de vectores dañinos.” “La descarga a cuerpos de agua naturales… es potencialmente una fuente de enfermedades gastrointestinales.” **Enfoque tecnológico** “Se presentan alternativas de tratamiento de aguas residuales de bajo costo y tecnología simplificada… para pequeñas comunidades.” "De los dos procesos que se analizaron... el más sencillo es el de las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar, que puede emplearse como un complemento del sistema para tratar efluentes" "Ambos procesos son de fácil operación y control y, en alto porcentaje, pueden ser construidos con materiales y equipos del país" "Los trabajos de extracción de lodos serán realizados por técnicos muy hábiles (capacitados) para este tipo de trabajos... la persona que realice este trabajo tiene que ser una persona que realmente esté acostumbrada a una planta del tipo Doyoo Yookasoo" “El proceso Doyoo Yookasoo… permite obtener efluentes de alta calidad y simplifica la operación.” "Para caudales mayores el sistema de tratamiento crece modularmente en paralelo" "El número de unidades que conforman el arreglo... puede modificarse según la forma geométrica del predio disponible para el que se diseñará la planta" "Como una medida para la operación intermitente de la unidad, es recomendable contar con una zanja de reserva que permita alternar su operación, para restaurar la capacidad de infiltración" **Sobre soluciones basadas en suelo** “El método… consiste en promover el contacto entre el agua residual y la capa superficial del suelo… para degradar la materia orgánica.” “El suelo es considerado como una comunidad viviente más que como un cuerpo inerte.” “La capacidad de remoción… depende de la capacidad ecológica del suelo.” "Debido a su gran efecto deodorizador, puede ser instalado cerca de las casas habitación" "El paisaje se funde con el entorno de un jardín, de modo que no se distingue como una planta de tratamiento... la superficie que queda en la parte superior... es aprovechada para formar áreas verdes o jardines"

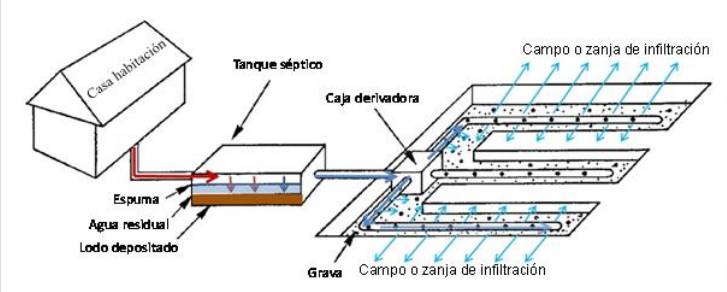
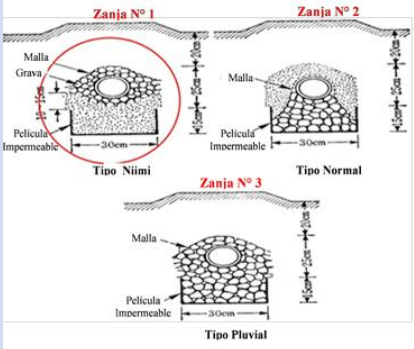
"La materia orgánica de las aguas residuales se descompone al entrar en contacto con los microorganismos del suelo, los que abundan dentro de la capa superficial del suelo y que cubre los primeros 30 cm de éste"
"En este proceso [Doyoo Yookasoo] se pueden alcanzar eficiencias globales de remoción superiores al 90% de DBO y SST"
"La remoción del nitrógeno total (NT) es difícil, la remoción en una zanja normal se estima en 50%"

Operación y sostenibilidad
“Ambos procesos… pueden ser implementados para mejorar el saneamiento de pequeñas comunidades.”
“El reto más grande… es la obstrucción, por lo que se recomienda operación alternada.”
“La vegetación mejora el funcionamiento del sistema y contribuye al efecto sanitario.”

Limpieza de la instalación (P164):
Una planta de tratamiento de aguas negras, por su naturaleza de tratamiento de materias sucias, tiende a ser considerada como una instalación no higiénica, sobre todo, por las personas externas. Especialmente en el momento de la limpieza, tenemos que tomar en cuenta esta percepción que tienen los vecinos. De todos los trabajos de la planta de tratamiento de aguas negras, la limpieza del tanque, que incluye la extracción de lodos es el más importante. El contenido específico de los trabajos difiere dependiendo de la escala de la planta de tratamiento. De todos modos, la persona que realice este trabajo tiene que ser una persona que realmente esté acostumbrada a una planta del tipo Doyoo Yookasoo. Los trabajos de extracción de lodos serán realizados por técnicos muy hábiles (capacitados) para este tipo de trabajos. Veremos con mayor detalle los trabajos de extracción de lodos, más adelante.
1. Contrato de prestación de servicios
2. Informe
3. Asesoría en el control
4. Informe sobre el estado de control
5. Indicación y supervisión del contenido de trabajo
6. Informe del trabajo

Operación y mantenimiento (P164):
a. Objeto de tratamiento: aguas residuales domésticas y municipales.
b. Método de tratamiento:
·Método sedimentador con recubrimiento de suelo.
·Método de aireación por contacto con recubrimiento de suelo.
·Los lodos serán almacenados en el tanque de almacenamiento, después deshidratados y transportados al sitio de disposición.
c. Caudal de agua residual sujeta a tratamiento.
d. Calidad de aguas influente y efluente.

Redacciones propias:
El saneamiento en zonas rurales presenta importantes brechas asociadas a la dispersión territorial, limitaciones económicas y baja cobertura de infraestructura, lo que deriva en prácticas inadecuadas de disposición de aguas residuales y riesgos sanitarios. En este contexto, surge la necesidad de implementar tecnologías de tratamiento de bajo costo, fácil operación y adaptadas a pequeñas comunidades. Experiencias como las desarrolladas en Japón demuestran que soluciones descentralizadas, como las zanjas de infiltración y sistemas biológicos simplificados, permiten mejorar significativamente la calidad del efluente, aprovechando procesos naturales

	como la actividad microbiológica del suelo. Estas tecnologías no solo reducen la carga contaminante, sino que también presentan ventajas en términos de sostenibilidad, integración paisajística y menor requerimiento operativo, posicionándose como alternativas viables para fortalecer el saneamiento rural y promover el reúso del agua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Mostrar alternativas tecnológicas concretas para saneamiento en pequeñas comunidades. **Avalar:** La necesidad de implementar tecnologías de bajo costo en zonas rurales.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Sistema de tratamiento a base de zanjas de infiltración o de lixiviación capilar Tipo Niimi (P5):  Estructura de las zanjas de infiltración (P5): 

Representación esquemática (P15):

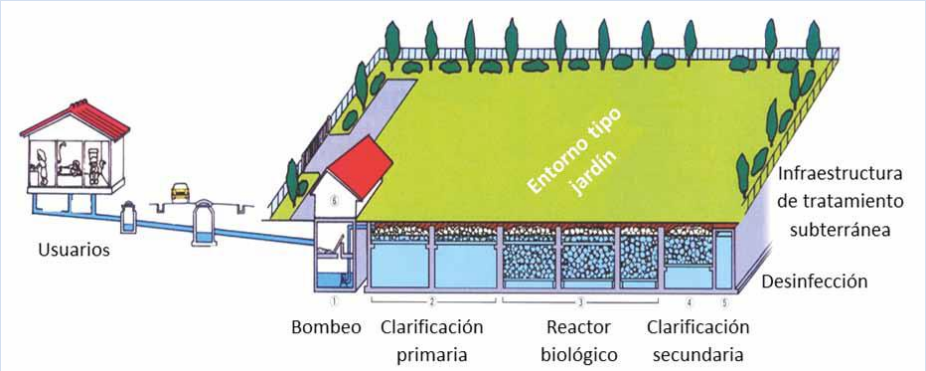


Diagrama general del Proceso (P15):

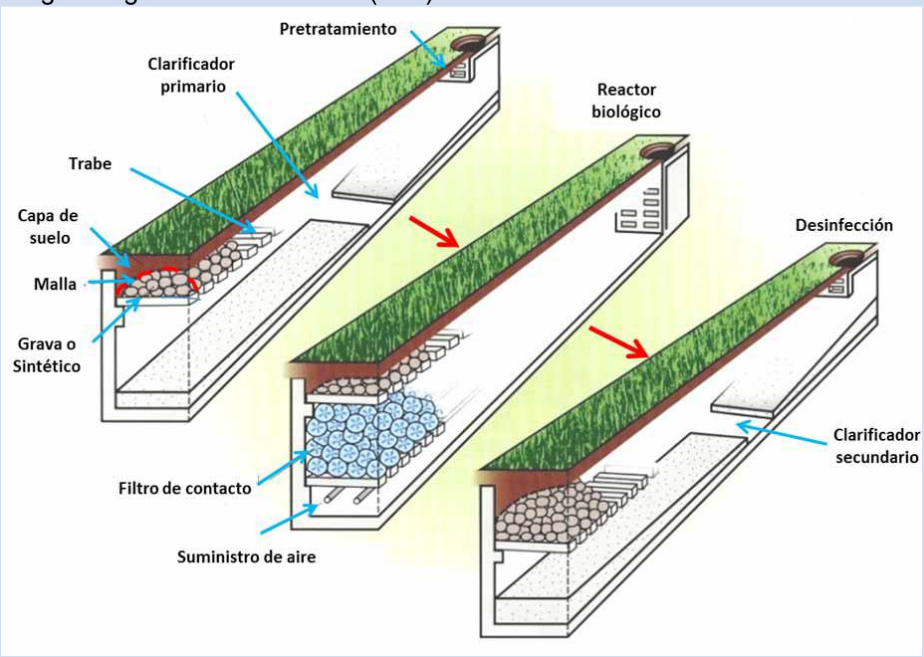


Diagrama básico aplicado en localidades hasta de 800 habitantes (P16):

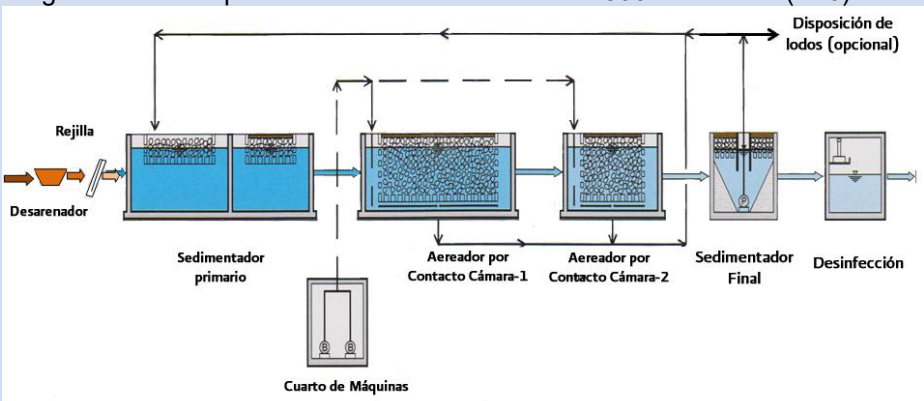
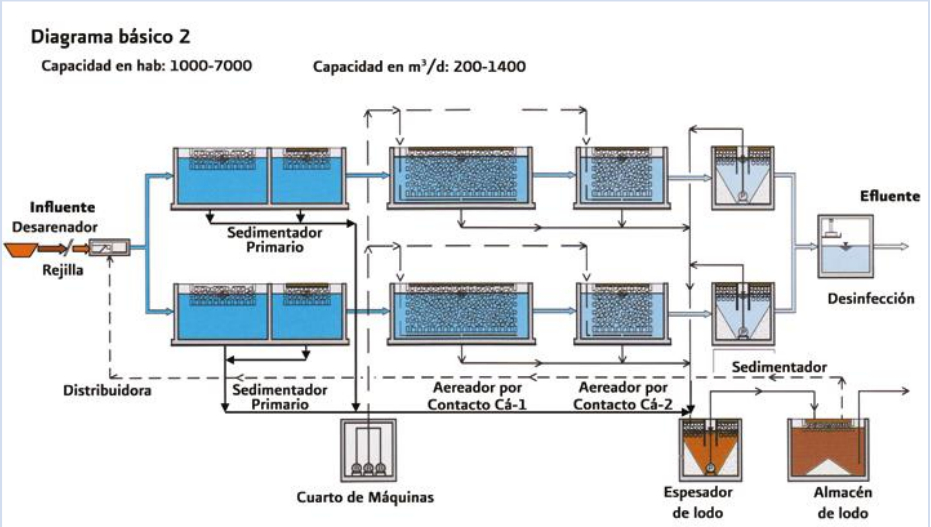


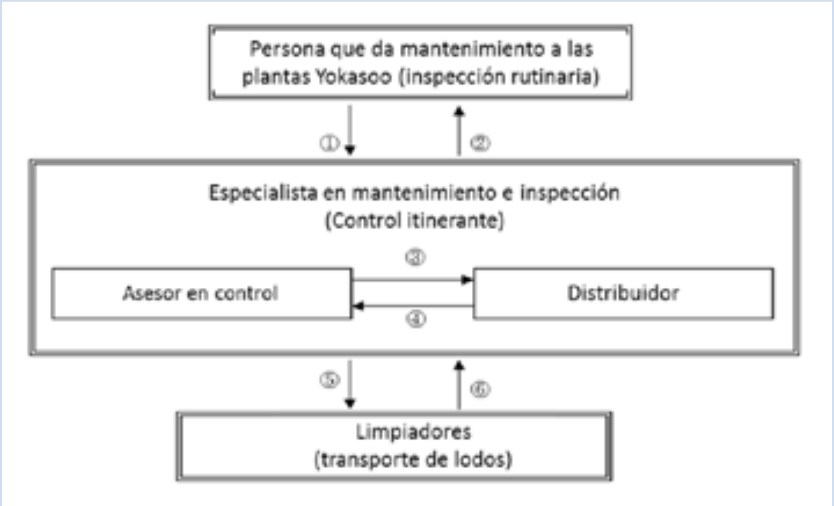
Diagrama básico aplicado en localidades hasta de 7,000 habitantes (P16):



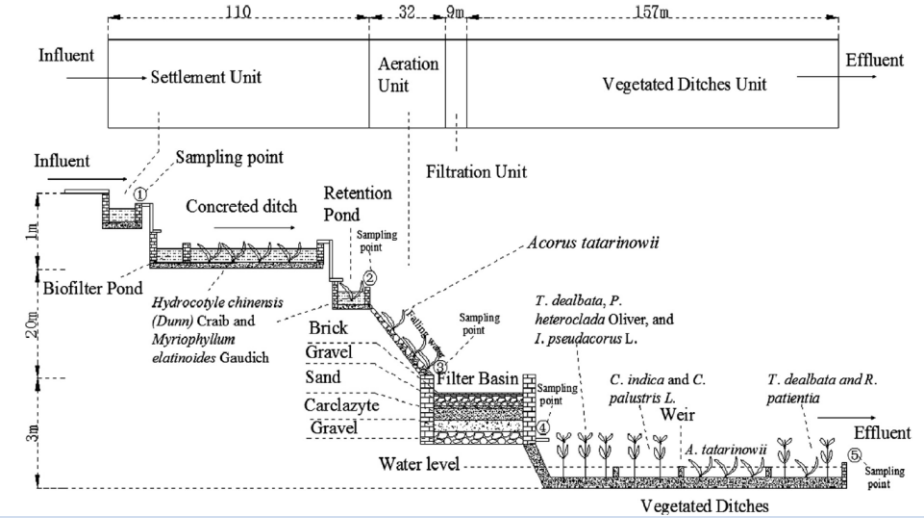
Del análisis conjunto entre JICA y la Conagua se definieron para la aplicación en México los siguientes rangos (P17):

Rango de aplicación	Población (hab)	Capacidad (m³/día)	Superficie del proceso (m²)	Superficie Total (m²)
1	70 a 300	10 a 45	Hasta 100	Hasta 500
2	301 a 700	46 a 99	Hasta 200	Hasta 900
3	701 a 1,400	100 a 199	Hasta 350	Hasta 1,600
4	1,401 a 5,000	200 a 700	Hasta 1,200	Hasta 4,500
5	5,001 a 10,000	701 a 1,400	Hasta 2,400	Hasta 8,000

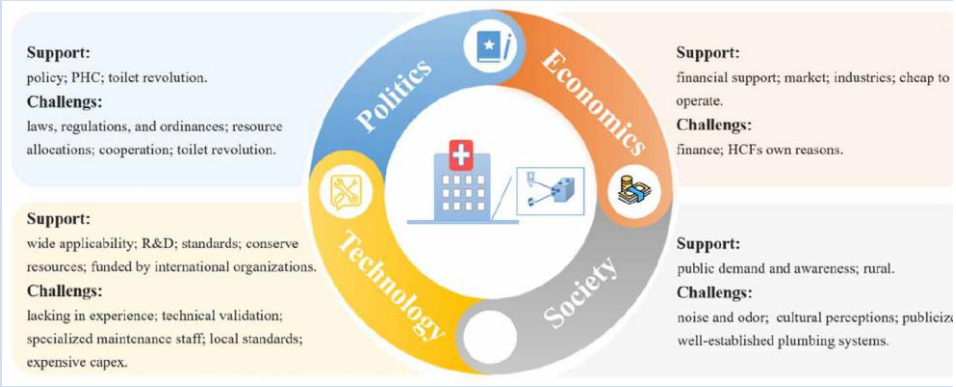
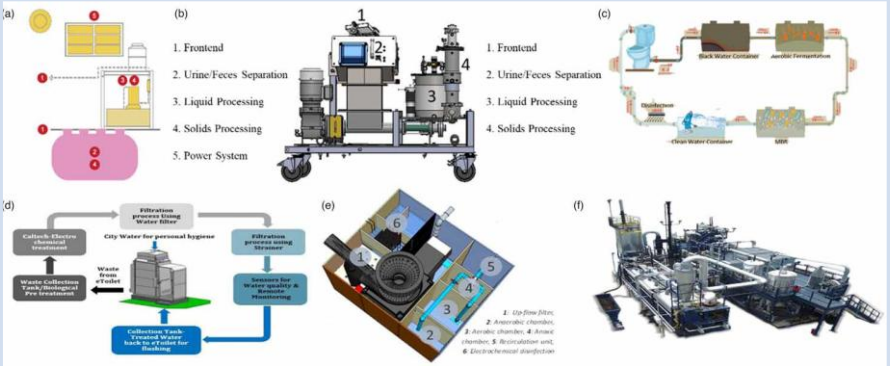
Estructura conceptual de proceso de limpieza de la instalación (P64):



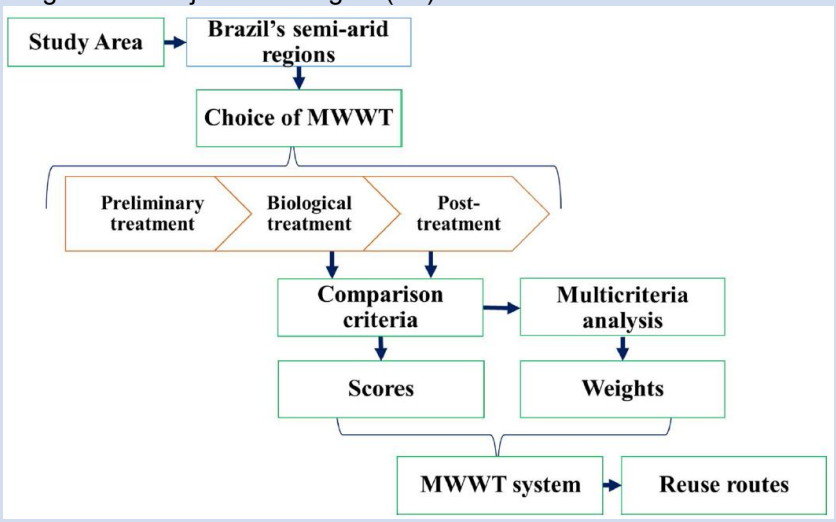
	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Wang, T., Zhu, B., & Zhou, M. (2019). Ecological ditch system for nutrient removal of rural domestic sewage in the hilly area of the central Sichuan Basin, China. Journal of Hydrology, 570, 839–849. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.034
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento Tratamiento descentralizado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Introducción (P839 y 840):** "Las aguas residuales domésticas son una fuente clave de contaminación del agua superficial en las zonas rurales de los países en desarrollo... especialmente en áreas con una infraestructura menos desarrollada para el tratamiento de aguas residuales" "La identificación de enfoques adecuados para el tratamiento de aguas residuales domésticas en estas zonas rurales, especialmente la eliminación de nitrógeno y fósforo, se ha convertido en un tema urgente" "Las zanjas con vegetación se han convertido en un enfoque cada vez más popular... su popularidad puede atribuirse a los menores requerimientos de tierra, la alta tasa de eliminación de nutrientes y los bajos costos de construcción y operación de mantenimiento" "Nuestros resultados indican que el sistema de zanjas ecológicas para tratar aguas residuales domésticas rurales con altas concentraciones de nutrientes puede utilizarse en el área de estudio o en áreas con topografía similar" **2.2. Diseño de sistemas de acequias ecológicas (P841):** "La zanja se divide en cuatro unidades sucesivas: una unidad de sedimentación (U1), una unidad de aireación (U2), una unidad de filtración (U3) y una unidad de zanjas con vegetación (U4)" "Las eficiencias de eliminación de nutrientes... podrían aumentarse en gran medida incrementando el tamaño de la unidad de filtración" "Las zanjas con vegetación deben combinarse para utilizar las ventajas específicas de los humedales construidos individuales" **3.5. Eficiencia de remoción bajo diferentes cargas hidráulicas (P844):** "Las eficiencias de eliminación de nutrientes presentan considerables variaciones estacionales y son sensibles a los caudales hidráulicos" "Las eficiencias de eliminación de nitrógeno y fósforo son generalmente menores en condiciones de alta carga hidráulica" "Reducir la toxicidad de las aguas residuales para las plantas y aumentar la capacidad de eliminación de nutrientes... bajo tasas de carga hidráulica altamente variables son los principales desafíos futuros para la operación sostenible a largo plazo" **4.2. Optimización y gestión del sistema de acequias ecológicas (P846):** "El sistema de zanjas ecológicas no puede utilizarse para el tratamiento de efluentes domésticos si la población de la ciudad supera las 2000 personas" "El sistema no puede utilizarse si hay efluentes industriales en el municipio" "El segado regular de las plantas y la eliminación de los sedimentos acumulados son necesarios para gestionar el sistema de zanjas ecológicas"

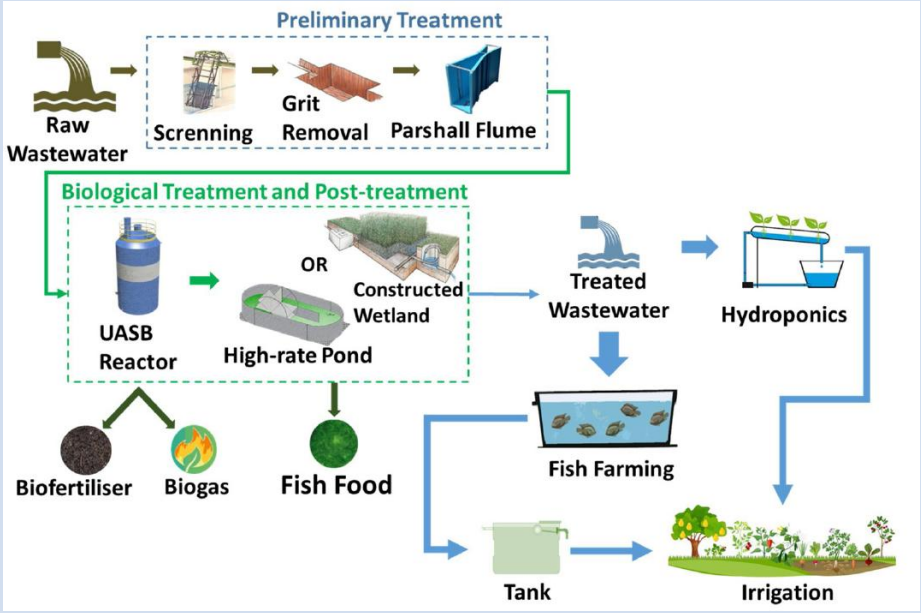
	"La operación a largo plazo... todavía enfrenta un gran riesgo de fracaso debido a un mantenimiento deficiente; el sistema de zanjas ecológicas no es una excepción" "Es necesario eliminar regularmente el exceso de sedimentos... para evitar la obstrucción y asegurar la operación sostenible" **Redacciones propias:** El estudio analiza el uso de zanjas ecológicas como una alternativa de tratamiento descentralizado para aguas residuales domésticas en zonas rurales, destacando su capacidad para remover nutrientes mediante procesos naturales como la nitrificación, desnitrificación y absorción por vegetación. Este tipo de soluciones se posiciona como una opción eficiente y de bajo costo frente a tecnologías convencionales, especialmente en territorios insinuosos. Sin embargo, su desempeño depende de variables operacionales como la carga hidráulica y condiciones ambientales, además de requerir una adecuada mantención para evitar problemas como la colmatación. En este contexto, las zanjas ecológicas representan una estrategia viable dentro del saneamiento rural, particularmente bajo un enfoque de infraestructura verde y tratamiento basado en la naturaleza, aunque su implementación debe considerar restricciones de espacio, operación y variabilidad en la eficiencia de remoción.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir**	**Orientar:** Presentar una **tecnología concreta de saneamiento rural** (zanjas ecológicas). **Complementar:** integración de **vegetación y suelo como sistema de tratamiento.**
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Procesos de tratamiento de agua y diseño del sistema de acequias ecológicas (P841): 

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Cheng, S., Zhao, Q., Wen, C., Manga, M., Xiang, R., Wang, X., & Li, Z. (2024). The potential application of non-sewered sanitation systems in healthcare facilities – A case study in Beijing, China. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development. https://doi.org/10.2166/washdev.2024.280
Palabras claves:	Alcantarillado Tratamiento descentralizado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen e Introducción (P2):** "Los sistemas de saneamiento no conectados a la red (NSSS) podrían mejorar el saneamiento... Particularmente en las zonas rurales, el NSSS tiene un potencial significativo de aplicación" "En la mayoría de las zonas rurales no hay conexiones a alcantarillado, lo que permite la aplicación potencial de los NSSS" "Una de las características más distintivas de los NSSS es que eliminan su materia fecal sin conectarse a alcantarillado" "La implementación de estas estrategias mejoraría el saneamiento... y reduciría la propagación de enfermedades" **Materiales y Métodos (P3):** "El análisis PEST... se refiere al análisis de la factibilidad y el potencial de un proyecto en términos de cuatro factores: políticos, económicos, sociales y tecnológicos" "El análisis PEST es una herramienta poderosa y ampliamente utilizada para comprender los riesgos estratégicos" "La importancia de utilizar el análisis PEST radica en su capacidad para identificar oportunidades y responder a amenazas, establecer metas, reconocer factores clave y fuerzas, desarrollar planes de acción y establecer objetivos para mejorar el desempeño" "Los NSSS en general son altamente adaptables y pueden funcionar eficazmente en diversos entornos hostiles, incluyendo el frío extremo, las altas temperaturas, la sequía y otras condiciones desafiantes" "Algunas de las tecnologías de NSSS pueden conservar recursos (recursos hídricos, recursos energéticos, etc.)" **3.2 Análisis Económico (P4):** "Debido al largo período de recuperación y al mayor riesgo de los proyectos NSSS, a menudo es difícil obtener el apoyo de las instituciones financieras" "La falta de beneficios directos de la operación y el mantenimiento del sistema de saneamiento a menudo conduce a una falta de interés por parte de los líderes... en la modernización del sistema" **3.3 Análisis Social (P4):** "...el mantenimiento de los NSSS plantea desafíos y requiere personal de mantenimiento profesional para el mantenimiento y la limpieza regulares; sin los cuales, las condiciones de higiene pueden deteriorarse, afectando negativamente la experiencia del usuario" "Los NSSS deben considerar los impactos del ruido y el olor en los residentes circundantes durante la construcción y la operación"

	Redacciones propias: Los sistemas de saneamiento no convencionales (NSSS) constituyen una alternativa viable en contextos donde no existe infraestructura de alcantarillado, situación altamente comparable con los SSR en Chile. El análisis mediante enfoque PEST evidencia que, si bien existen barreras institucionales, económicas y culturales, los factores favorables —especialmente en zonas rurales— superan dichas limitaciones. Esto refuerza la hipótesis de que soluciones descentralizadas son estratégicas para cerrar brechas de saneamiento rural, particularmente en escenarios de dispersión territorial, baja densidad poblacional y limitaciones de inversión pública. Además, el estudio vincula directamente el saneamiento con la reducción de enfermedades, lo que valida el enfoque sanitario de tu investigación y su impacto en salud pública.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir**	**Avalar:** el uso de tecnologías alternativas en SSR, aportando una base conceptual y técnica para su implementación en Chile.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Gestión integral del Agua (P1):  Tecnologías NSSS (baños secos, electroquímicos, biológicos, etc.) (P5): 

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Marangon, B. B., Silva, T. A., Calijuri, M. L., Alves, S. do C., dos Santos, V. J., & Oliveira, A. P. de S. (2020). Reuse of treated municipal wastewater in productive activities in Brazil's semi-arid regions. *Journal of Water Process Engineering, 37*, 101483. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101483
Palabras claves:	Reutilización de Aguas Servidas Tratamiento descentralizado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La escasez de agua y la precariedad del tratamiento de las aguas residuales municipales... agravan las disparidades sociales y imposibilitan la mejora de la calidad de vida de la población" "Es posible revertir este escenario mediante el reúso de aguas residuales municipales tratadas en actividades productivas" **2.6 Reutilizar rutas para TMWW (P4):** "En los países en desarrollo, la inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales representa un gasto muy elevado en lugares donde los presupuestos son limitados, además de los costos de operación y mantenimiento" "Los criterios críticos a considerar al seleccionar un sistema de tratamiento son: costos de implementación, operación y mantenimiento, demanda de energía y simplicidad, en ese orden" **3.3Reutilización de TMWW (P6 y 7):** "La asociación entre saneamiento y agricultura forma un ciclo cerrado, donde se recuperan los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y se reutiliza el agua" "Se estima que el reúso de aguas tratadas para el riego agrícola... puede resolver el problema de la escasez de agua en regiones semiáridas y áridas, además de restaurar los ecosistemas acuáticos" "Los procesos participativos de la población, combinados con los productos que pueden obtener a través del tratamiento de aguas, son esenciales para el éxito de la propuesta" "El reúso de biomasa o agua tratada para la producción de alimentos depende de su aceptación por parte de la población" **3.4 Generación de energía (P7):** "El biogás generado en el UASB podría suministrar la energía demandada... de modo que el sistema de tratamiento se vuelve independiente de las fluctuaciones de costos de la electricidad" **3.5 Viabilidad y beneficios de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales propuesta (P7):** "Es importante destacar que las actividades productivas pueden desarrollarse de forma modular, de acuerdo con la disponibilidad de recursos financieros" "Para el tratamiento biológico, se seleccionó un reactor de manto de lodos anaerobios de flujo ascendente (UASB)... Dos post-tratamientos son presentados: lagunas de alta tasa y humedales construidos"

	Conclusión (P7): "El análisis de decisión multi criterio demostró ser eficiente para elegir un sistema de tratamiento adecuado para implementar en regiones con escasez" **Redacciones propias:** El estudio demuestra que los sistemas de saneamiento no conectados a alcantarillado (NSSS) constituyen una solución técnicamente viable y estratégicamente pertinente para contextos sin cobertura de redes tradicionales, condición que se replica en los SSR de Chile. A través del análisis PEST, se evidencia que, si bien existen barreras económicas, institucionales y socioculturales, los factores favorables —especialmente en zonas rurales donde no existen redes de alcantarillado— superan dichas limitaciones. Esto respalda la necesidad de avanzar hacia modelos descentralizados de saneamiento, particularmente en territorios dispersos y de baja densidad. Además, el estudio vincula directamente el saneamiento con la reducción de enfermedades.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Avalar:** el uso de tecnologías alternativas en SSR. **Orientar:** la toma de decisiones mediante un marco metodológico replicable (PEST).
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Diagrama de flujo metodológico (P2):  Propuesta de actividades productivas (P6):

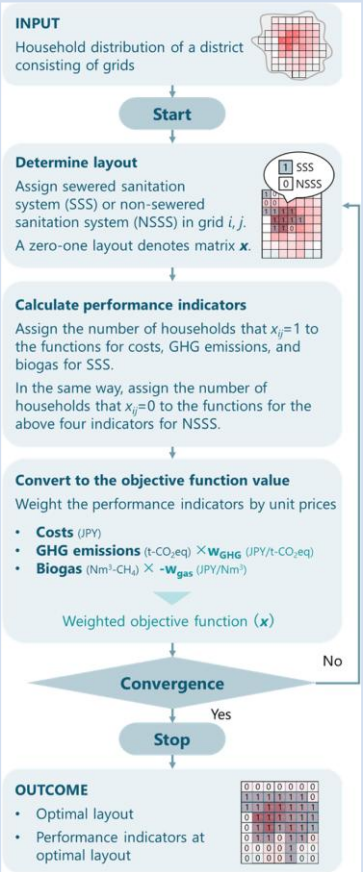


Se utilizó la matriz AHP para definir las ponderaciones de los criterios (P5):

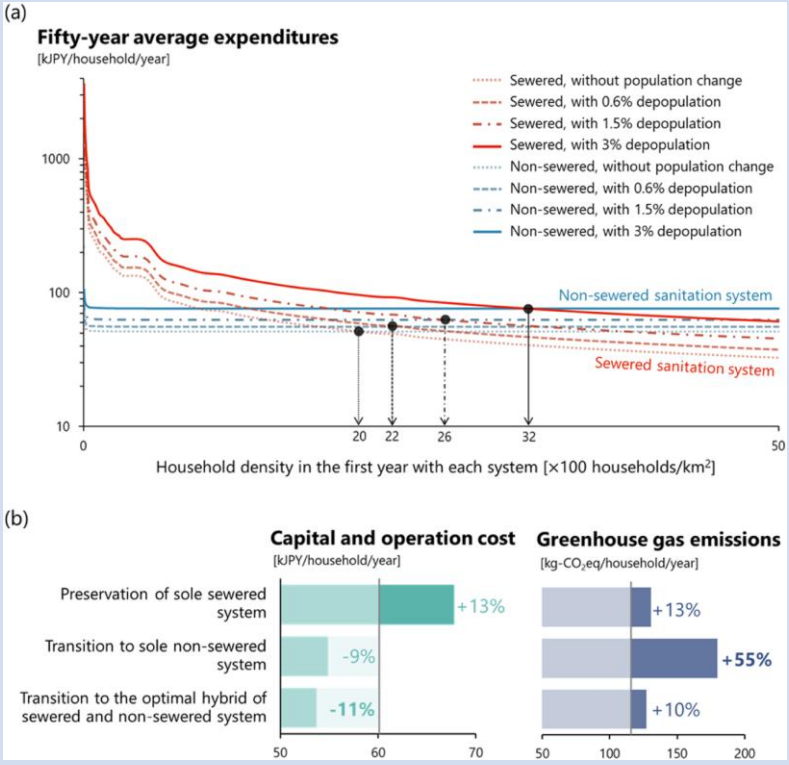
Criteria	Savings in implementation costs	Savings in operation and maintenance costs	Savings in energy costs	Operation simplicity	Biogas generation	Pathogens removal	Organic matter removal	Nutrients removal	Sludge generation	Weight
Savings in implementation costs	1	1	1	1	3	3	3	3	3	0.18
Savings in operation and maintenance costs	1	1	1	1	3	3	3	3	3	0.18
Savings in energy costs	1	1	1	1	3	3	3	3	3	0.18
Operation simplicity	1	1	1	1	3	3	3	3	3	0.18
Biogas generation	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	3	3	3	0.09
Pathogens removal	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3	0.05
Organic matter removal	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3	0.05
Nutrients removal	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	3	0.05
Sludge generation	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	0.03

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Oishi, W., Mizutani, D., Nakazato, Y., McConville, J., & Sano, D. (2026). Adapting sanitation systems to demographic transitions: Optimizing hybrid configurations of sewered and non-sewered solutions. *Water Research, 290*, 125135. https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.125135.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Alcantarillado Tratamiento descentralizado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La transición a una configuración de sistema híbrido de alcantarillado y no alcantarillado optimizado reduce los gastos y los impactos ambientales" "Los resultados demuestran el rendimiento superior de los sistemas híbridos frente a los enfoques de una sola tecnología y enfatizan su potencial como soluciones de saneamiento más inteligentes y sostenibles" **Introducción (P2):** "Las soluciones híbridas pueden implementarse y desmantelarse de manera más flexible, reduciendo el riesgo de que la infraestructura quede subutilizada" "En áreas escasamente pobladas con menos de 1000 equivalentes de población (PE) por km², el costo de construcción del alcantarillado puede superar los 1500 USD por PE km²... lo que hace que el sistema centralizado sea económicamente inviable" **3.1 Impacto del descenso de la población en la relación coste-efectividad (P6):** "La preservación de los sistemas de alcantarillado centralizados en áreas por debajo de este umbral de densidad puede volverse económicamente inviable en los próximos 50 años si la disminución de la población continúa" "La transición al sistema no conectado a la red mitiga la carga financiera, pero aumenta significativamente las emisiones de GEI" **3.2. Hibridación óptima de sistemas con y sin alcantarillado (P6):** "El potencial de recuperación de biogás es mayor en el escenario totalmente alcantarillado y disminuye a medida que aumenta la adopción de sistemas

	no alcantarillados... porque el lodo de las plantas in situ ya está parcialmente digerido en la etapa anaeróbica en la fuente" **3.3. Análisis de sensibilidad (P8):** "El proceso de optimización asigna el alcantarillado centralizado solo a áreas densamente pobladas, reduciendo así a la mitad la longitud requerida de la red de tuberías y, simultáneamente, reduciendo el número de plantas de tratamiento in situ, que son las principales contribuyentes a las emisiones de GEI" "La efectividad de la hibridación... está influenciada modestamente por la distribución de los hogares. A medida que las áreas residenciales se vuelven más dispersas, el costo total y las emisiones de GEI se acercan a los del escenario totalmente sin alcantarillado" **Conclusiones (P11):** "La integración óptima de los sistemas con y sin alcantarillado reduce los costos de capital y operativos en un 11 %, al tiempo que limita el crecimiento de las emisiones de GEI" "Una estrategia prometedora es incorporar sistemas no conectados a la red en la infraestructura de alcantarillado existente, formando una configuración híbrida adaptada a la dinámica espacial de la población" **Redacciones propias:** El estudio aporta una base sólida para replantear el diseño de sistemas sanitarios en contextos de baja densidad y cambio demográfico, lo cual es altamente relevante para los SSR en Chile. La evidencia demuestra que los sistemas centralizados pierden eficiencia económica y ambiental cuando la población es dispersa o decreciente, situación común en zonas rurales. En este contexto, el enfoque híbrido —combinando alcantarillado en áreas densas y soluciones descentralizadas en sectores dispersos— se posiciona como una alternativa óptima, permitiendo reducir costos de inversión y operación, mejorar la flexibilidad del sistema y evitar infraestructura sobredimensionada. Sin embargo, el estudio también evidencia un trade-off ambiental, ya que el aumento de soluciones descentralizadas puede incrementar las emisiones de GEI, lo que obliga a incorporar criterios tecnológicos (ej. tratamiento eficiente, gestión de lodos) en la planificación SSR.

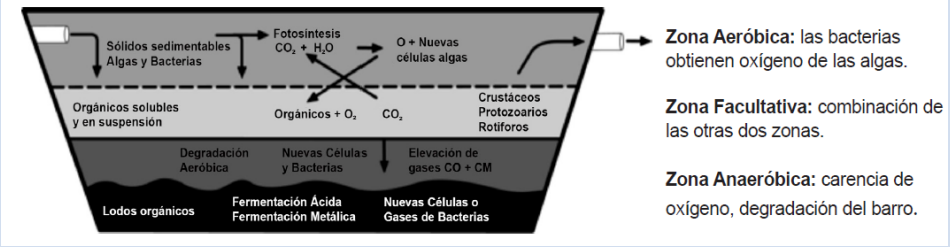
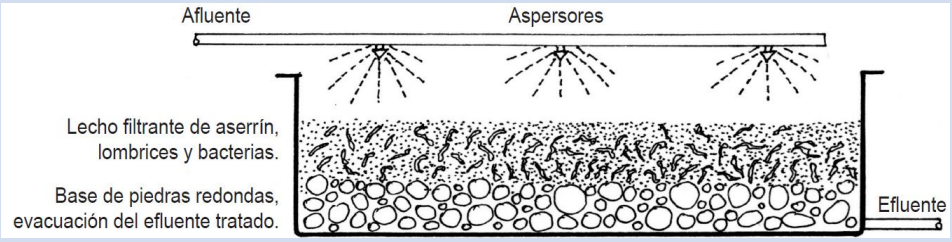
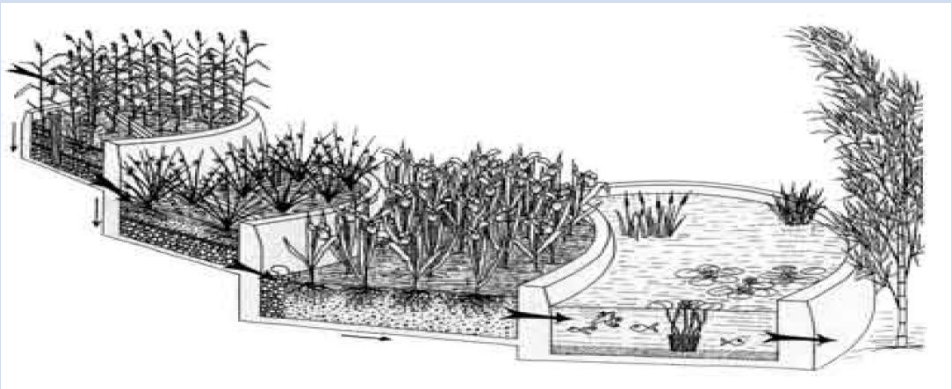
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Avalar:** respalda la transición hacia modelos adaptativos, modulares y territoriales, alineados con la realidad rural chilena.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	El proceso de optimización multiobjetivo mediante el método de recocido simulado se establece en este estudio (P4): 

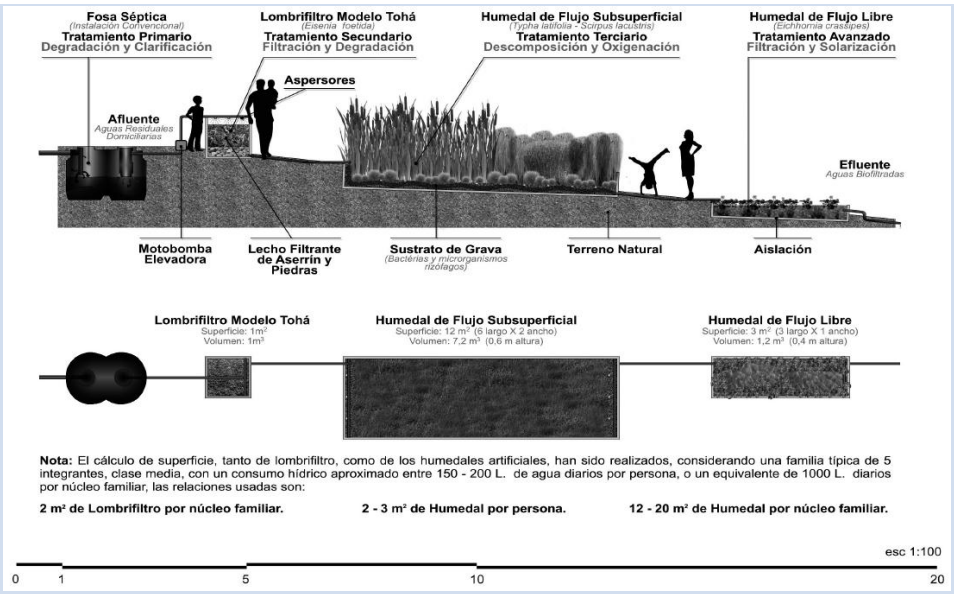
(a) Impacto de la despoblación en el equilibrio del gasto promedio a cincuenta años entre sistemas con y sin alcantarillado. Las líneas continuas y punteadas indican el gasto promedio a cincuenta años en función de la densidad de hogares (azul para sistemas sin alcantarillado y rojo para sistemas con alcantarillado) con una despoblación anual del 0,6 %, 1,5 % y 3 %. Las intersecciones de la línea azul y la roja representan las densidades de hogares de equilibrio de costos entre sistemas con y sin alcantarillado para cada tasa de despoblación. (b) Gasto total y emisiones de GEI en los tres escenarios en comparación con el statu quo (línea gris continua), que representa un escenario optimista en el que se mantiene el sistema actual y la población atendida no disminuye. (P5):



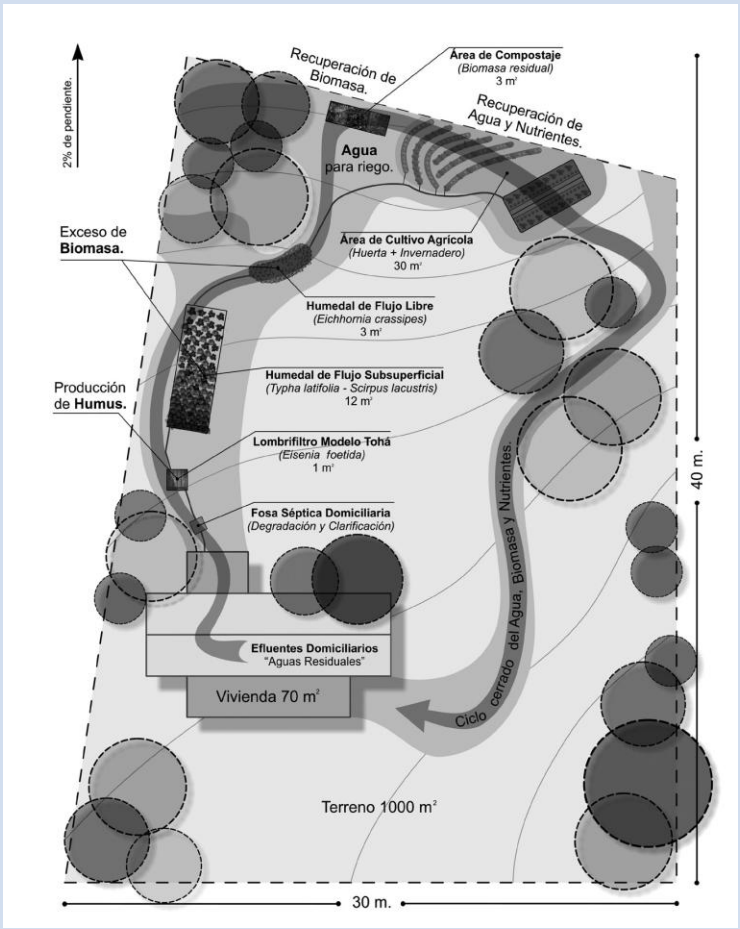
	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Parra Piérart, I., & Chiang Rojas, G. (2013). Integrated model of biopurification system for home sewage: A proposal for peri-urban communities from south center of Chile. Gestión y Ambiente, 16(3), 39–51. https://www.researchgate.net/publication/259706865_Integrated_model_of_biopurification_system_for_home_sewage_A_proposal_for_peri-urban_communities_from_south_center_of_Chile
Palabras claves:	Alcantarillado Tecnología de Tratamiento
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Introducción (P40 y 41):** "En Chile existe una grave escasez de métodos naturales implementados como alternativas eficientes para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias... esta investigación se centra en el problema del no tratamiento... especialmente en sectores periurbanos que no cuentan con sistemas de fosas sépticas o alcantarillados interconectados al sistema central" "Este vertido directo en los cuerpos de agua naturales provoca... graves condiciones de vulnerabilidad ante las enfermedades... y por otro lado, es una amenaza latente para la salud del sistema natural hídrico" "La propuesta diseñada utiliza los humedales artificiales como una forma de introducir un sistema de tratamiento... que incrementa además el valor paisajístico de su emplazamiento y potencia la estética del paisaje en que se encuentran insertos" **2.2. Lombrifiltro (modelo Tohá) (P42 y 43):** "Sus bajos costos operacionales ya que requieren sólo de energía eléctrica para activar las bombas... Si se hace uso de pendientes naturales para llevar las aguas sobre el sistema de filtrado, se puede prescindir de las bombas elevadoras" "El lecho filtrante no se impermeabiliza ya que no se colmata. Esta característica se debe principalmente a la acción de las lombrices que, con su incansable movimiento, crean túneles y canales que aseguran en todo momento la alta permeabilidad" "El agua servida de cinco personas (núcleo familiar típico) requiere solo 2 m² de biofiltro para su tratamiento" **Resultados (P45):** "El modelo propuesto... consiste en una serie de etapas de tratamiento. La primera etapa está compuesta por un lombrifiltro modelo Tohá® que se hace

	cargo de la depuración de los sólidos de mayor tamaño (coliformes fecales) y de las materias grasas". "En una segunda etapa, se ha ubicado un humedal artificial de flujo subsuperficial utilizando las plantas macrófitas emergentes más comúnmente halladas en la zona centro sur del país (Typha latifolia y Scirpus lacustris)". "La última etapa está constituida por un humedal artificial de flujo libre con plantas flotantes (Eichhornia crassipes)... estas plantas cumplen con la función de tratamiento complementario avanzado". **4.1. Integración del biofiltro en un master plan domiciliario (P46):** "El humus de lombriz es un excelente fertilizante para cultivos agrícolas... el agua biofiltrada puede ser reutilizada para el riego de estos cultivos por lo cual es altamente recomendable que el biofiltro pase a integrar un plan maestro cíclico" **4. 2. 4. Dimensionamiento del sistema, superficie v/s caudal (P49):** “Las relaciones usadas son: 2 m² de Lombrifiltro por núcleo familiar; 2-3 m² de Humedal por persona; 12-20 m² de Humedal por núcleo familiar" **Conclusiones (P49):** "Estos sistemas son fácilmente implementables y dado su bajo costo de inversión, operación y manutención, constituyen un medio para incrementar la sustentabilidad del consumo energético de una vivienda" "No sólo pueden recuperarse los nutrientes presentes (N, P, K, entre otros), sino que también es posible mejorar considerablemente las condiciones de estas aguas... dejándolas aptas para su reutilización en riego agrícola" "La implementación de estas iniciativas constituye una forma de avanzar en la educación medioambiental, al involucrar activamente a generaciones actuales y futuras en el proceso de reinserción de sus residuos a los ciclos naturales" **Redacciones propias:** Se propone una solución descentralizada concreta para el tratamiento de aguas residuales en contextos periurbanos y rurales del centro-sur de Chile, donde el alcantarillado no siempre es viable técnica ni económicamente. El modelo de biopurificación destaca por su bajo costo, simplicidad operativa y uso de procesos naturales, lo que lo convierte en una alternativa robusta para Sistemas Sanitarios Rurales (SSR), especialmente en localidades dispersas. A diferencia de los sistemas centralizados, esta tecnología reduce la necesidad de grandes inversiones en redes y plantas, permitiendo una implementación modular y escalable. Sin embargo, el estudio también sugiere que su desempeño depende fuertemente de variables locales (clima, operación, mantenimiento), lo que implica que su masificación en Chile requeriría estandarización, capacitación y apoyo institucional.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar**	**Complementar:** refuerza la viabilidad técnica de soluciones descentralizadas como complemento o alternativa al alcantarillado, alineándose con enfoques modernos de saneamiento sostenible.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Lagunas de estabilización (P41):  Lombrifiltro Modelo Sistema Tohá (P42):  Esquema típico de un Sistema de Humedal Artificial por etapas (P44):  Diseño conceptual de propuesta sistémica. Fuente: Ilustración del autor (P46):

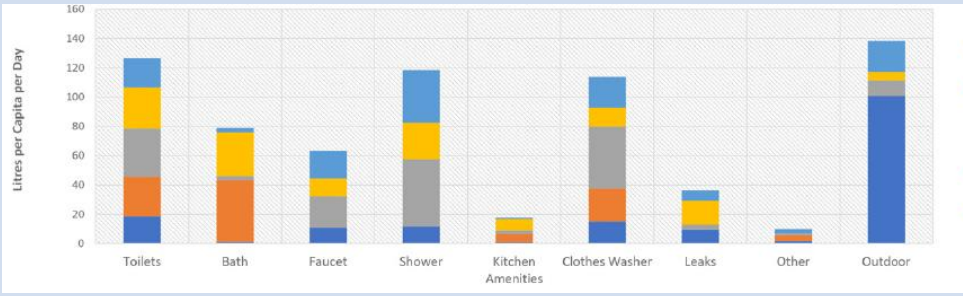
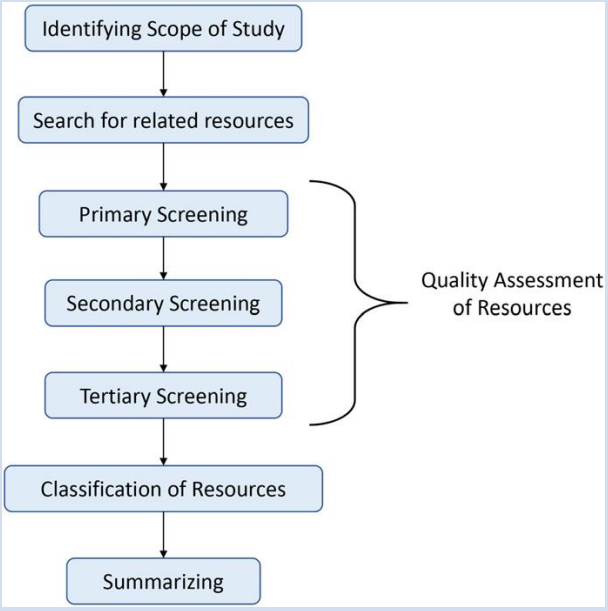


Máster Plan Domiciliario. Ciclo cerrado del agua, biomasa y nutrientes (P47):

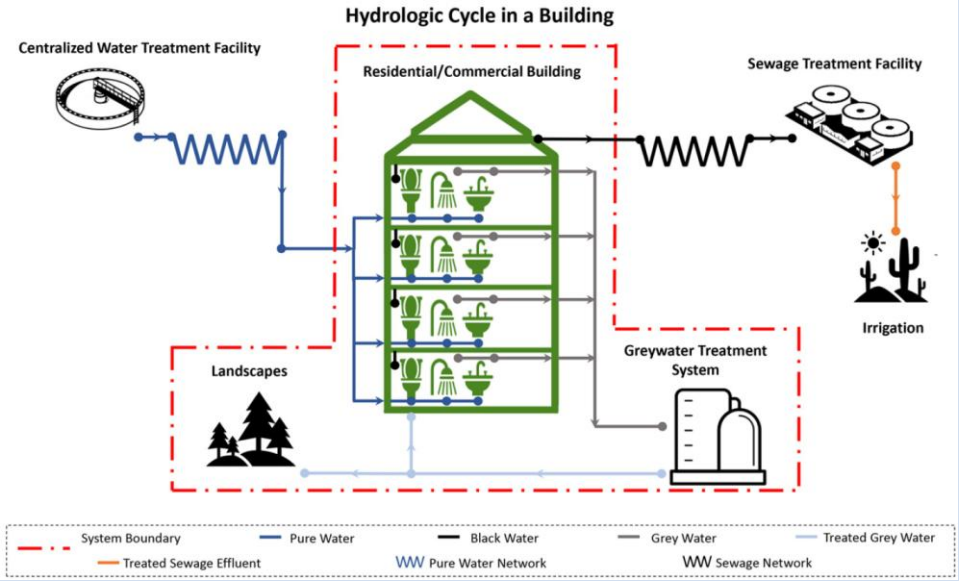


	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Yoonus, H., & Al-Ghamdi, S. G. (2020). Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on life-cycle assessment: A systematic and bibliographic analysis. Science of the Total Environment, 712, 136535. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136535
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Tecnología de Tratamiento Reutilización de Aguas Servidas Tratamiento descentralizado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La evaluación ambiental de varios estudios prefiere la reutilización de aguas grises sobre su eliminación" "Los responsables de las políticas y las agencias gubernamentales de las regiones con escasez de agua deberían promover tales sistemas" "Los responsables de las políticas pueden generar un impacto al iniciar técnicas de conservación de agua para un uso sostenible" **Introducción y Antecedentes (P2):** "Generalmente, las aguas grises constituyen entre el 50% y el 80% de las aguas residuales domésticas" "Su volumen se estima que varía de 90 a 120 l/p/d basándose en el estilo de vida, la demografía y la abundancia de agua... Para países de bajos ingresos con escasez de agua, el volumen puede ser tan bajo como 20–30 l/p/d" "En un edificio, los inodoros por sí solos consumen alrededor del 25% del agua... Esto puede reducirse a un consumo casi nulo sustituyendo el agua dulce por agua gris tratada" "La idea de sistemas de tratamiento de aguas grises in situ puede reducir la demanda de agua pura y, a su vez, reducir las emisiones ambientales generales" "El uso productivo de las aguas grises para fines no potables puede resolver muchos problemas de falta de disponibilidad de agua en todo el mundo" **Beneficios ambientales de los sistemas integrados de reutilización de aguas grises (P5):**

	"La reutilización de 1 m3 de aguas residuales ahorra alrededor de 1,1 m3 de agua dulce" **Directrices para la reutilización de aguas grises (P6):** "El agua gris recuperada debe cumplir cuatro criterios principales para su reutilización: seguridad higiénica, estética, tolerancia ambiental y factibilidad económica" **Conclusiones (P8):** "Las técnicas de tratamiento biológico son altamente eficientes en comparación con las físicas y químicas" "Dentro de las técnicas biológicas, los MBR (Bio-reactores de Membrana) son altamente efectivos para eliminar compuestos orgánicos... Los Humedales Construidos (CW) son un enfoque de tratamiento sostenible que puede producir agua gris de buena calidad para su reutilización" "Las técnicas de tratamiento químico resultaron menos eficientes para producir agua gris tratada de calidad estándar" "Actualmente, los estándares de calidad para aguas grises son establecidos por muy pocos países... el nivel de pH para el reúso comúnmente oscila entre 6 y 9" **Redacciones propias:** Se sintetiza el estado del arte de los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas servidas, los cuales son altamente pertinentes para los SSR en Chile. El estudio confirma que estas soluciones son especialmente adecuadas en contextos de baja densidad poblacional, donde el alcantarillado tradicional resulta económicamente inviable. Además, destaca atributos fundamentales como la modularidad, la adaptabilidad territorial y la menor necesidad de inversión inicial, lo que se alinea con las realidades de localidades rurales chilenas. Sin embargo, también advierte que el éxito de estas tecnologías depende fuertemente de la gestión local, operación y mantenimiento, lo que implica desafíos institucionales para su implementación masiva.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Avalar:** sustentar conceptualmente la transición desde modelos centralizados hacia esquemas descentralizado o híbridos, incorporando criterios técnicos, económicos y ambientales.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Consumo de agua para uso operativo en edificios residenciales en diferentes regiones (P3):  Enfoque de investigación aplicado en el estudio (P3): 

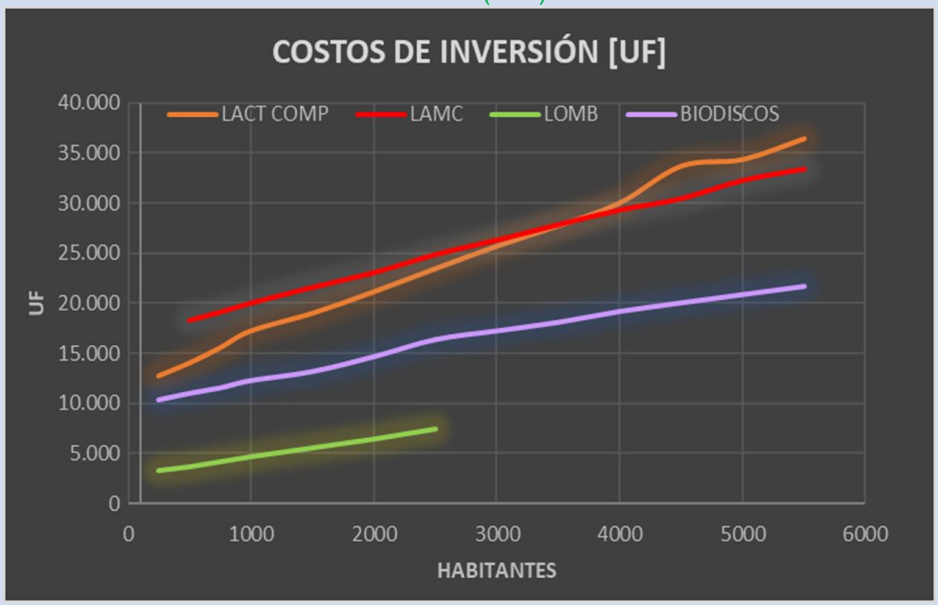
Ciclo hidrológico de un edificio integrado con el sistema de tratamiento de aguas grises (P4):



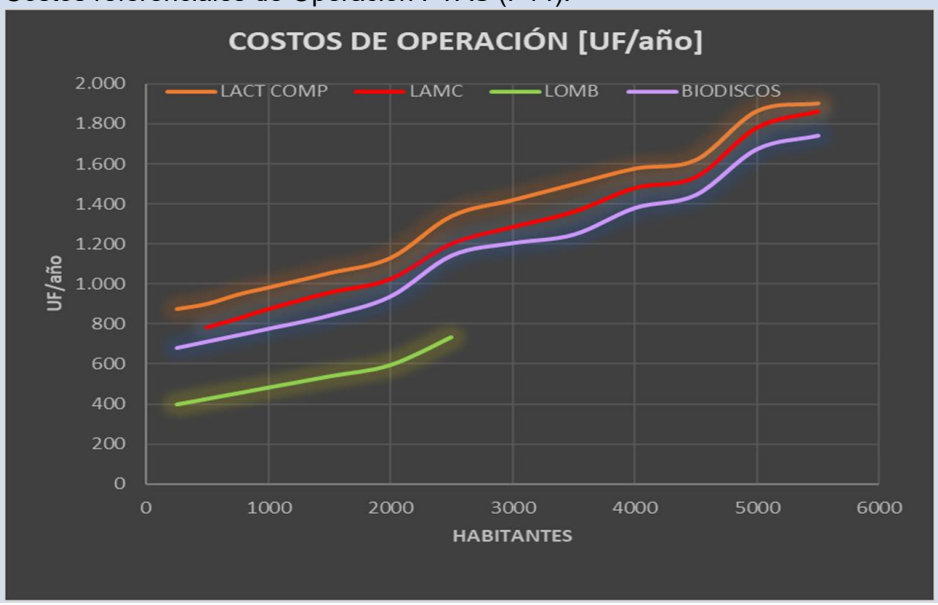
	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Homsi Auchen, J. (2024). Valorización de sistemas de tratamiento de aguas servidas en localidades menores a 5.500 habitantes [Material de clase, asignatura Gestión de la Depuración y Reutilización]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** Condiciones de borde costos de inversión (P3): Componentes Unitarias: • Tratamiento Preliminar • Tratamiento Secundario (en función de cada tecnología) • Desinfección • Tratamiento y Deshidratación de Lodos • Transporte y disposición de Lodos Expresión de la valorización (P6): Los resultados de la valorización se muestran ceñidas específicamente a expresiones globales en términos de las siguientes componentes: • Obras Civiles • Equipos • Obras Eléctricas • Tuberías y Accesorios • Declaración de impacto ambiental (DIA) • Resolución de calificación (RCA) Condiciones de borde costos de operación (P8): • Personal • Productos Químicos • Energía Eléctrica • Materiales y Repuestos • Servicio de Laboratorio • Transporte y Disposición de Lodos • Servicio de Operación y Mantención **Redacciones propias:** Se evidencia las distintas tecnologías y su comparación entre costos de inversión y operación relacionando con la cantidad de habitantes de la localidad y las condiciones de borde.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Otros aportes**	**Orientar**: se tiene una referencia de los distintos costos de inversión y operación para cada tecnología.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

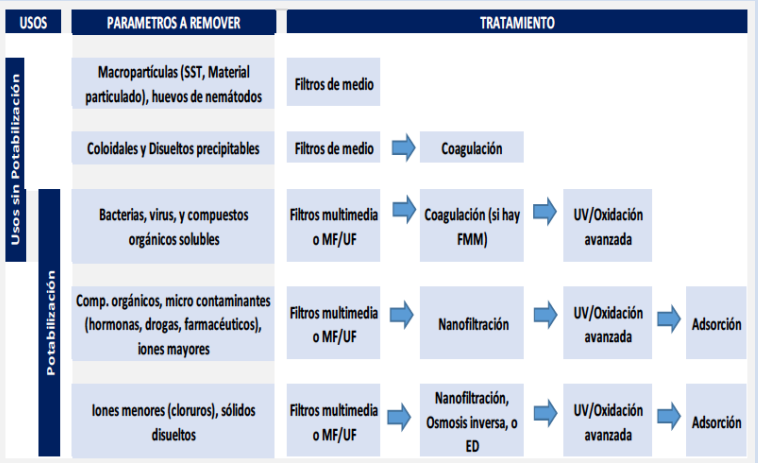
Costos referenciales de inversión PTAS (P13):



Costos referenciales de Operación PTAS (P14):



	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Homsi Auchen, J. (2024). Reúso de aguas servidas tratadas (AST) [Material de clase, asignatura Gestión de la Depuración y Reutilización]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** Potenciales Usos de las aguas Residuales (P3): • Uso en Sistemas Naturales • Irrigación de Suelos Agrícolas • Riego de Parques y Prados • Uso Industrial • Recarga de Acuíferos subterráneos • Uso Recreacional • Generación de Energía Directrices para el uso de AST para proyecto de riego (P5): Las normas NCh 3456/1 (Base de un proyecto de reúso para riego), NCh 3456/2 (Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego), NCh 3456/3 (Componentes de un proyecto de reúso para riego) y NCh 3456/4 (Seguimiento). AST Mediana Calidad (P7): se establecen valores de emisión a cumplir para los siguientes escenarios del DS90/00: Cuerpos de aguas Fluviales Sin Capacidad de Dilución (Tabla 1) Con Capacidad de Dilución (Tabla 2) Cuerpos de Aguas Lacustres (Tabla 3) Cuerpos de Aguas Marinos Dentro de la zona de protección litoral (Tabla 4) Fuera de la zona de protección litoral (Tabla 5) En la tabla 1 del DS 90/00 (P9): se aprecia que la concentración de DBO y Sólidos Suspendidos Totales es de 35 y 80 mg/l respectivamente, lo que en la Tabla de Calidad Sugerida de AST de la NCh 3456/2 (Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego) corresponde a un AST de Mediana Calidad. Las PTAS que descargan cumpliendo con la Tabla 1 con tecnología en base a Lodos Activados constituyen el 70% del volumen las aguas servidas tratadas a lo largo de todo el país. **Redacciones propias:** Se analizan los requisitos internacionales para reutilización de aguas servidas, principalmente en Israel y Estados Unidos, estos se basan en estándares estrictos de calidad del agua según su uso final. En ambos casos se exige tratamiento secundario o terciario con desinfección, límites para patógenos y sólidos suspendidos, y monitoreo permanente del efluente. Las directrices de la United States Environmental Protection Agency **(EPA)** establecen criterios

	diferenciados para usos agrícolas, urbanos o industriales, mientras que Israel ha desarrollado un sistema altamente regulado enfocado principalmente en el riego agrícola, convirtiéndose ambos países en referentes internacionales en gestión segura del reusó del agua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** requisitos internacionales para reutilización de aguas servidas.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Límite para la descarga de Residuos Líquidos a cuerpos de agua, DS90/00 (P8): (1) Se debe descontar el contenido de algas para efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas domésticas (2) La determinación del contaminante corresponderá a la suma de las concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl Total, Nitrito y Nitrato. (3) En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml. Análisis de la normativa vigente para tratamiento terciario (P13): 

PARÁMETRO	Unidad	VALOR DS 90/00			
		Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3	Tabla 4
Temperatura	ºC	35	40	30	30
pH	unidad	6,0 – 8,5	6,0 – 8,5	6,0 – 8,5	6,0 - 9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	80 (1)	300	80	100
QUÍMICOS, BIOQUÍMICOS Y ORGÁNICOS					
DBO5	mg/l	35 (1)	300	35	60
Aceites y Grasas	mg/l	20	50	20	20
Fósforo Total	mg/l	10	15	2	5
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg/l	50	75		50
Nitrógeno Total (2)	mg/l			10	
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1.000	1.000	1.000 – 70 (3)	1.000 – 70 (3)

Requisitos Internacionales para Reutilización de Aguas Servidas, ministerio de Salud pública de Israel (P24):

Parámetro de Calidad	Categorías Específicas de Aplicación			
	A	B	C	D
DBO	60	45	35	15
DBO Filtrada	[illegible]	[illegible]	20	10
Sólidos Suspendidos	50	40	30	15
Coliformes Totales	[illegible]	[illegible]	250	12
Cloro Residual	-	-	0,15	0,5

A: Cultivos Industriales, Cereales y Semillas
B: Forraje Verde, Olivos, Nogales, Almendras y Citricos
C: Frutas y Vegetales para procesamiento, Vegetales que se cocinan, Frutas pelables, Canchas de Golf, Canchas de Fútbol
D: Todo cultivos sin restricción, Cultivos de consumo crudo, parques municipales, prados

Requisitos Internacionales para Reutilización de Aguas Servidas, Dpto de Salud pública de USA (P25):

Parámetro de Calidad	Categorías Específicas de Aplicación					
	A	B	C	D	E	F
Coliformes Fecales, NMP/100ml	1.000	1.000	1.000	1.000	2,2	1000
pH	4,5[illegible]	4,5[illegible]	4,5[illegible]	4,5[illegible]	4,5[illegible]	4,5[illegible]
Turbiedad, NTU	-	-	-	-	1	-
Virus Entéricos, (PFU/40l)	-	-	-	-	-	-
Entamoeba Histolística	-	-	-	-	N.D.	-
Ascaris Lumbricoides (huevos)	-	-	-	-	N.D.	-
Teniasl argas	-	-	N.D.	-	-	N.D.

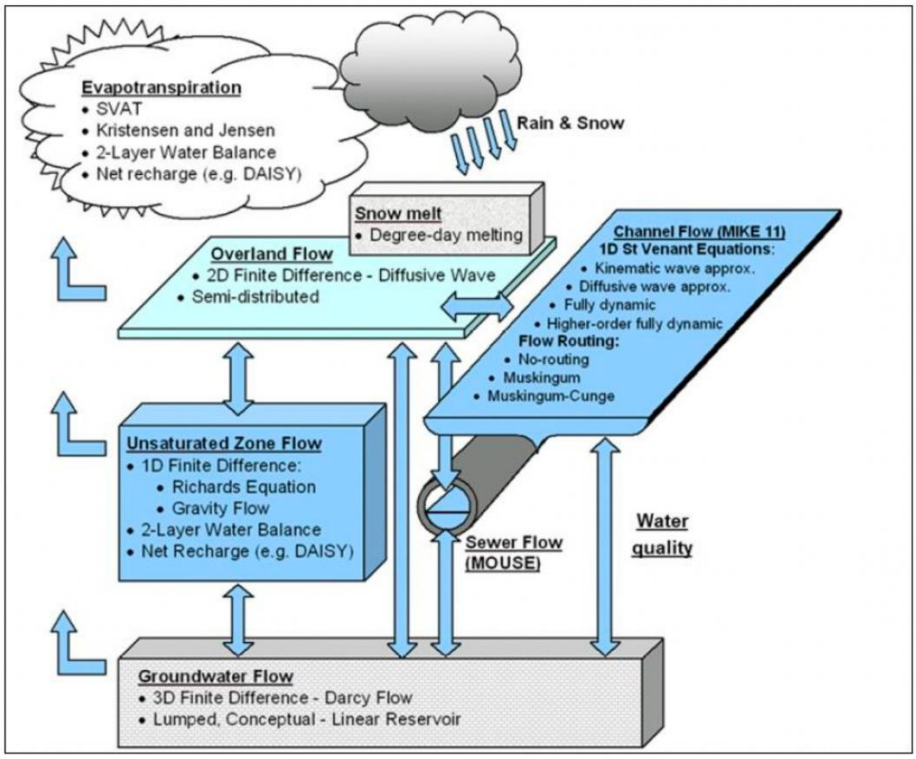
A: Huertos
B: Fibras, Semillas y Cultivos Forrajeros
C: Pastizales
D: Cultivos para alimentos procesados
F: Vida acuática

Requisitos Internacionales para Reutilización de Aguas Servidas, Environmental Protection Agency (EPA-2012) (P26):

Categoría de Uso	Tratamiento	Requisitos de Calidad [1]	Requisitos de Control	Distancias de Aplicación [2]
Uso en Agricultura				
Cultivos Alimentarios El reuso de aguas servidas tratadas para riego superficial o por aspersión de cultivos alimentarios destinados al **consumo humano, consumidos crudos.**	Segundario[3] Filtración[4] Desinfección[5]	pH=6,0-9,0 ≤ 10 mg/L DBO ≤ 2 UNT Turbiedad Coliformes Fecales /100ml: ND Cloro Residual: 1mg/L	pH - Semanal DBO5 - Semanal Turbiedad - Continua Coliforme Fecal - Diario Cloro Residual Continuo	15m: pozos de agua potable, 30m: en suelos porosos
Cultivos Alimentarios El reuso de aguas servidas tratadas para el riego superficial de cultivos alimentarios destinados al **consumo humano, procesados comercialmente.**	Segundario[3] Desinfección5	pH=6,0-9,0 ≤ 30 mg/L DBO	pH - Semanal DBO5 - Semanal	90m: pozos de agua potable, 30m: areas publicas accesibles (Irrigación por aspersión)
Cultivos No Alimentarios El reuso de aguas servidas tratadas para el riego de **cultivos que no son consumidos por los seres humanos**, incluyendo forraje, fibra y cultivos de semillas, o para irrigar pastizales, viveros comerciales y granjas de césped.		≤ 30 mg/L SST Coliformes Fecales /100ml: <200 Cloro Residual: 1mg/L	Coliforme Fecal - Diario Cloro Residual Continuo	

[1] Aplicable al punto de descarga de las instalaciones de tratamiento de las aguas servidas.
[2] Distancias para la zona de protección de la contaminación de fuentes de agua potable y de la exposición directa de personal a las aguas de reutilización.
[3] Tratamiento secundario incluye sistemas de lodos activados, filtros percoladores, biodiscos o lagunas de estabilización, cuyos efluentes no deben excederse en 30mg/L de DBO5 y SST.
[4] Filtración incluye infiltración en suelos naturales o filtración en medios granulares, o membranas.
[5] La desinfección incluye la cloración, para los efectos de destrucción, remoción o inactivación de microorganismos patógenos.

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Flores Audibert, R. (2024). Introducción a la modelación hidrológica [Material de clase, asignatura Evaluación de los Recursos]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** Aplicación típica de modelación hidrológica (P6): • Objetivos de la modelación • Selección del tipo de modelo • Formulación y Construcción • Prueba del Modelo • Aplicación del Modelo **Redacciones propias:** La modelación hidrológica sirve como una herramienta para **evaluar íntegramente la interacción entre saneamiento rural, disponibilidad de agua y el medio natural,** aportando un soporte técnico para proponer **criterios de planificación y gestión del saneamiento en zonas rurales de Chile.** Identificando zonas más adecuadas para disposición de efluentes tratados, zonas inundables o con sobrecargas hidráulicas por lluvias intensas, crecidas o variaciones estacionales. Siendo un factor importante para la planificación territorial del saneamiento rural.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** aplicar modelación hidrológica integrando saneamiento rural.

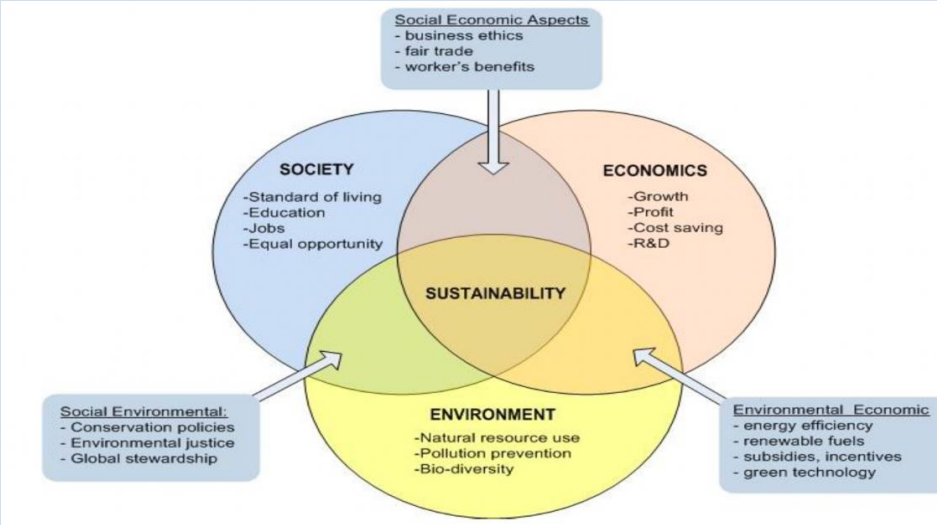
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Modelo MIKE-SHE (P19): 

	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Martín Vide, J. (2024). El agua en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (Clase 6) y notas sobre planificación hidrológica (Clase 10) [Material de clase, asignatura Gestión y Planificación de los Recursos Hídricos]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Clase 6:** Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (P9 a 11): Datos (P10): • 3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros y 6 de cada 10 carecen de saneamiento seguro. • Las mujeres y las ni√±as son las encargadas de recolectar agua en el 80% de los hogares sin acceso a agua corriente. • La escasez de agua afecta a m√°s del 40% de la poblaci√≥n mundial y se prev√© que este porcentaje aumente. Más de 1.700 millones de personas viven en cuencas con consumos mayores que la recarga. • 4 mil millones de personas carecen de acceso a servicios b√°sicos de saneamiento. Unos 892 millones de personas defecan al aire libre. • Más del 80% de las aguas residuales se vierten en los r√≠os o el mar. • Cada d√≠a, alrededor de 1.000 ni√±os mueren debido a enfermedades diarreicas asociadas a la falta de higiene. • Aproximadamente el 70% de todas las aguas extra√≠das de los r√≠os, lagos y acu√≠feros se utilizan para el riego. • Las inundaciones y otros desastres relacionados con el agua representan el 70% de las muertes por desastres naturales. Metas (P11): 6.1Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible. 6.2Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad 6.3Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertido y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial 6.4Aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce. 6.5Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles. 6.6Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua. 6.aAmpliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización

	6.bApoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento (P16)“Mitigación, adaptación y una nueva cultura del agua, en la que el agua se contempla como un activo ecosocial.” **Clase 10:** Hacia una nueva cultura del Agua (P7): -Necesidad de una gestión del agua y de una planificación hidrológica e hidráulica sostenibles y adaptadas al nuevo contexto climático. -Por encima de todo, la garantía del suministro de agua a toda la población a un precio razonable. -Ahorro y eficiencia hídrica en todos los sectores. -Uso doméstico de las aguas grises. -Aprovechamiento de las aguas pluviales. -Reducción de las pérdidas en las redes de distribución. -Regeneración y reutilización de aguas grises. -Gestión de la demanda de agua. -Asumir el principio del agua como activo ecosocial -Gestión integrada del agua y del territorio. La planificación territorial como la mejor y más barata herramienta para disminuir los riesgos hídricos. **Redacciones propias:** Los antecedentes del **ODS 6** evidencian que aún existen grandes brechas en el acceso al agua potable y al saneamiento seguro, junto con una gestión insuficiente de las aguas residuales y una creciente presión sobre los recursos hídricos. Por ello, la gestión integrada del agua, el tratamiento y la reutilización de aguas residuales, y la planificación territorial surgen como elementos clave para avanzar hacia sistemas sostenibles.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Definir:** Estos lineamientos refuerzan la importancia de integrar el saneamiento rural con la planificación hidrológica y territorial, permitiendo identificar zonas adecuadas para la disposición o reutilización de efluentes tratados y contribuyendo a una gestión del agua entendida como un activo ecosocial.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

Desarrollo Sostenible (Clase 6, P13):



Interplay of the environmental, economic, and social aspects of sustainable development.
Credit: Mark Fedkin. Adopted from the ***University of Michigan*** *Sustainability Assessment [Rodriguez et al, 2002]*

Desarrollo Sostenible (Clase 10, P8):



	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Molina Paredes, X. (2024). Evaluación de la calidad del recurso hídrico (Clase 1 y Clase 4) [Material de clase, asignatura Gestión de la Captación y Tratamiento de Aguas]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Reutilización de Aguas Servidas Calidad del agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Observaciones de Mejoras (Clase 1 P47):** •Límites de análisis en laboratorio para detección de compuestos altos, no se puede aplicar normativa •Información de calidad de agua del país desactualizada •Información limitada, de principales impactos ejemplo: Agroquímicos, Compuestos farmacéuticos, orgánicos •Metodologías analíticas diferentes no uniformes •Falta valores de referencia nacionales, se aplica nivel internacional •Problema de sistemas eutrofizado e información de contaminación difusa •Plantas de tratamiento vierten desechos a sistemas lacustres **Nuevas Fuentes de Agua (Clase 1 P49):** • **Reúso de Aguas servidas:** Desafíos en cuanto a contaminantes emergentes y Resistencia antimicrobianos para uso compatible con la agricultura. • **Trasvase de cuencas:** Análisis de calidad de aguas para evaluar impactos positivos y negativos de trasvases, contaminantes emergentes,Resistencia antimicrobianos. • **Desalación:** Calidad de desalación para diferentes usos (potable, riego, etc.) puede requerir diferentes tecnologías. • **Aguas grises:** Análisis de acuerdo a usos. Uso directo para riego ornamental y previo tratamiento para otros usos en agricultura. **Proponer soluciones técnicas para detener un potencial proceso de eutrofización en lagunas, y otros riesgos exógenos identificados (Clase 1 P52):** 1. Control Carga Externa 2. Control carga interna: dilución, aireación, magnetismo 3. Biomanipulación 4. Definir USO humedal para determinar su nivel de Calidad de Agua. **Ejes de transición hídrica, destaca (Clase 4 P24):** ▪ Integración recurso hídrico a planificación ▪ Gobernanza nivel cuenca ▪ Protección cabeceras cuenca ▪ Medidas, incentivos para conservación **Reforma Código Aguas, Ley N21.435, Atribuciones de la DGA: normas sobre conservación y sustentabilidad (Clase 4 P26):** • Consumo humano, el saneamiento y el uso doméstico de subsistencia son prioridades.

- Autoridad velará por armonía y equilibrio entre reserva agua para la preservación ecosistémica y función productiva. Se fortalece la calidad del agua como un bien nacional de uso público.

Hoja de ruta para la gestión sostenible de la cuenca del lago Llanquihue (clase 4 P27), Proceso Participativo:

- Comité Ejecutivo: Publico-privado –sociedad civil -academia
- Comité Técnico: Expertos : publico-privado –academia
- Mesas Técnicas: Salmones, Agrícola, Urbanización, Parcelaciones,
- Turismo-Recreación.

Hoja de ruta para la gestión sostenible de la cuenca del lago Llanquihue (clase 4 P28), Plataforma de visibilización:

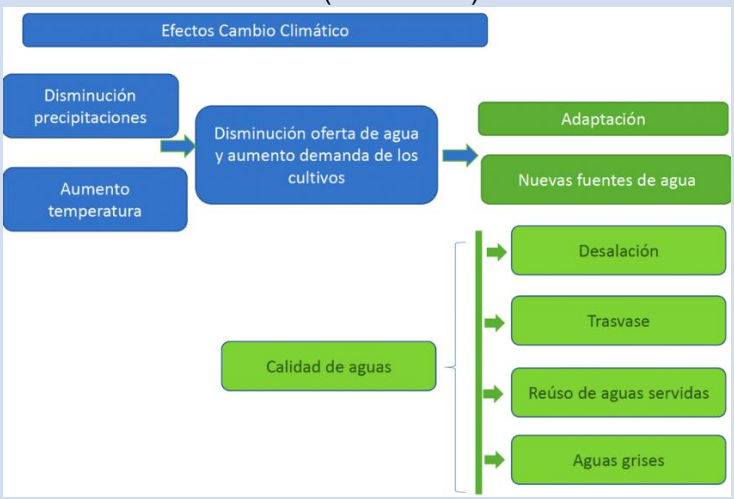
- Parámetros de contaminación
- Información actualizada, periódica y abierta a la comunidad.
- Establecer acceso a información periódica sobre el estado del lago, por un código QR instalado en señaléticas dispuestas en el borde costero.
- El plan además incluye soluciones de alcantarillado.
- Implementación de programas de infraestructura crítica, como el seguimiento del Plan de Recuperación de Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos (Essal).

Observaciones Gestión hídrica (Clase 4 P29):

- Educación: en temas de seguridad hídrica: salud humana y de ecosistemas.
- Importancia de la participación local informada
- Protección y restablecimiento de conservación de ecosistemas: Monitoreo de seguimiento participativos, incrementar conocimiento local para conservación de ecosistemas.
- Acciones para reducir presiones antrópicas (contaminación y fragmentación de hábitat).
- Gestión ciclo hidrológico

Redacciones propias:

En materia de gestión y calidad del agua evidencian importantes brechas en el monitoreo y regulación, tales como la desactualización de la información de calidad de agua, la falta de metodologías analíticas estandarizadas y la ausencia de valores de referencia nacionales para diversos contaminantes, lo que obliga a utilizar criterios internacionales. Asimismo, se identifican riesgos asociados a contaminantes emergentes —como agroquímicos y compuestos farmacéuticos— y a procesos de eutrofización en sistemas lacustres vinculados a descargas y contaminación difusa. En este contexto, el desarrollo de nuevas fuentes de agua, como la reutilización de aguas servidas, la desalación o el uso de aguas grises, requiere evaluaciones integrales de calidad y riesgo. También, como lo indica el código de Aguas, la prioridad es el consumo humano, generando armonía entre reserva de aguas para la preservación ecosistémica y la función productiva. La política regional para la sostenibilidad hídrica de la Región de Los Lagos, con ejemplo la gestión sostenible de la cuenca del lago Llanquihue es un claro ejemplo de lo que se debe considerar para una gestión integral del recurso hídrico.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** hacia un enfoque de gestión integrada del recurso hídrico. **Avalar:** respaldar la necesidad de mejorar la gestión del saneamiento y tratamiento de aguas.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Efectos Cambio Climático (clase 1 P48):  Ejes de transición hídrica (Clase 4 P24): 

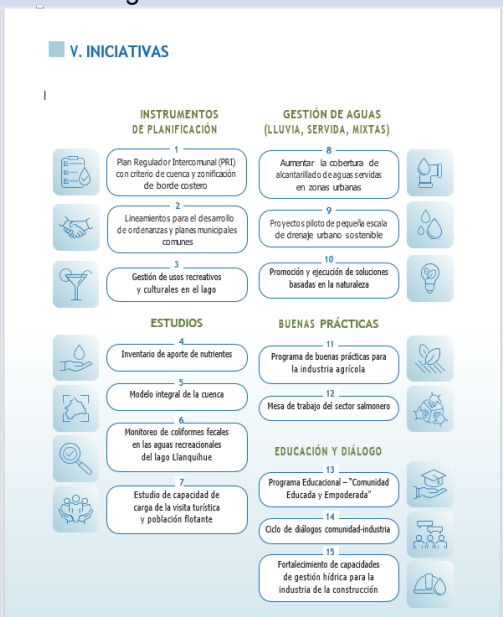
Visión futuro de la cuenca del lago Llanquihue, 30 años (Clase 4 P27):



Metas de la hoja de ruta gestión sostenible de la cueca del lago Llanquihue (Clase 4 P28):



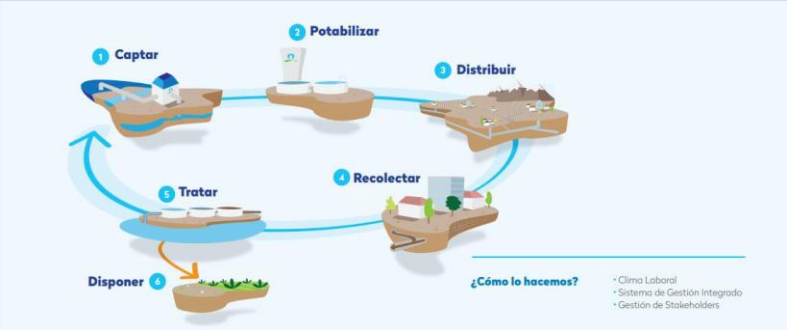
Iniciativas gestión sostenible de la cueca del lago Llanquihue (Clase 4 P28):



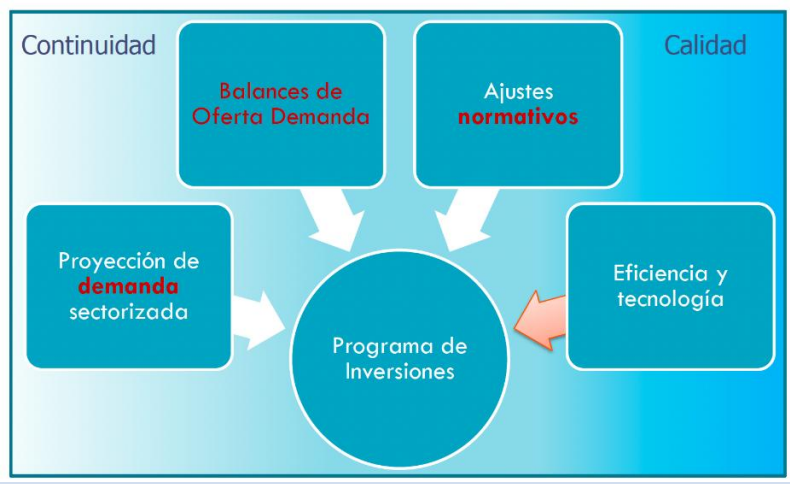
	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kresse Zamorano, A. (2024). Planificación en la industria sanitaria [Material de clase, asignatura Planificación y Dirección Estratégica]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Industria Sanitaria en Chile, definiciones (P3):** “Tan importante como las soluciones técnicas es el marco regulatorio y económico en que se prestan los servicios sanitarios.” **Industria Sanitaria en Chile, conceptos (P5):** “El costo real del agua es el que se genera cuando nos quedamos sin agua.” **Planificación operativa: CAPEX (P31):** • Los programas de inversiones se construyen con el objetivo de asegurar la calidad y continuidad de las distintas etapas de servicio. • Las permanentes evaluaciones de capacidad de las instalaciones y los BOD, permiten determinar las necesidades de cada sistema para los años venideros. • Las soluciones a aplicar dependen de los formatos de prestación, de aspectos económicos, de factores locales y de múltiples otras variables. **Planificación del negocio (P33 A 36):** Marco Regulatorio / Participación Gremial Sustentabilidad Social Sostenibilidad Cambios en la regulación **Redacciones propias:** La planificación utilizada en la industria sanitaria puede aportar herramientas relevantes para el desarrollo de sistemas de Servicios Sanitarios Rurales interconectados, especialmente en materias de proyección de demanda, diseño de infraestructura, gestión integrada de redes y estructura matricial técnica. A través de planes de desarrollo, análisis de crecimiento poblacional y optimización de economías de escala, es posible anticipar necesidades de expansión y definir soluciones sanitarias más eficientes a nivel territorial. Aplicar estos para los SSR permitiría coordinar la operación de varios de manera conjunta, optimizando inversiones, reduciendo costos operacionales y fortaleciendo la continuidad del servicio.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar**	**Definir:** criterios técnicos y marcos de referencia. **Complementar:** aporte estructural y administrativo de como planifica una sanitaria y es aplicable a los SSR.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

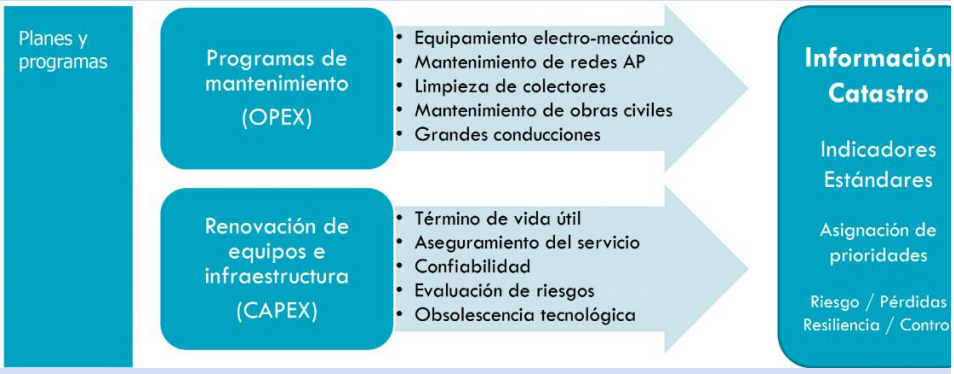
Etapas del Servicio Sanitario (P6):



Planificación operativa: CAPEX (P31):



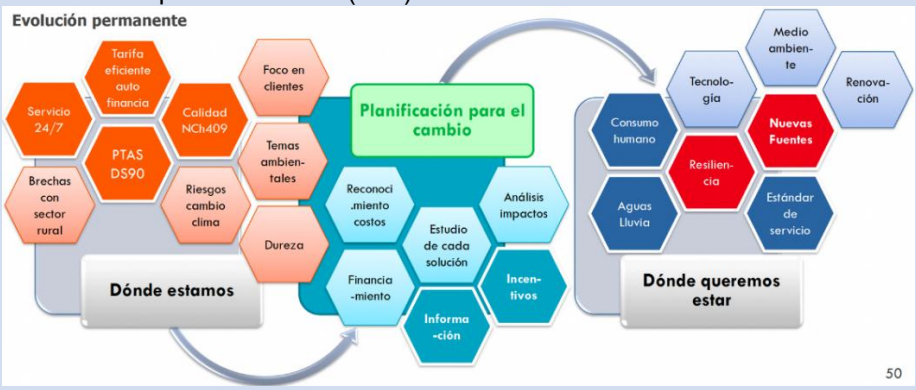
Planificación operativa: OPEX (P32):



Organización para planificar Ingeniería (P42):



Planificación para el Cambio (P49):



El Valor de la seguridad Hídrica (P69):

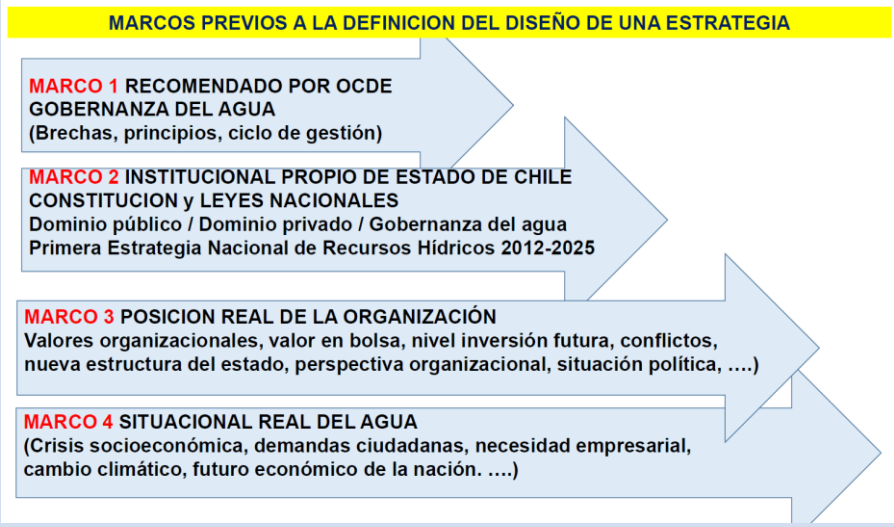


	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL

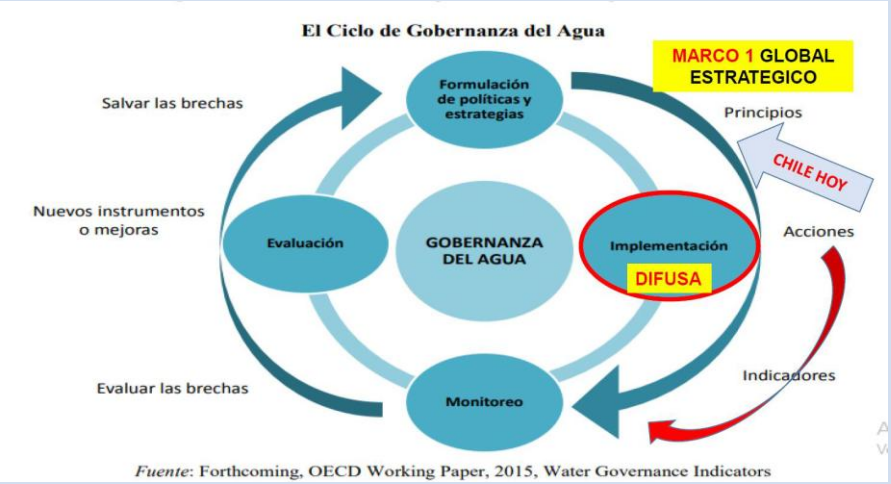
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Chibbaro Sch., A. (2024). Estrategias regionales para el agua y experiencia en la Región de Valparaíso [Material de clase, asignatura Planificación y Dirección Estratégica]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Solución práctica (P2):** “Avanzar en el marco disponible PERO teniendo como norte la gestión por cuenca (diferente a autarquía por cuenca)”. **Desafíos (P3):** “Tener Visión estratégica y Capacidad táctica para prever y adecuarse a nuevos paradigmas” **Soluciones y modelos de gestión sostenibles requieren (P4):** • Visión Estratégica (pais, sociedad y territorio) • Planificación (no solo plan de negocio) • Estabilidad en el tiempo (políticas de estado) • Participación y Compromisos de los afectados (participación ciudadana) • Recursos acordes con la magnitud y prioridad del problema hídrico • Equidad en el acceso al agua (como derecho humano y base para el desarrollo productivo) **Pilares para una política hídrica (P19):** • Seguridad Oferta: nuevas fuentes de agua, infraestructura de acumulación y conducción, proteccion de los ecosistemas, monitoreo de cantidad y calidad de Agua. • Sostenibilidad Demanda: Eficiencia en uso agua, producciones resilientes a la escasez hídrica, educacion para uso racional y equitativo. • Organización y Gobernanza: Institucionalidad regional para los recursos hídricos, coordniación, información y participación ciudadana y fortalecimiento de las organizaciones de Usuarios. **Consumo Humano y saneamiento (P22):** “fortalecimiento de APRs mediante capacitación integral de sus dirigentes y personal técnico, revisión de aspectos legales y transferencia de herramients de gestión y técnicas básicas” **Conclusiones (P32):** • Desalación y reuso de aguas residuales como fuentes de agua para la producción agroalimentaria Cambiar el paradigma del agua “gratis” por uno de agua incorporada en el negocio agroalimentario. Y poner aguas de emisarios submarinos a disposición de la agricultura. • Definición y priorización de las inversiones en seguridad hídrica con visión estratégica de largo plazo, desamarrando la evaluación de los proyectos de los criterios de costo-beneficio de corto plazo y analizándolos de forma participativa y transdisciplinaria. **Redacciones propias:**

	Se plantea una orientación hacia la gestión por cuenca, incorporando una visión estratégica de largo plazo, planificación territorial y estabilidad en las políticas públicas. Se destaca la participación ciudadana -o de usuarios del agua- y equidad hídrica para un modelo de gestión sostenible.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** pilares para una política hídrica con modelos de gestión sostenibles.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rubio Romero, P. (2024). Planificación y dirección estratégica [Material de clase, asignatura Planificación y Dirección Estratégica]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **PESTEL (P21):** es una herramienta de marketing que permite conocer el entorno de una empresa y los factores externos que pueden afectarla. Político , Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal. Una estrategia es un conjunto de decisiones dinámicas (de acuerdo a los valores reales de la organización) para lograr un fin deseado (fin cercano: misión / fin futuro: visión) a partir del análisis de factibilidades (posibilismos en los cuatro marcos). Las estrategias tienen 3 niveles: estratégico, táctico y operativo. **Errores Estratégicos en Planificación y Desarrollo de Organizaciones (P27):** •Falta de estrategia o planeación técnica • Asignación insuficiente de recursos • Disposición de información deficiente o inexacta • Desatención al principio deinclusividad • Ausencia de flexibilidad ante la multiculturalidad de Latino América • Falta de simultaneidad • Falencia en materia de comunicaciones • Ausencia de adhesión del nivel directivo de la agencia al reto social • Falta de personal calificado y operatividad del equipo de trabajo **Redacciones propias:** Se plantea la importancia de incorporar análisis estratégicos integrales en la planificación del saneamiento rural, fortaleciendo la toma de decisiones, la asignación de recursos y la participación de los actores locales para lograr sistemas de gestión más sostenibles y eficientes. Asimismo, se reconocen los errores en procesos de planificación —como la falta de estrategia técnica, escasez de recursos, información insuficiente, baja participación o carencia de personal capacitado— reflejan desafíos frecuentes en la gestión de servicios sanitarios rurales.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** diseñar una estrategia integral en la planificación del saneamiento.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Cuatro marcos previos a la definición del diseño de una estrategia para la gestión del agua (P6):  Visión general de los Principios de la Gobernanza del agua de la OCDE, Marco 1 (P7): 

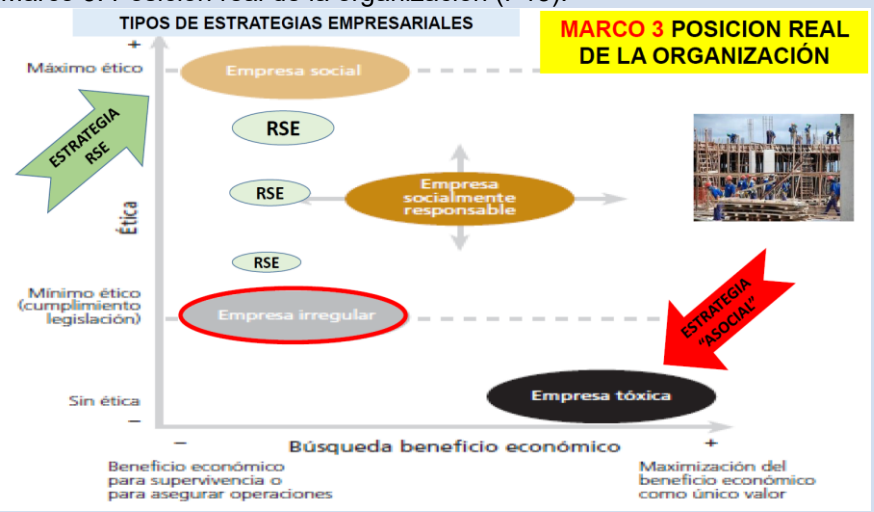
El ciclo de gobernanza del Agua (P8):



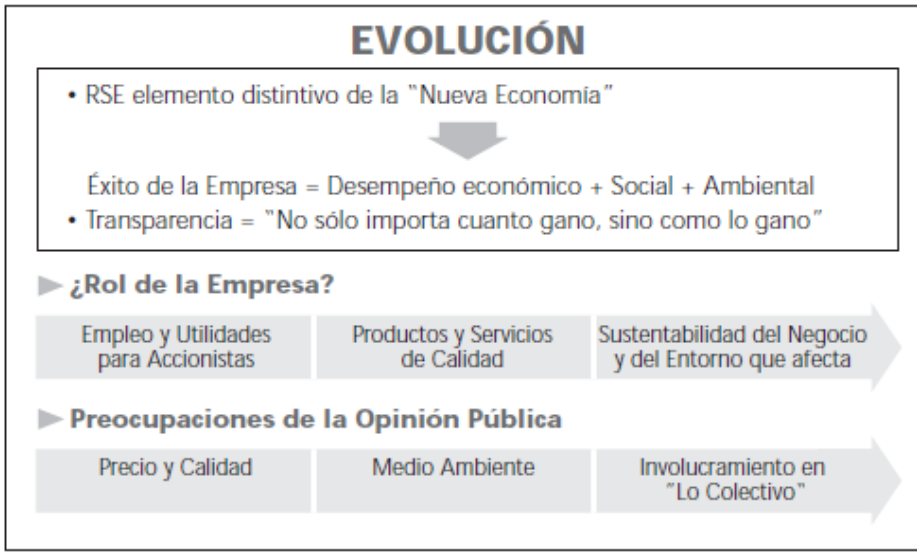
Marco 2: Institucional Nacional Estratégico (P12):



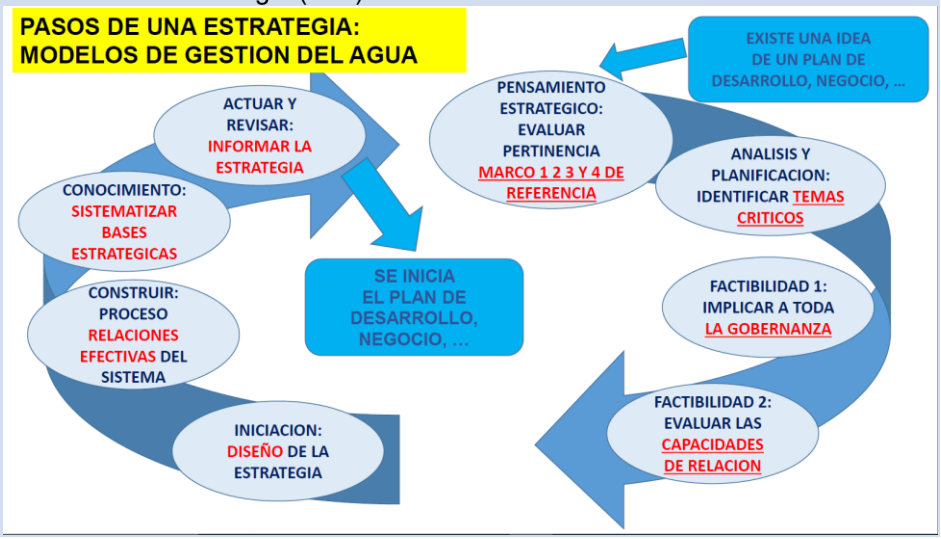
Marco 3: Posición real de la organización (P15):



Evaluar RSE en el Agua, marco 3 (P16):

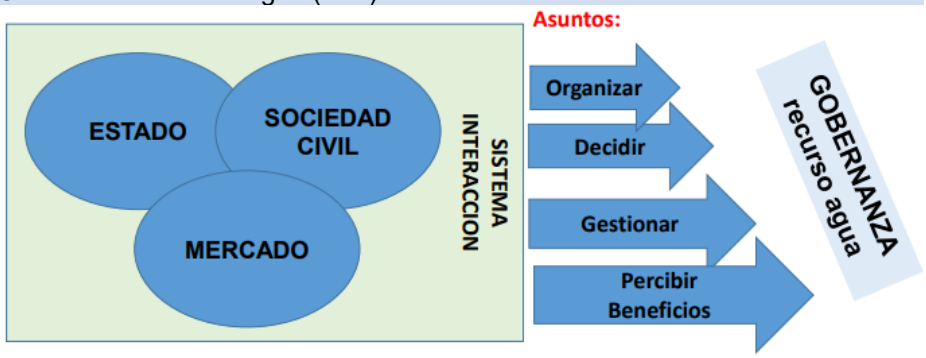
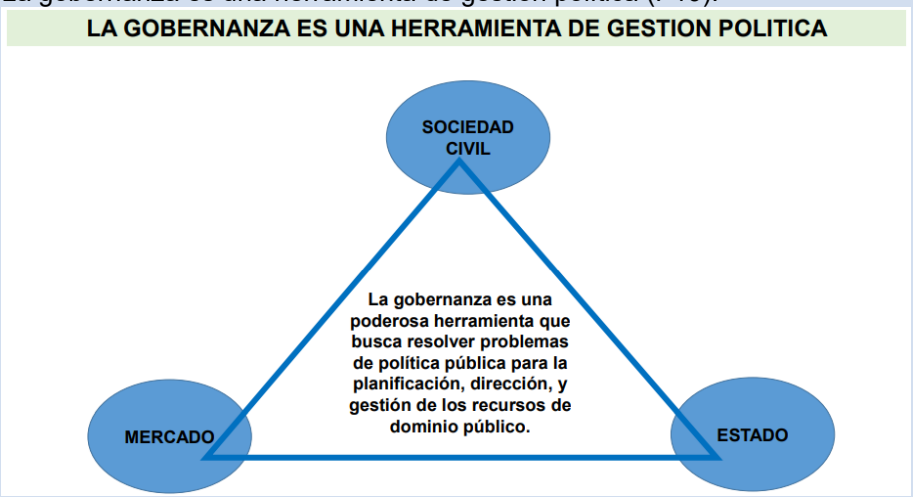


Pasos de una estrategia (P20):



	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rubio Romero, P. (2024). Gobernanza y economía del agua (Parte 1) [Material de clase, asignatura Gobernanza y Economía del Agua]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **La internet sobre gobernanza (P9):** La gobernanza del agua en Chile se refiere a las estructuras políticas, económicas, sociales y jurídicas que se establecen para gestionar el agua. El objetivo es garantizar el acceso a agua de calidad y el desarrollo socioeconómico. Retos de la gobernanza del agua en Chile • Desigualdad en el acceso al agua • Contaminación • Vulnerabilidad a desastres relacionados con el agua • Envejecimiento de la infraestructura • Falta de personal y competencias gerenciales • Gestión desde las cuencas • Autonomía institucional Principios de la gobernanza del agua • Seguridad en el suministro de agua • Equilibrio entre intereses en conflicto • Prioridad al uso doméstico del agua • Igualdad entre hombres y mujeres • Eficiencia, efectividad y confianza • Participación Avances en la gobernanza del agua en Chile • Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC) • Mesas Estratégicas de Recursos Hídricos (MERH) • Propuesta de gobernanza desde las cuencas **OCDE Recomendaciones (P11), tres dimensiones:** EFECTIVIDAD Definir las metas y objetivos sostenibles y claros de las políticas del agua en todos los órdenes de gobierno, en la implementación de dichos objetivos de política, y en la consecución de las metas esperadas. EFICIENCIA Maximizar los beneficios de la gestión sostenible del agua y el bienestar, al menor costo para la sociedad. CONFIANZA Y PARTICIPACIÓN Crear confianza entre la población, y garantizar la inclusión de los actores a través de legitimidad democrática y equidad para la sociedad.

	(P14): “Dominio privado existe para garantizar un espacio de autonomia individua a su titular”. **(P16):** La idea de LA GOBERNANZA surge en la administración pública internacional como parte del reconocimiento del GOBIERNO respecto a su INSUFICIENCIA de no poder hacer solo frente a las demandas de la sociedad. **¿Qué es Gobernanza para el recurso del agua? (P17):** Forma de interacción de toda la estructura del Estado, con todas las organizaciones privadas de la sociedad civil, y actores del mercado, para el control del dominio público del agua. No es una SUBORNIDACIÓN JERÁRQUICA, es una integración sistémica paralela como nación. ‘’Es un sistema de interacción público-privado-civil en la esfera local/comunal/ regional/nacional con todos los asuntos del agua como dominio público’’. **La gobernanza es una herramienta de gestión política (A7C1-G4, P6):** •Stakeholders (SH): todos los interesados. Lo primero que hay que hacer para realizar un estudio de gobernanza. Luego se debe realizar a clasificar y ordenar por jerarquía. •Ordenanza es el arte de hacer algo considerando a todos. **Redacciones propias:** La interconexión de SSR requiere un modelo de gobernanza que permita coordinar comités, instituciones públicas y actores territoriales, facilitando la toma de decisiones conjunta, la gestión compartida de infraestructura y la implementación de soluciones sanitarias sostenibles a escala territorial.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** el enfoque de gobernanza del agua entrega principios y criterios que pueden guiar la forma en que distintos actores —comités de SSR, organismos públicos y actores locales— se coordinan para gestionar sistemas sanitarios interconectados.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Gobernanza recurso agua (P17):  La gobernanza es una herramienta de gestión política (P19): 

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Madrid Aris, M. (2025). Introducción al manejo de los recursos hídricos (Tema 1) y gobernanza del agua (Tema 2) [Material de clase, asignatura Gobernanza y Economía del Agua (Parte 2)]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Agua y políticas Sectoriales (P7, tema 1):** “Desarrollar políticas sectoriales efectivas para el sector hídrico es problemático por un sin número de razones”. “Segundo: administración o gestión integrada de los recursos hídricos (integrated water management) es muy complicado, ya que envuelve aspectos legales, medio ambientales, tecnológicos, regulatorios y también envuelve aspectos económicos y políticos”. “Por ejemplo, la buena administración del recurso depende de habilidad de los gobiernos para establecer el adecuado marco regulatorio y el adecuado nivel de monitorio, fiscalización y de multas. Derechos privados (propiedad) deben ser asegurados y transferibles, incluyendo el derecho a excluir ya sea temporalmente o definitivamente algunos usos del recurso” “Políticas públicas destinadas al manejo y uso de recursos hídricos necesitan reconocer como el **sector hídrico está enlazado con la economía.** Es igualmente importante reconocer como un instrumento de política económica dirigido al agua afecta a otros sectores económicos (a nivel local y/o nacional) como también puede generar efectos en los hogares, firmas, y agricultores. (Por ejemplo: caso de derechos de aguas no consuntivos en Chile)” “Políticas sectoriales afectan los recursos considerablemente. Por ejemplo, el rendimiento de las cuencas en USA en un 70% dependen del efecto nival y cuyas áreas se encuentran bajo jurisdicción pública. Por ende, los rendimientos de las cuencas están ligados a las políticas forestales en dichas áreas. El buen manejo de áreas protegidas en zonas más bajas también son importantes para la evapotranspiración, ya que se afecta el flujo y la recarga del acuífero. Por eso la importancia que los administradores de aguas en las cuidades ubicadas aguas abajo de estas zonas se involucren en las políticas forestales” “Ejemplo: en el caso de Chile, se implementa el DL701 (ley de incentivo forestal) sin ningún estudio de su efecto en los recursos hídricos en el largo plazo (valoración de uso y no-uso del recurso), y su efecto en la agricultura, en las comunidades, ni en los recursos para agua potable, recreación y preservación ambiental (especies, bosque nativo, etc)” **(Clase 2, P2).**Programa de las Naciones unidas (PNUD) define gobernanza del agua como el conjunto de sistemas políticos, legales, socio-económicos e institucionales-administrativos, que afectan de forma directa e indirecta el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos y la entrega de servicios sanitarios en los diferentes niveles de la sociedad.

Gobernanza del agua consiste en regular el agua con equidad y eficiencia en la asignación de los recursos y servicios. Balancear los usos del agua entre las diferentes actividades socio-económicas y el ecosistema.

Brechas a Multi-Nivel (Tema 2, P5):
1) Brecha de Políticas: superposición de roles y responsabilidades (fragmentación de responsabilidades).
2) Brecha Administrativa: desajuste entre las fronteras hidrológicas y administrativas.
3) Brecha de Información: asimetría de información entre Gobierno Central y Regionales (locales).
4) Brecha de Capacidad: falta de capacidad técnica, personal, tiempo, conocimiento e infraestructura.
5) Brecha de Financiamiento: insuficiente fondos o ingresos a nivel regional para implementar políticas.
6) Brecha de Objetivos: intensiva competencia entre ministerios.
7) Brecha de Responsabilidad (rendición de cuentas): falta de preocupación e involucramiento de los ciudadanos y asociaciones en las políticas de agua.

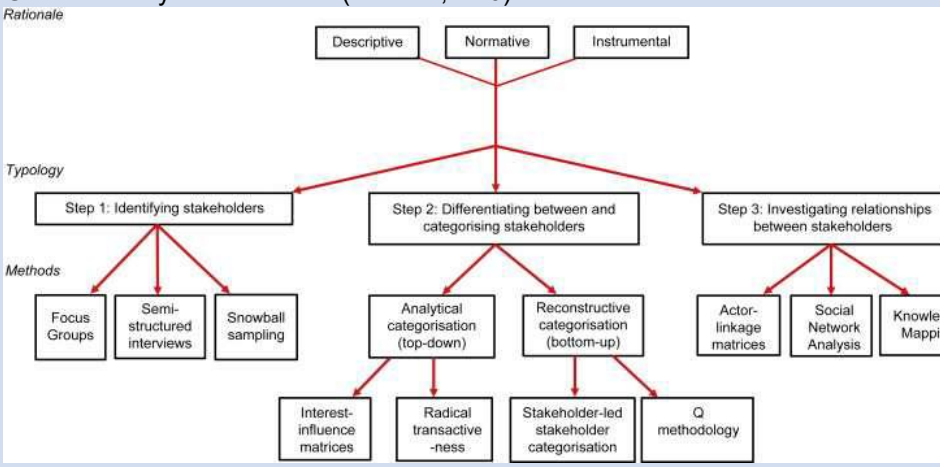
Las Brechas del Agua en Orden de Importancia en Paises OECD (Tema 2, P8):
1) Brecha de Financiamiento: la brecha mas importante en los países de la OECD.
2) Brecha de Capacidad: es la segunda de mayor importancia, especialmente a nivel regional
3) Brecha de Políticas: fragmentación de responsabilidades a nivel nacional y regional.
4) Brecha administrativa: es otro freno a la gobernanza en los países de la OECD.
5) Información y Responsabilidad (accountability): es otra brecha importante. Por esta brecha no se pueden integrar las políticas (nivel nacional con regional) en el 50% de los países Las brechas de objetivos no son tan preponderante

La inclusión de un mayor número de actores o partes interesadas (stakeholders) y expertos en la toma de decisiones sobre el agua puede realizarse mediante los denominados procesos de participación pública y aporta ventajas de diversa índole para la gestión del recurso (Tema 2, P9). Tales como:
1.Favorece la realización de un mejor diagnóstico del problema y más ajustado a la realidad.
2. Permite integrar las diferentes visiones (económica, ambiental, social, cultural, etc.) del agua, posibilitando su gestión con un potencial de menores conflictos fututos y más sostenible.
3. Aumenta la legitimidad de la regulación (normas) o acuerdos adoptadas y corresponsabiliza de las mismas a los actores implicados en su implementación.
4. Posibilita una mayor eficiencia en la implementación de medidas, ahorrando tiempo y recursos económicos.
5. Facilita el monitoreo y fiscalización futura de la regulación a implementar.

A continuación, se presente un breve resumen del Informe OECD sobre gobernanza del agua en Latino América, analizada con un enfoque a multi-nivel de la OECD (Tema 2, P11).
1) Brecha de Políticas: superposición de roles y responsabilidades (fragmentación de responsabilidades).

	2) Brecha Administrativa: desajuste entre las fronteras hidrológicas y administrativas. 3) Brecha de Información: asimetría de información entre Gobierno Central y Regionales (locales). 4) Brecha de Capacidad: falta de capacidad técnica, personal, tiempo, conocimiento e infraestructura. 5) Brecha de Financiamiento: insuficiente fondos o ingresos a nivel regional para implementar políticas. 6) Brecha de Objetivos: intensiva competencia entre ministerios. 7) Brecha de Responsabilidad: falta de preocupación e involucramiento de los ciudadanos y asociaciones en las políticas de agua. **Redacciones propias:** Este marco conceptual resulta relevante porque permite fundamentar que la interconexión de SSR no es solo un desafío técnico de infraestructura, sino también un desafío de gobernanza y coordinación institucional, donde la gestión conjunta entre comités, organismos públicos y stakeholders puede contribuir a reducir brechas de capacidad, financiamiento y gestión, facilitando soluciones sanitarias más eficientes y sostenibles a escala territorial.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** el enfoque de gobernanza y de políticas sectoriales permite identificar los principales desafíos institucionales y de gestión que afectan al sector hídrico. Como las brechas de financiamiento, capacidad técnica, fragmentación institucional y coordinación entre niveles de gobierno. **Complementar:** Marco teórico con fundamentos conceptuales que fortalecen el análisis de la gobernanza para SSR interconectados.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Dimensiones: Económica-Social-Ambiental-Política (Tema 2, P4): 

Gobernanza y Stakeholders (Tema 2, P10):



Resumen de Brechas y Desafíos en LAC en la Gobernanza del Agua (Tema 2, P13):

Table 3.2. **Key multi-level governance challenges for water policy making in LAC countries**

"Important" or "very important" gap	Number of countries	Examples
Policy gap	12 out of 12	Argentina, Brazil, Chile, Costa Rica, Dominican Republic, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Peru
Accountability gap	11 out of 12	Argentina, Brazil, Chile, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Peru
Funding gap	10 out of 12	Argentina, Chile, Dominican Republic, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Peru
Capacity gap	9 out of 12	Chile, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Mexico, Nicaragua, Panama, Peru
Information gap	9 out of 12	Argentina, Brazil, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panama, Peru
Administrative gap	6 out of 12	Brazil, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Peru
Objective gap	4 out of 12	Costa Rica, Guatemala, Honduras, Nicaragua

Note: Only 12 LAC countries were taken into account since Cuba did not answer this specific question.

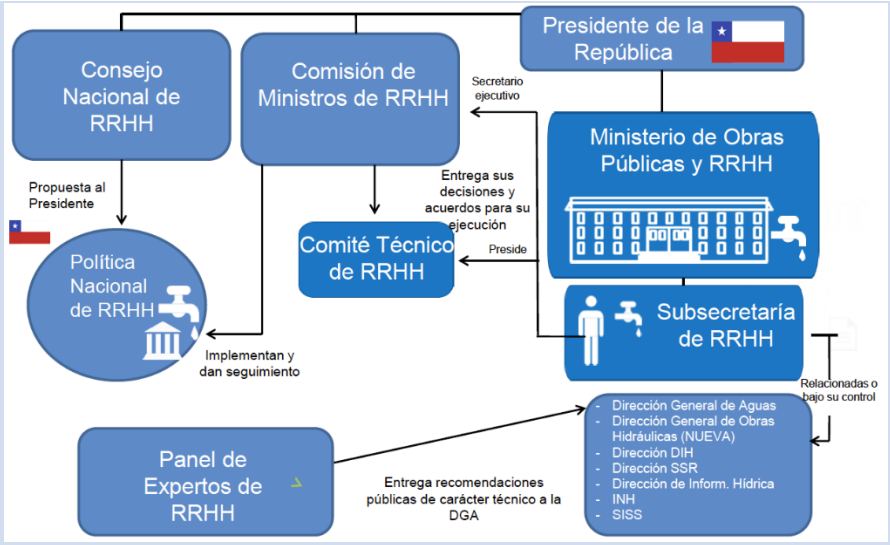
	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Madrid Aris, M. (2025). Gobernanza del agua en Chile (Tema 3) [Material de clase, asignatura Gobernanza y Economía del Agua (Parte 2)]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** Recursos hídricos en Chile y perfil Socioeconómico (P2): “Un perfil socioeconómico intensivo en uso del agua y geográficamente concentrado, ejerce presión sobre los recursos hídricos disponibles. La minería, la agricultura y las actividades manufactureras son la columna vertebral del desarrollo económico y el bienestar de Chile, pero son intensivas en cuanto a consumo de agua.” “En Chile como en muchos países agrícolas, la agricultura representa el 82% del consumo de agua, el suministro de agua potable el 8%, el uso industrial 7% y la minería un 3%.” “La diversidad de condiciones geográficas y climatológicas de Chile requiere de respuestas de políticas basadas en las especificidades territoriales. La infraestructura y regulación que se necesita en el norte de Chile es diferente de la que se requiere en el centro o en el sur del territorio.” Factores a Considerar en la Futura Gobernanza del Agua en Chile (P8): “En Chile el derecho de agua es comercializable, con el objetivo de asignar el derecho de acceso al agua a aquellas iniciativas con el mayor valor en el mercado. Una vez que los particulares están en posesión de sus derechos de aprovechamiento, son responsables de la gestión y distribución de su agua. ¿Cree Usted que esto se cumple?” “…el gobierno pierde su poder para establecer una planificación integral y una visión a largo plazo, ya que no tiene facultades sobre los regímenes de asignación de agua y la priorización de los usos.” La Brecha de la Información (P10): “Una última preocupación son las inconsistencias, o la falta de convergencia entre las fuentes oficiales de datos, y aquellos producidos por el sector privado, además de que la información producida con datos existentes no siempre guía la toma dedecisiones.” La Brecha de las Políticas: Incoherencia de las políticas entre sectores (P11): “El gobierno central de Chile se caracteriza por un alto grado de compartimentación.” “Los ministerios sectoriales trabajan de manera aislada, con mecanismos limitados para asegurar la alineación y la integración entre las áreas políticas y las inversiones.” Brecha en el Tratamiento Terciario en los Sistemas de Alcantarillado (P12): “Los desafíos de Chile en cuanto a abastecimiento de agua potable y saneamiento urbano son similares a los que enfrentan otros países de la OCDE, y son principalmente la mejora y renovación de la

	infraestructura necesaria para mantener los actuales niveles de prestación de servicios y seguridad." "Actualmente, en Chile la norma que establece la calidad de este servicio (SEGPRES N°90/2000) NO obliga a que las plantas de tratamiento de aguas residuales deban tener tratamiento terciario." "La finalidad de los tratamientos terciarios es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno." Los APR en Chile (P14): "Entre los años 2011 y 2014, el 22,1% de los costos inesperados de mantenimiento y operación se debió al deterioro de los sistemas APR. Esto se debe principalmente a la distribución desigual de habilidades técnicas, financieras y de gestión entre los diferentes comités y cooperativas de APR. Existe una pésima gestión de muchos sistemas de APR en Chile." Jaramillo, Zitko y Mena (2020) (P15), concluye (Optimización Tecnológica de Sistemas APR) que "se evidenció una alta dependencia del factor humano y falta de información para la gestión eficiente de pozos y estanques, generándose cortes en el suministro a pesar de contar con agua disponible en los acuíferos." "Luego de la implementación del programa en 23 APRs de la Provincia de Chacabuco durante 10 meses, se generó un software que automatiza la operación del APR de manera que los estanques lleguen siempre llenos a los horarios punta de consumo, evitando así los cortes en el suministro de agua y reduciendo el costo de energía." Los resultados son (P16): 25 % menos de consumo eléctrico 40 % menos de roturas de matrices 30 % mayor disponibilidad de agua **Redacciones propias:** Se identifican debilidades estructurales en la gobernanza, como la limitada planificación integrada por el carácter transable de los derechos de agua, brechas de información y descoordinación entre políticas sectoriales. Los APR presentan problemas de gestión y capacidades técnicas, aunque experiencias de optimización tecnológica evidencian mejoras significativas en eficiencia y continuidad del servicio -lo que sería una telemetría para el control de llenado de los estanques-.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** se fortalece la necesidad de integrar el saneamiento rural con la gestión hídrica, capacidades de los SSR y promover soluciones tecnológicas y normativas que mejoren la eficiencia, calidad y sostenibilidad del servicio.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Millán Romero, M. (2025). Una mirada desde la gestión pública del MOP [Material de clase, asignatura Gestión de Redes]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Regulación Obras Multipropósito
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Nuevo Código de Aguas - Abril 2022 (P17-18):** • Las aguas en cualquier estado son Bienes Nacionales de Uso Público y el acceso al agua es un Derecho Humano que debe ser garantizado por el Estado. • Al decretar escasez hídrica , la DGA puede intervenir una cuenca, priorizando el consumo humano, el saneamiento y uso doméstico de subsistencia y la preservación ecosistémica • **Se podrá autorizar uso transitorio a los APRs, cuando su solicitud de derechos de aguas se encuentre en trámite y no exceda los 12l/s.** • Se crea la posibilidad de derechos de agua para “uso en su fuente” (ecológicos, turísticos, deportivos o recreativos) • Los derechos se pueden transar, sin embargo si se modifica el uso productivo debe informarse a DGA y se puede restringir. • **Plazo para inscribir los derechos actualmente constituidos en el Conservador de Bienes Raíces (se extiende a abril 2027) y registrar en el catastro Público de Aguas DGA.** • Se elaborarán Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en todas las cuencas del país (considerando el cambio climático, disponibilidad de aguas y las necesidades futuras). • Se fortalece la sustentabilidad de los recursos superficiales y subterráneos (sistemas de medición de caudales) • Los nuevos derechos a otorgar serán temporales (30años), aunque con posibilidad de renovación. • Los derechos podrán extinguirse por no uso (obras): consuntivos 5 años, no consuntivos 10 años. **Consejos de Cuenca (P20):** En desarrollo 9 estudios para la elaboración los **Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC),** herramienta que busca generar y sistematizar información física, social y ecosistémica de cada cuenca. La caracterización abarca aspectos climáticos, ambientales, hidrológicos e hidrogeológicos; socioeconómicos y culturales; infraestructura hídrica, redes hidrométricas y de monitoreo; y descripción de la gestión hídrica. **Paralelamente, se conforman las Mesas Estratégicas de Recursos Hídricos (MERH)** para una mejor gobernanza de las aguas y priorización de las medidas requeridas mediante un consenso que busca solucionar las brechas que permitan conciliar todos los usos del agua en la cuenca, priorizando el consumo humano. **Obras Multipropósito (P21):**

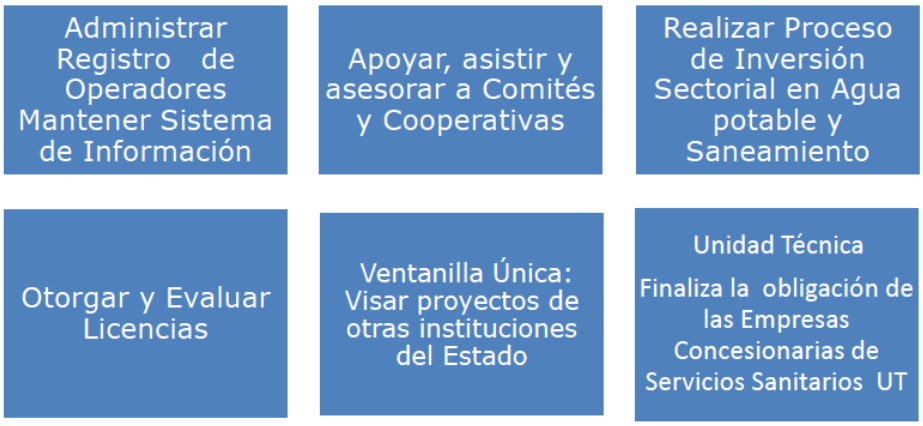
	DFL 850, art17 letra e); Se agrega a las funciones tradicionales DOH lo siguiente: • Plantas de desalinización de aguas, embalses y otro tipo de infraestructura hídrica que tenga por finalidad la ampliación y sustentabilidad de la disponibilidad de agua; y proyectos que incorporen soluciones basadas en la naturaleza. • Propósito: producción u obtención de recursos hídricos que se destinen en forma prioritaria para subsistencia, que incluye el uso para el consumo humano, el saneamiento y el riego. • La DOH podrá ofrecer las aguas resultantes y su producción a prestadores de servicios sanitarios. También estas obras podrán, en forma residual, destinarse a otros fines de carácter multipropósito. **Redacciones propias:** Se destaca la necesidad de fortalecer el rol del Estado en la asignación y control de los recursos hídricos, mediante una estructura organizacional que parta desde el Ministerio de Obras Públicas y de Recursos Hídricos, bajo esta dirección se articulen todas las instituciones vinculadas a la gestión del agua. Asimismo, se destaca la incorporación de instrumentos como los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC) y las Mesas Estratégicas de Recursos Hídricos (MERH), los cuales permitirían avanzar hacia una planificación integrada que considere a todos los actores involucrados. En conjunto, estas medidas refuerzan un enfoque orientado a la seguridad hídrica, la sustentabilidad y la gobernanza, configurando un marco más robusto para la implementación de soluciones de saneamiento y una gestión eficiente del agua en territorios rurales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir**	**Complementar:** el rol del estado en gestión de los recursos hídricos.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Propuesta nueva Institucionalidad Pública de Recursos Hídricos (P16):



TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Millán Romero, M. (2025). Funciones y gestión de redes en el área pública [Material de clase, asignatura Gestión de Redes]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Servicios Sanitarios Rurales (P46):** • Inicio en la Década de 1960, sólo el 6% de los habitantes de las localidades rurales del país contaba con agua potable. • De los 2.441 SSR, 132 cuentan con apoyo mediante camiones aljibes debido a que sus fuentes de agua han resultado afectadas por escasez hídrica (información 2024). • A la fecha la cobertura de agua potable rural es de un 100% en las localidades concentradas y de un 55% en las localidades rurales semiconcentradas (aquellas que tienen una densidad de al menos 8 viviendas por kilómetro de red), sobre la base de 665 localidades catastradas. • De los 2.441 SSR, 132 cuentan con apoyo mediante camiones aljibes debido a que sus fuentes de agua han resultado afectadas por escasez hídrica (información 2024). **Medidas (P48):** ✓ Implementar medidas que apunten a la eficiencia hídrica. ✓ Desarrollar soluciones estructurales para cuencas con importante déficit hídrico, tales como conducciones que distribuyan agua a varios sistemas, operando como fuente complementaria. ✓ Incorporación de instrumentos tecnológicos que permitan un monitoreo permanente y en línea del agua (telemetría). ✓ Aumentar e incentivar el tratamiento de aguas servidas para su reúso. ✓ Continuar y aumentar el uso de energías renovables en la infraestructura. **Tipos de Procesos y Tecnologías disponibles para tratar las AS (P51):** Los procesos mas usados corresponden a: -Lodos Activados -Lombrifiltro -Biofiltro -Fosas Sépticas **Normas de calidad que deben cumplir los efluentes (P53):** La nueva ley de Servicios Sanitarios Rurales se le da facultades de fiscalización a la Superintendencia de Servicios Sanitarios. No obstante, resultan aplicables las siguientes normas: • DS N°90/2000. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales • DS N°46/2002 Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. • Decreto N°4/2000 Conama. Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.

	• Decreto N°236/1926 y sus modificaciones. Reglamento general de alcantarillados particulares fosas sépticas, cámaras infiltrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias **Avances: Acciones para la implementación de la Ley N20.998 (P54):** A nivel nacional hay 327 SSR (13,5% de los SSR) con algún sistema de tratamiento, éstos se distribuyen de la siguiente forma: ✓Distribución por macrozona: Centro (52%), Norte (26%) y Sur (23%). ✓Tecnología utilizada: Lodos activados (72%), Lombrifiltro (7%), Fosa séptica (8%), Biodiscos (3%), y Lagunas (2%). El resto corresponde a plantas sin información, en construcción o con red de recolección pero sin tratamiento. Se continúa con la implementación de las funciones y capacidades requeridas con la vigencia de la Ley N20.998, con el aumento de funcionarios, equipamiento asociado, vehículos, oficinas y sistema de información. **Redacciones propias:** Se evidencia un avance significativo en cobertura de agua potable en zonas rurales, pasando de un 6% en la década de 1960 a cobertura total en localidades concentradas; sin embargo, persisten brechas relevantes en saneamiento y seguridad hídrica, reflejadas en la dependencia de camiones aljibe en sistemas afectados por escasez y en la baja proporción de SSR con tratamiento de aguas servidas (13,5%). Mientras que la Ley N20.998 fortalece la institucionalidad y fiscalización, lo que impone mayores desafíos técnicos y operacionales a los sistemas rurales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Avalar:** se identifica la brecha de la baja cobertura del saneamiento en el país. **Complementar:** integrar el reúso como herramienta clave para optimizar el recurso hídrico en contextos de escasez.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Obligaciones de la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, Ley N20.998 (P49):



Acciones para la implementación de la Ley 20.998 (P55):

Tema
Conformación de Consejos Consultivos Regionales
Proceso de elección de Consejos Consultivos Nacionales
Incorporación organizaciones en Registro de Operadores
Implementación del Procedimiento de Visación Técnica de Proyectos de SSR Financiados y Ejecutados por Terceros
Implementación del Procedimiento de Aprobación de la Puesta en Operación de Obras de Servicios Sanitarios Rurales Ejecutados por Terceros

	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Leiva H., G. (2025). Desafíos en gestión en ingeniería [Material de clase, asignatura Gestión de Redes]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Importancia (P4):** Representa aproximadamente un 7% del PIB. •Uno de los sectores con mayor número de empresas. • Emplea cerca del 10% de los trabajadores. **La productividad del sector se encuentra estancada o en deterioro (P5):** • Productividad del sector construcción en Chile es de las más bajas en términos intersectoriales equivalente al 80 del promedio del resto de la economía 1 • Productividad del sector construcción en Chile es 52 inferior al promedio OCDE 2 La pérdida de productividad incide en un aumento de los plazos y costos del proyecto. **Análisis de la situación (P9):** • Según la información del SIN, un 30 de los atrasos fueron por causas relacionadas con el diseño y un 54 de los aumentos de costo se debieron a modificaciones de obra. • En el MOP, un 35 de las modificaciones en un año se deben a actividades de pre inversión o diseño deficiente. • La información presentada sugiere que en el país las actividades en la etapa de pre inversión y de diseño no tienen • la profundidad requerida En Chile, estas etapas significan entre el 2 y 3 del costo total del proyecto En la práctica internacional pueden llegar hasta el 10. **La productividad se empieza a definir desde el inicio del proceso (P10):** **“Integración temprana al diseño Planificación integral con enfoque Preconstrucción”** **Acciones para mejorar la productividad (P11):** La fase de diseño es, en general, la última instancia en que es posible impactar significativamente el proyecto a un bajo costo relativo Posterior a esta fase, todo aporte al proyecto trae consigo costos importantes y, usualmente, genera beneficios relativamente menores. **A) Integración Temprana (P13):** Participación de manera anticipada a todos los actores que intervienen en las distintas etapas de un proyecto de construcción. En particular incorporación de profesionales con experiencia constructiva en la etapa de diseño.

	•Incorporación en la etapa de diseño de las distintas visiones constructivas y de soluciones disponibles en el mercado. • Identificación oportuna, antes del inicio de la obra, de factores y/o problemas de construcción que pudieran afectar el diseño •Participación en la elaboración de la documentación de proyecto. B) Incorporación de prácticas de validación de las estimaciones de costo y plazo Asegurar que el grado de definición de los entregables sea suficiente para alcanzar el nivel de precisión exigida a las estimaciones de costos y plazos. El grado de definición se entiende como la especificidad de la información de la licitación memorias de cálculo, planos, especificaciones, cronogramas, etc. **Ingeniería de Detalles en el proyecto (P20):** **Siendo la Ingeniería de Detalle uno de los más importantes factores técnicos que concurren en la obra, es necesario examinar su Incidencia en los resultados de posibles sobrecostos, retrasos y problemas operacionales que podría evidenciar un proyecto al final de su desarrollo.** **Idoneidad (P26 y 27), la solución debe:** •Satisfacer requerimientos de funcionalidad (servicio) y de seguridad • **Satisfacer los requerimientos legales** • Satisfacer disposiciones de la normativa local • Estar orientada a la sustentabilidad con reducción de costos, reducción de consumo de energía, protección de los recursos naturales, protección/aceptabilidad de la comunidad y otros involucrados, etc • Ser “construible”. **Redacciones propias:** Se destaca la necesidad de una planificación integral, siendo la integración temprana de actores y una ingeniería de detalle que satisfaga los requerimientos legales -terrenos regulados o con documentación necesaria para regular-.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** justifica que un diseño integral permite mejorar la viabilidad, eficiencia y aceptación comunitaria, reduciendo brechas.

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Viera Villegas, O. (2025). Gestión de activos industria sanitaria [Material de clase, asignatura Sistemas de Gestión]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Balance de Oferta y Demanda (P22):** •El Balance Oferta – Demanda es una resta entre la capacidad que tiene la infraestructura sanitaria de entregar servicio y la demanda de servicio efectiva sobre ella. • Es deber de la sanitaria mantener o ampliar la capacidad de su infraestructura en la medida que la demanda sobre ella crece. • Lo anterior se hace para toda la infraestructura de la compañía, determinando el año en que alguna infraestructura entraría en déficit. • Se deben programar acciones para paliar el déficit previo a que esto ocurra. **¿Qué aspectos relevantes se espera que entren en discusión? (P43):** • **Planes de disminución de perdidas:** El estado busca potenciar la eficiencia de la operación, y por ende que el sector sanitario disminuya sus porcentajes de pérdidas de distribución y producción, lo que obviamente implicara que se deban levantar obras en esta línea. • **Gestión de riesgos ante desastres:** El estado busca potenciar mayor resiliencia ante el cambio climático y la SISS emitió una guía para determinar riesgos y promover soluciones. A priori las soluciones serían discutidas en tarifas. • **Áreas Grises e Interconexiones de APR:** Es una necesidad atingente de las localidades, que cada vez ira en crecimiento, por lo que se debe buscar la forma de realizar sinergia para incorporar obras que permitan abastecer de servicios a estos sectores. • **Otros:** Calidad efluentes AP y AS (DS90), Reúso de Aguas Grises – Aguas Servidas Tratadas – Tratamiento de Aguas Lluvias. **Renovación y Mantenimiento (P49):** **Programas de Mantenimiento (OPEX)** • Plantas de Tratamiento de AP y de AS • Plantas Elevadoras de AP y AS • Redes de AP • Colectores de AS • Grandes Conducciones • Estanques • Fuentes **Programas de Reposición (CAPEX)** • Reemplazo de equipos electro-mecánicos • Overhaul • Renovación – Rehabilitación de Redes **Renovación y Mantenimiento (P54):** • La tasa de renovación de redes en AP oscila entre 0,4% y 1,0% al año • La tasa de renovación de redes en AS oscila entre 0,2% y 0,8% al año • La vida útil técnica NO debe guiar las tasas de renovación, más bien los indicadores de desempeño esperados.

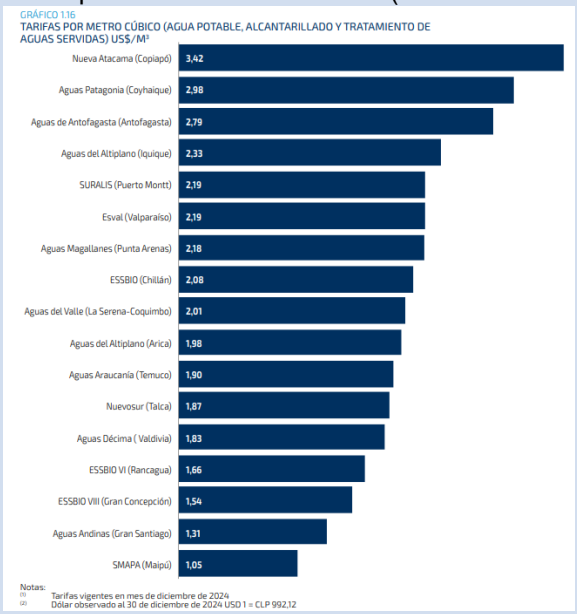
- Dependiendo de las condiciones, existen técnicas para la rehabilitación de redes sin zanja.
- La renovación de redes es una de las líneas más relevantes de inversión de las empresas, siendo el 50% del costo la rotura y reposición de pavimentos.

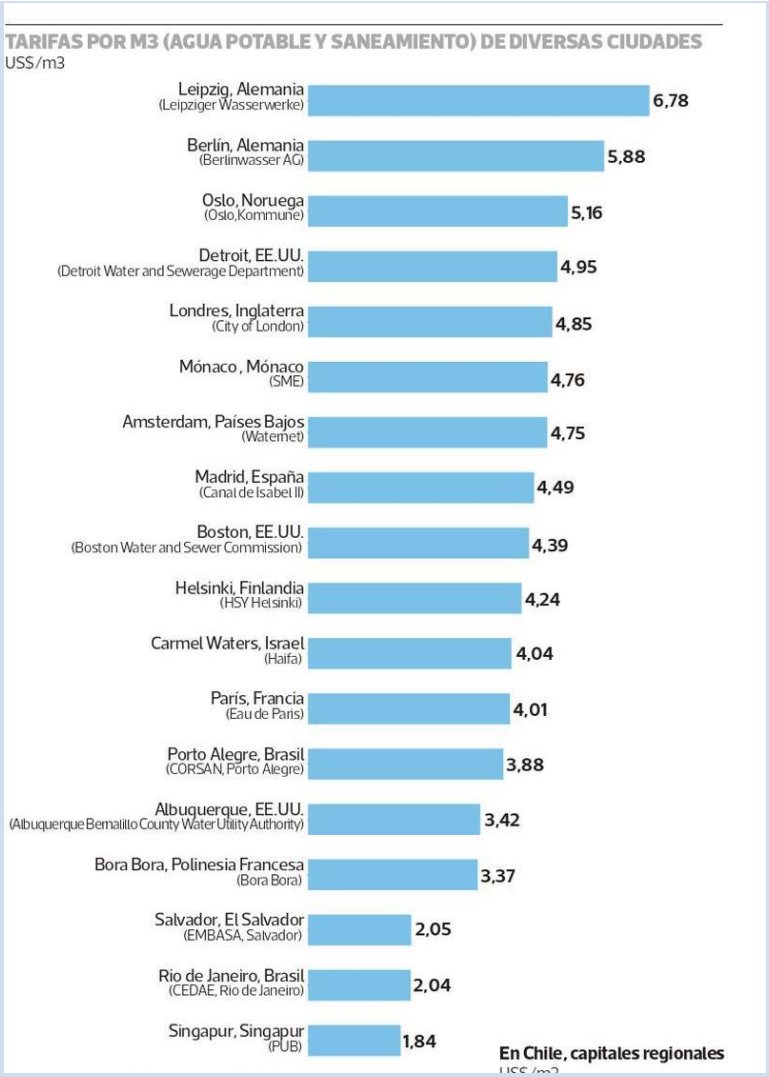
Gobierno de Inversiones (P56):
Objetivos
▪Mantener un proceso de alta calidad y excelencia en la gobernanza en torno al capex.
▪ Determinar un proceso estandarizado de planificación de inversiones para la Compañía, que permita agregar valor en línea con los objetivos estratégicos de la Compañía
▪ Establecer un proceso que permita dar seguridad al cumplimiento sostenido del Business Plan.
Enfoque
▪ Mejor gobernanza y transparencia durante todo el proceso.
▪ Enfoque de selección de inversiones a través de variables estratégicas de riesgo y económicas.
▪ Establecer un proceso definido, con responsabilidades, funciones y roles soportados por una estructura organizacional eficiente
▪ Sistemas de información que proporcionen trazabilidad, seguridad y formalidad a la información
▪ Mayor control en cada etapa de vida del proyecto.
▪ Mejora continua mediante análisis expost.

El proceso de desarrollo de proyectos de capital incluye 2 fases básicas y cinco etapas (P58):

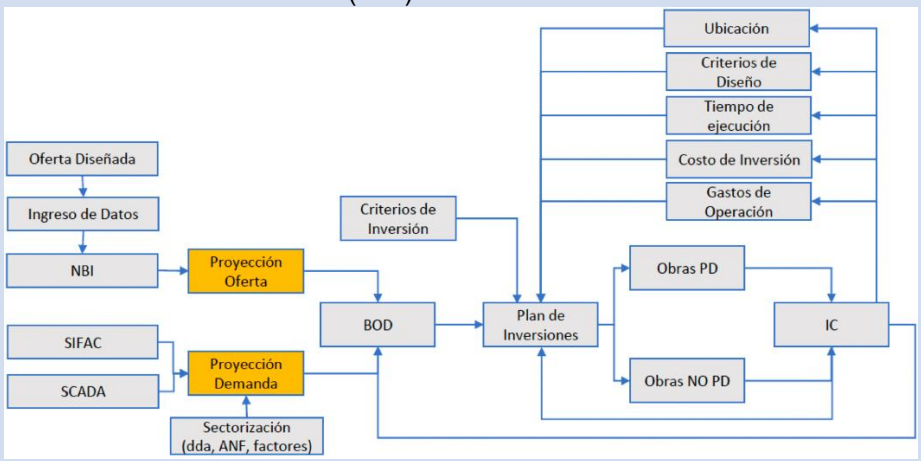
1. Planificación de Inversiones	**A Postular y Validar**	Definir cada proyecto y validar la necesidad que satisface cada uno en el contexto de la estrategia de la compañía.
	B. Priorizar	Refinar el análisis y priorizar los proyectos de mayor valor agregado.
	C. Seleccionar	Seleccionar los proyectos en base a su relación con al estrategia al análisis técnico, financiero y de riesgo, a los objetivos de desempeño y a la capacidad de financiación.
2. Control de Inversiones	**D. Diseñar y E. Ejecutar**	Administrar los proyectos y seguir su desarrollo durante la construcción.
	C. Evaluar	Validar solución técnica y evaluar la realización de beneficios. Adhesión a la estandarización del proceso y de las soluciones técnicas.

Priorización, Metodología de priorización AHP (P59):
▪ El proceso de análisis jerárquico (The analytic Hierachy Procesess), es un modelo cread por Thomas Saaty para resolver problemas de priorización incorporando preferencias de actores involucrados en el proceso participativo de toma de decisión.
▪ El método establece 3 principios para su funcionamiento:
1. Construcción de Jerarquías: establece los distintos niveles de análisis necesario para la obtención de un objetivo definido.
2. Establece Prioridades: comparación de los elementos que se encuentran en un mismo nivel jerárquico de cuanto aporta uno sl objetivo común (“peso”)

	3. Consistencia lógica: comprobar el nivel de coherencia obtenido al establecer prioridades **Herramientas de Gestión (P63):** El Plan Integral de Gestión de Redes y Conducciones de agua potable considera implementar de manera eficiente una serie de componentes para cada una de las cinco capas del modelo. **Redacciones propias:** Se establece un marco técnico–estratégico para la planificación, gestión y priorización de inversiones en infraestructura sanitaria, en donde los SSR podrían aplicar de manera escalonada. Se hace énfasis en la importancia de herramientas de planificación, la cual es mínima para los SSR.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** entrega una base metodológica sólida en base a la experiencia en sanitaria ESSBIO, para proponer modelos de gestión y toma de decisiones más eficientes, transparentes y alineados con criterios técnicos, económicos y de riesgo en el desarrollo de proyectos.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Tarifa por metro cubico en Chile (AP+AS+ PTAS) (P11):  Tarifa por metro cubico en el Mundo (AP+AS+ PTAS) (P11):



Plan de Desarrollo de Essbio(P21):



Proyección de Demanda de caudales de Aguas Servidas(P32):

Clientes Servidos	•Clientes que cuentan con servicio de recolección y disposición de aguas servidas.
Cobertura AS [%]	•Corresponde al % de clientes con respecto al total que reciben el servicio de recolección y disposición de Aguas Servidas
Dotación	•Al igual que en Agua Potable, corresponde al consumo en m3/cliente/mes y l/hab/día.
Caudal infiltración [l/s]	•Caudal incorporado al sistema de recolección, por fenómenos como el contacto con napas subterráneas.
Caudal Aguas lluvias [l/s]	•Caudal incorporado al sistema de recolección por contacto con las aguas lluvias
Carga [kgDBO5/día]	•Corresponde a la carga orgánica del sistema. En particular, se considera el aporte de 0,04 kg/hab/día para su calculo. •Existe carga intrínseca de la población, y carga a nivel de la industria definida como RILES.

Caudal Medio AS	Caudal Máximo Horario AS	Caudal Total	Carga proyectada Total
•Corresponde al caudal medio calculado a partir de la población saneada, dotación de consumo y, a diferencia del caudal medio AP, el factor de recuperación (0,8).	•Corresponde al máximo valor de caudal medio a nivel horario. Para su calculo, se utiliza el caudal medio y el coeficiente de Harmon.	•Corresponde a la suma entre los caudales (medio y máximo horario) y los caudales de infiltración/aguas lluvias.	•Corresponde a la suma entre la carga proyectada de la población y la de los RILES.

Urban Water Management Transitions Framework (P46):

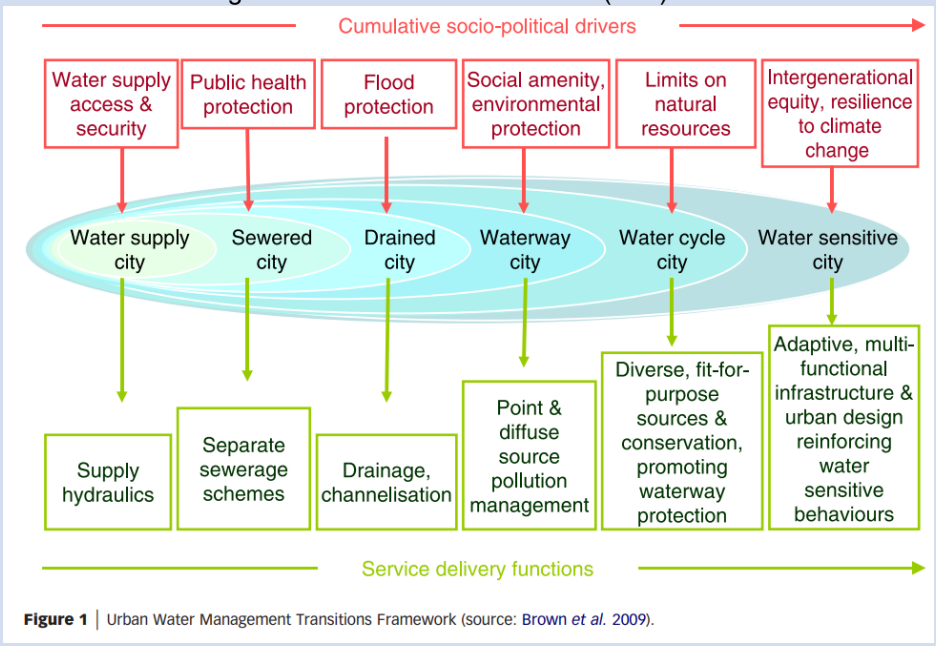


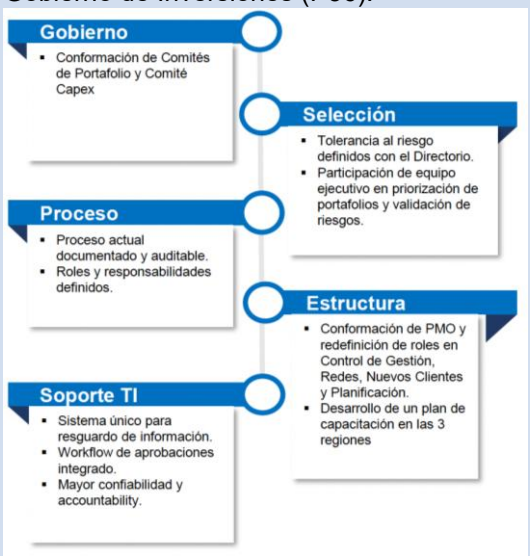
Figure 1 | Urban Water Management Transitions Framework (source: Brown *et al.* 2009).

Renovación y mantenimiento (P51 y 53):

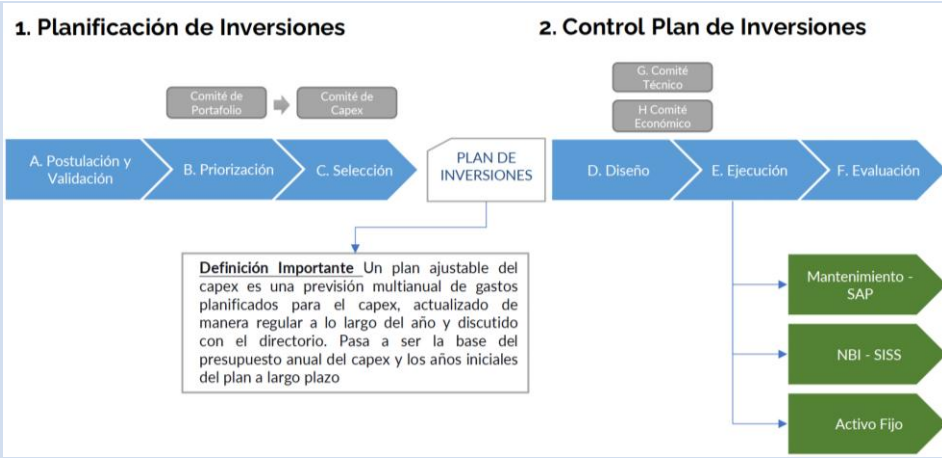
Plan	Ítem	Descripción
Mantenimiento de Plantas	Reposición y reacondicionamiento de plantas	**Desarrollo de pozos** Evitar el deterioro acumulativo, permitiendo aumentar la vida útil de las captaciones, recuperar caudal y aumentar la eficiencia en los sistemas.
		Mantenimiento difusores: Recuperación y mejoramiento del proceso de aireación. Evaluación de riesgo en difusores a partir de horas de funcionamiento, oxígeno disuelto, Sólidos suspendidos totales e inspección visual de operación proceso de aireación.
		Lechos filtrantes Cambio de material filtrante en equipos para recuperación de eficiencia en remoción de parámetros críticos (turbiedad, fierro, manganeso).
	Mantenimiento de estructuras, obras y seguridad en planta	Reponer infraestructura existente, la cual permite mantener la conservación y funcionalidad para la que fue diseñada (galpones, salas de maquinarias, techumbre). En términos de seguridad a las personas, aborda condiciones inseguras provocadas por daño en la infraestructura existente (luminarias, escaleras, radier, pasarelas).
Reposición de Equipos	**Reposición y Reacondicionamiento Equipos**	Mantención equipos con desgaste que ya no cumplen su propósito y de acuerdo a peritaje se reponen o reacondicionan (electromecánicos, dosificadores, instrumentación). **El promedio del equipamiento empresa es de 10 años.**
	Recuperación infraestructura equipos e instrumentos plantas	Equipamiento obsoleto que no tiene repuesto, que no tiene reparación y requiere reposición.
	Overhaull equipos e infraestructura	Equipos que requieren de un overhaul y que no están contemplados en plan de reposición y reacondicionamiento debido a alta tasa de fallas, alto gasto en OPEX acumulado en un periodo de tiempo, en especial equipos únicos con alto impacto en el proceso.
	Mejoras elementos primarios afluente, efluente y By Pass	Renovación de instrumentos y modificación de estructuras hidráulicas básicas para medición de caudal (Cumplimiento NCh 3205).
	Recuperación PLC'S en PTAP y PTAS	Equipamiento obsoleto en PLC's que no tiene repuestos, que no tiene reparación y requiere reposición (ej: Módulos y programación PLC, comunicación, radio y HMI).

Plan	Ítem	Descripción
Continuidad AP	**Plan de Continuidad AP**	El objetivo es reducir la reiteración de discontinuidades en los cuarteles de la red de distribución de agua potable y mejorar la calidad de servicio a nuestros clientes. Para lograrlo se analizan y se diagnostican los cuarteles que presentan reiteración de cortes no programados de responsabilidad de la empresa. Identificando motivos y causas raíz de los cortes.
	Plan de desarrollo reposición redes AP	El objetivo es renovar las matrices de AC para evitar roturas y aumentar capacidad en los casos que lo requiere. La metodología para seleccionar los tramos nace del diagnóstico realizado en el protocolo PR-048 de los tramos con 2 o más discontinuidades.
Mantención de Colectores	**Plan de Mantención de Colector**	• El primer objetivo es reducir las discontinuidades de servicio en la red AS de sectores críticos, mediante la eliminación sistemática del embanque histórico acumulado por medio de la limpieza de colectores con camiones combinados. • El segundo objetivo, es identificar a través de inspección televisiva en los colectores las fallas, donde las principales son roturas, desniveles, desacoples, incrustaciones o uniones domiciliarias pasantes, la que generan discontinuidades en la red que no se pueden solucionar mediante limpieza.
	Plan de Sensorización de la Red	• Identificar sectores donde la red AS de la compañía esté cercana a cuerpos de aguas (ríos, humedales, lagunas, esteros, etc.) o puntos de criticidad, donde sea necesario instalar sensores para monitorear constantemente el nivel de las cámaras. • Realizar un análisis del comportamiento del nivel de la cámara del colector en diferentes épocas del año, especialmente en meses lluviosos.
	Plan de desarrollo reposición	El objetivo es renovar los colectores de CCC para evitar discontinuidades y aumentar capacidad de porteo en los casos que lo requiere. La metodología para seleccionar los tramos nace del diagnóstico realizado en la inspección de video que se realiza luego de la mantención preventiva de colectores. Todo colector con falla estructural califica para el plan de desarrollo

Gobierno de Inversiones (P56):



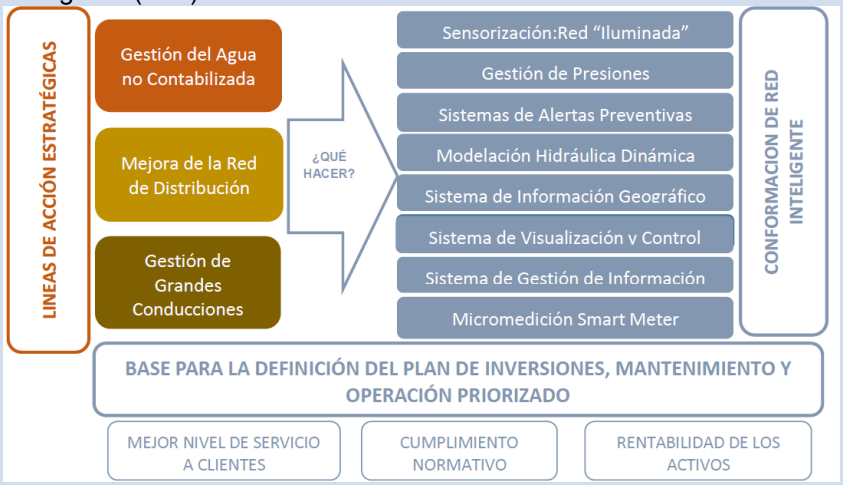
Planificación y control plan de Inversiones (P57):



Metodología de priorización AHP (P60):



Líneas de acción estratégicas y elementos claves a partir de una Red Inteligente (P63):



	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Carvallo González, C. (2025). Gestión de calidad total (TQM) y excelencia operacional (Lean Thinking) [Material de clase, asignatura Eficiencia Hídrica]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios Calidad del Agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Disciplina Operacional (P8):** • Aplicación de principios y prácticas para optimizar la ejecución de tareas y operaciones. • Establecer estándares y procedimientos claros. • Optimizar los recursos. • Mejorar la productividad. • Garantizar la calidad y consistencia en la entrega de productos o servicios. **Principios de la Disciplina operacional aplicados en la Aeronàutica (P11 Y 12):** • Planificación y Ejecución: Se deben seguir los planes establecidos y realizar ajustes adecuados según sea necesario. • Comunicación y Coordinación: Comunicación efectiva y coordinación entre todos los miembros del equipo de operaciones. • Cumplimiento Normativo: Cumplimiento de procedimientos, requisitos de mantenimiento, documentación adecuada y entrenamiento continuo. • Toma de decisiones: Tomar decisiones informadas, en equipo y basadas en datos para garantizar la seguridad y la eficiencia. **Excelecia Operacional (P13):** • Procesode ejecutarunaestrategiade negociode forma másfiabley coherenteque la competencia, lo que se traduce enmayoresingresos, menorriesgooperativoy menorescostosde operación. • No solo es eficiencia; se tratade crearun entornoenelque cadaáreade la organizacióntrabajede forma optimizada, alineadacon losobjetivosestratégicosde la empresay promoviendounaculturade mejoracontinua. **14 puntos de Deming (P28 y 29):** 1. Crear constancia en la mejora de productos y servicios, con el objetivo de ser competitivo y mantenerse en el negocio, además proporcionar puestos de trabajo. 2. Adoptar una nueva filosofía de cooperación en la cual todos se benefician, y ponerla en práctica enseñándola a los empleados, clientes y proveedores. 3. Desistir de la dependencia en la inspección en masa para lograr calidad. En lugar de esto, mejorar el proceso e incluir calidad en el producto desde el comienzo. 4. Terminar con la práctica de comprar a los más bajos precios. En lugar de esto, minimizar el costo total en el largo plazo. Buscar tener un solo proveedor para cada ítem, basándose en una relación de largo plazo de lealtad y confianza.

5. Mejorar constantemente y por siempre los sistemas de producción, servicio y planeamiento de cualquier actividad. Esto va a mejorar la calidad y la productividad, bajando los costos constantemente.
6. Establecer entrenamiento dentro del trabajo (capacitación).
7. Establecer líderes, reconociendo sus diferentes habilidades, capacidades y aspiraciones. El objetivo de la supervisión debería ser ayudar a la gente, máquinas y dispositivos a realizar su trabajo.
8. Eliminar el miedo y construir confianza, de esta manera todos podrán trabajar más eficientemente.
9. Borrar las barreras entre los departamentos. Abolir la competición y construir un sistema de cooperación basado en el mutuo beneficio que abarque toda la organización.
10. Eliminar eslóganes, exhortaciones y metas pidiendo cero defectos o nuevos niveles de productividad. Estas exhortaciones solo crean relaciones de rivalidad, la principal causa de la baja calidad y la baja productividad reside en el sistema y este va más allá del poder de la fuerza de trabajo.
11. Eliminar cuotas numéricas y la gestión por objetivos.
12. Remover barreras para apreciar la mano de obra y los elementos que privan a la gente de la alegría en su trabajo. Esto incluye eliminar las evaluaciones anuales o el sistema de méritos que da rangos a la gente y crean competición y conflictos.
13. Instituir un programa vigoroso de educación y auto mejora.
14. Poner a todos en la compañía a trabajar para llevar a cabo la transformación. La transformación es trabajo de todos.

Definiciones (P39):

- Hacer las cosas bien y satisfagan las necesidades de las personas.
- Es dar lo que se quiere en el momento que se desea.
- Calidad no significa mejor sino lo mejor para el cliente en servicio.
- Cero defectos .
- Hacer las cosas bien desde la primera vez.
- Precisión + oportunidad.
- Reducir al mínimo la variabilidad.

ISO 46001:2019 Sistema de gestión de la eficiencia hídrica (P45):

- Proporciona un marco sistemático y flexible para que organizaciones de cualquier sector mejoren el uso del agua, reduzcan pérdidas, integren tecnologías y promuevan una cultura de eficiencia y sostenibilidad hídrica.
- Mediante esta norma, una organización puede desarrollar e implementar una política de eficiencia hídrica mediante el establecimiento de objetivos, metas, planes de acción, programas de seguimiento, evaluación comparativa y revisión.
- Un sistema de gestión de la eficiencia hídrica permite a una organización cumplir sus compromisos y tomar las medidas necesarias para mejorar su gestión del agua de acuerdo con los requisitos de este documento.
- Puede aplicarse a algunas o a todas las actividades bajo el control de la organización.

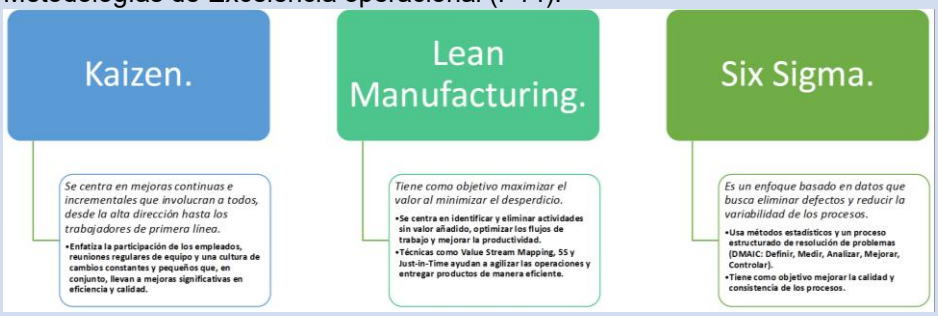
Reingeniería (P114): Técnica para la mejora de todos los procesos de la empresa basada en el rediseño radical de los procesos, mediante innovaciones radicales que permiten avances significativos en los estándares de calidad o la eliminación de aquellos procesos que no añaden valor, en lugar de la simple reestructuración de procesos seguida en los métodos tradicionales.

Contexto de la Organización (Cap. 4 – ISO9001:2015) (P147):

	• La organización debe determinar las cuestiones externas e internas que son pertinentes para su propósito y su dirección estratégica, y que afectan a su capacidad para lograr los resultados previstos de su Sistema de Gestión de la Calidad. • La organización debe realizar el seguimiento y la revisión de la información sobre estas cuestiones externas e internas. NOTA 1: Las cuestiones pueden incluir factores positivos y negativos o condiciones para su consideración. NOTA 2: La comprensión del contexto externo puede verse facilitado al considerar cuestiones que surgen de los entornos legal, tecnológico, competitivo, de mercado, cultural, social y económico, ya sea internacional, nacional, regional o local. NOTA 3: La comprensión del contexto interno puede verse facilitada al considerar cuestiones relativas los valores, la cultura, los conocimientos y el desempeño de la organización. **Conocimientos de la organización (P155):** • Determinar conocimientos necesarios para la operación de sus procesos y para lograr conformidad de los productos y servicios. • Deben mantenerse y ponerse a disposición en la medida en que sea necesario. **Redacciones propias:** Al proponer un sistema de interconexión de SSR se propone entregar un marco para mejorar la eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad de los sistemas organizados. Ya que, la disciplina operacional permite estandarizar procesos, optimizar recursos y asegurar la calidad del servicio, mientras que la planificación, coordinación y toma de decisiones basadas en datos fortalecen la gestión de los SSR. Donde las normas como ISO 9001 e ISO 46001 y la reingeniería de procesos respaldan la implementación de modelos de gestión más eficientes, promoviendo una transformación estructural hacia sistemas sanitarios más resilientes y centrados en la comunidad.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** la mejora continua propuesta por Deming orienta a incorporar la calidad desde el diseño y operación, reduciendo costos y fallas.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

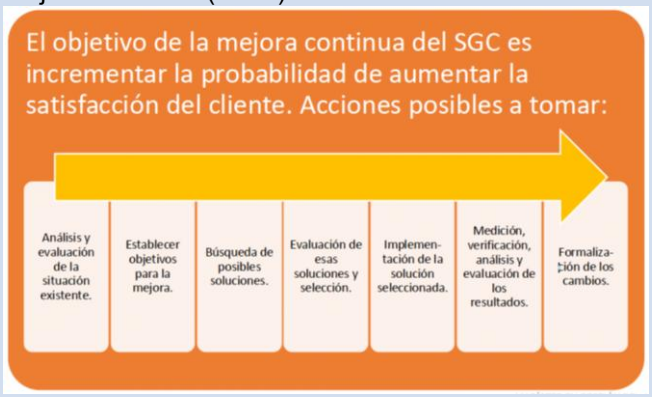
Metodologías de Excelencia operacional (P14):



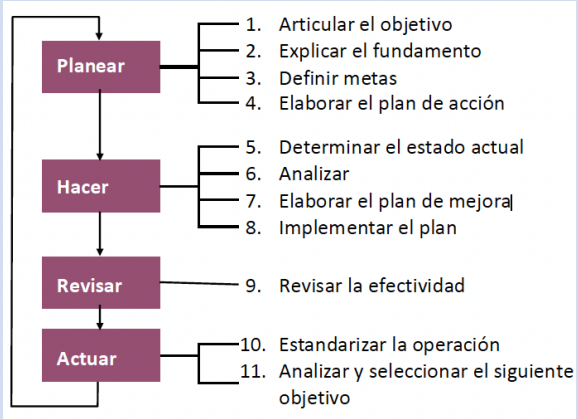
Clientes Internos y Externos (P47):



Mejora Continua (P110):



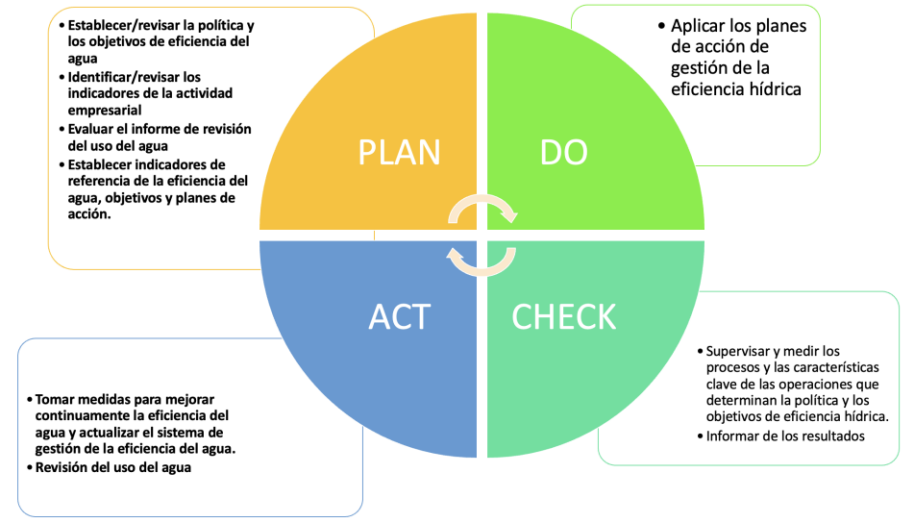
Metodología PDCA (Plan, Do, Check y Action) (P119):



Criterios Para Escoger Un Proyecto De Mejora Continua (P126):

Crónico • ¿Es crónico el problema?	Importancia • Los resultados son importantes.	Tamaño/ámbito • ¿Es manejable el tamaño del proyecto?
Impacto potencial	Urgencia • Es urgente el proyecto para la Compañía	Riesgo • ¿Cuáles?
Resistencia potencial al cambio	Proyecto ganador	Es medible el problema

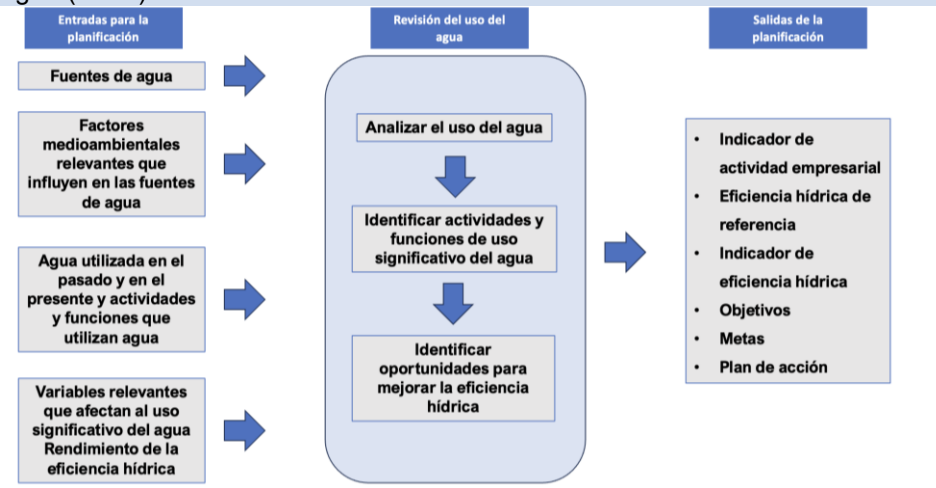
Ejemplo de Ciclo Deming para un Sistema de Gestión de Eficiencia Hídrica (P132):



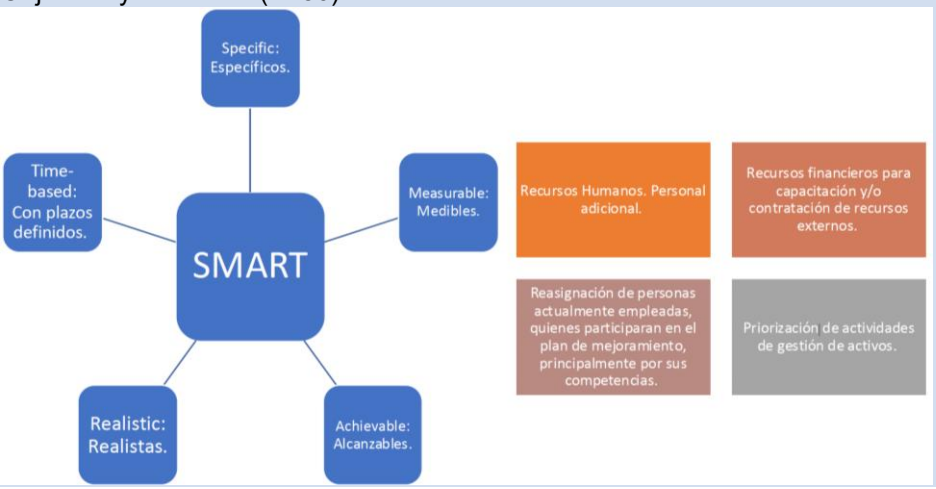
Representación de ISO9001:2015 con ciclo Deming – PDCA – PHVA (P136):

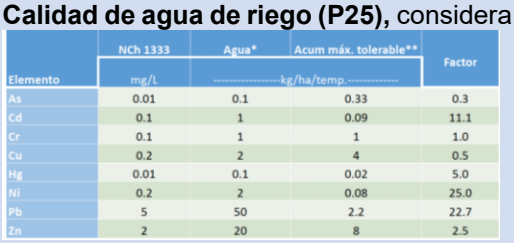


Diagrama conceptual del proceso de planificación de la gestión eficiente del agua (P146):



Objetivos y Recursos (P150):



	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Ortega, J. (2025). Eficiencia hídrica en el sector agrícola [Material de clase, asignatura Eficiencia Hídrica]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Calidad del Agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Calidad de aguas Superficiales (P23):** •Problemas de metales pesados en varios ríos. •Lluta y Camarones: salinidad, B y As. •Huasco, Copiapó y Elqui: Salinidad, B •Aconcagua: Salinidad, Cu, NO 3 •Maipo: Salinidad, NO 3 --, PO 4 •Cachapoal: Cu, NO 3 •Lagos del sur: Materia Orgánica (C), NO 3 --, PO 4= ,producto de actividadesindustriales. **Calidad de aguas subterráneas (P24):** Norte: salinidad, As, B Valle central: salinidad, NO 3 --, PO 4 **Calidad de agua de riego (P25),** considera la aplicación de 10.000 m3/ha/año:  “El acceso al agua es un derecho vital para la dignidad de todos los seres humanos”, directora general de la UNESCO, Audrey Azoulay . La seguridad hídrica es “la DISPONIBILIDAD de agua en cantidad y calidad aceptables para la salud , los medios de vida , los ecosistemas y la producción , junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua para las personas, el medio ambiente y las economías”. David Grey Claudia W. Sadoff; ¿ Hundirse o nadar ? Seguridad hídrica para el crecimiento y el desarrollo Política Hídrica , 1 de diciembre de 2007; 9 (6): 545 571. **Mejorar eficiencia de uso del agua a nivel de cuenca (P77):** 1. Políticas de demanda: aumentar la eficiencia del riego 2. Políticas de oferta: aumentar la disponibilidad de agua. 3. Políticas de mercado: mejorar la gestión de la Cuenca. **Estrategias para enfrentar la escasez hídrica (P80):** •Estimar con exactitud la demanda hídrica •Estimar con exactitud la capacidad de retención de agua del suelo.

Elemento	NCh 1333	Agua*	Acum máx. tolerable**	Factor
	mg/L	kg/ha/temp.		
As	0.01	0.1	0.33	0.3
Cd	0.1	1	0.09	11.1
Cr	0.1	1	1	1.0
Cu	0.2	2	4	0.5
Hg	0.01	0.1	0.02	5.0
Ni	0.2	2	0.08	25.0
Pb	5	50	2.2	22.7
Zn	2	20	8	2.5

•Disminución de la superficie cultivada
•Acumular agua de lluvias y mantener humedad en el suelo (mejorar calidad del suelo).
•Elección de variedades tempranas
•Disminuir la evapotranspiración
- Mulch o acolchado
- Protectores solares
- Uso de mallas

Cálculo de la demanda hídrica actual (P83):
Evapotranspiración de cultivo (Etc)
ETc= ET 0 x kc
•Donde ET 0 es al evapotranspiranción de referencia, y
kc es el coeficiente de cultivo

Aumento de la eficiencia en el uso del agua (P137):
- Cambio del método de riego
- Control del riego (uso de instrumentos de control)
- Riego deficitario controlado

Situación del uso del agua en California (P164):
Un clima más cálido está aumentando la demanda de agua agrícola y reduciendo lossuministros.
- Las temperaturas más cálidas están aumentando la demanda de evaporación—o la "sed" de la atmósfera—lo que aumenta los requerimientos de agua de los cultivos y disminuye la escorrentía y los suministros de agua disponibles.
- El agua subterránea es una importante reserva contra la sequía, pero el bombeo excesivo amenaza los suministros a largo plazo. La calidad del agua subterránea está disminuyendo debido a la acumulación de sales y nitratos de la escorrentía de los campos.
- La sequía del 2020-22 contribuyó a un barbecho significativo de las tierras de cultivo por encima de los niveles anteriores a lasequía del 2018: cerca de 160,000 ha en el 2021 y de 240,000 ha en el 2022.

La gestión sustentable del agua agrícola requerirá una reducción de la superficie de regadío.
- La implementación de la SGMA requerirá aumentar los suministros de agua, bombear menos y reducir la superficie irrigada. En el Valle de San Joaquín, esto podría implicar barbecho de más de 200,000 hapara principios de la década del 2040.
- Las agencias locales de agua pueden acelerar la recuperación de acuíferos aumentando la recarga en cuencas dedicadas y canales sin recubrimiento, y extendiendo el exceso de flujos de invierno a las tierras de cultivo. Las mejoras en la infraestructura de transporte serán críticas.
- La transparencia en los mercados del agua puede proporcionar flexibilidad. El comercio local de derechos de bombeo de agua subterránea puede permitir la producción continua de algunos cultivos de mayor rendimiento, al mismo tiempo que compensa a los agricultores que reducen el uso.
- La recarga y el comercio requerirán buenos sistemas de contabilidad y procesos de aprobación simplificados. La investigación sobre la mejora de la productividad en condiciones de poca agua también puede ayudar a los agricultores a arreglárselas con menos agua.

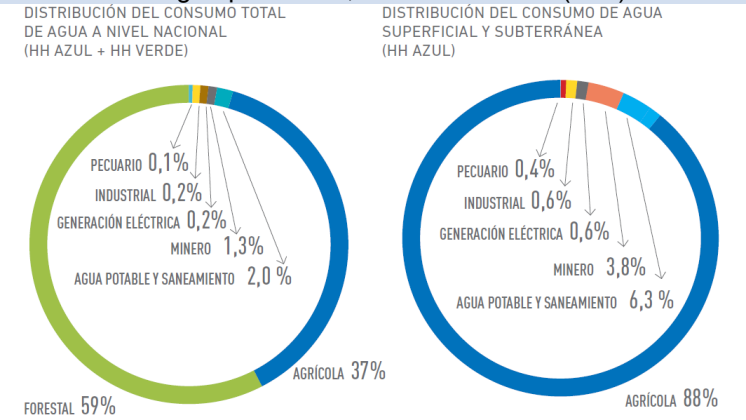
Redacciones propias:

	Se respalda que la problemática hídrica en Chile no solo está asociada a la escasez, sino también a la calidad del agua, con presencia de contaminantes como salinidad, metales pesados y nutrientes tanto en aguas superficiales como subterráneas, lo que impacta directamente la viabilidad de soluciones de saneamiento y reúso en zonas rurales. Se destaca que la eficiencia en el uso del agua a nivel de cuenca, junto con estrategias como el control de la demanda, mejoras en riego y reducción de la evapotranspiración, son claves para enfrentar la escasez, lo que conlleva tener una mirada sistémica hacia un uso más sostenible del recurso.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** refuerza la necesidad de considerar criterios de calidad y seguridad hídrica en el diseño y gestión de sistemas SSR. **Orientar:** integración de gestión de calidad, eficiencia hídrica y planificación territorial son los pilares principales para lograr sistemas de saneamiento rural más resilientes y sustentables.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Uso del agua superficial por la agricultura (P16):

Región	Qa	Qs	Agua extraída	Demanda de riego	Disponible para riego	Déficit o superávit	Déficit o superávit
			Km³	Km³	Km³	Km³	MMm³
Atacama	0,19	0,05	0,13	0,12	0,05	-0,06	-64,22
Coquimbo	1,15	0,57	0,48	0,53	0,43	-0,10	-101,42
Valparaíso	1,20	0,60	0,57	0,65	0,45	-0,19	-192,06
Metropolitana	3,66	2,14	1,14	1,03	0,91	-0,12	-117,43
O'Higgins	4,10	4,66	2,05	1,58	1,84	0,26	264,67
Maule	8,10	15,25	4,05	2,24	3,65	1,40	1403,87
Biobío	20,15	26,81	8,06	1,25	4,84	3,59	3587,06
			16,47	7,39	12,17		

Qa: caudal afluente, Qs: caudal sobrante, Agua extraída: suma de todos los usos
Disponible para riego: agua extraída menos otros usos

Consumo de Agua por sector, Fundación Chile (P21):



Demanda de agua por captación, devolución y consumo, distribuida por usos, Fundación Chile (P22):

DEMANDA DE AGUA POR CAPTACIÓN, DEVOLUCIÓN Y CONSUMO, DISTRIBUIDA POR USOS

USO	Captación[1] [m³/s]	Devolución[2] [m³/s]	Consumo	
			HH azul[3] [m³/s]	HH verde[4] [m³/s]
Agrícola (Riego)	404,53	217,69	186,84	53,33
Minero	10,16	2,02	8,14	-
Agua potable y saneamiento	55,29	41,98	13,30	-
Industrial	12,93	11,74	1,19	-
Forestal[5]	-	-	-	384,01
Energía	1.339,62	1.338,29	1,33	-
Pecuario	3,19	2,27	0,92	-
Otros Usos/No especificados	-	-	-	-

Análisis de agua de riego, río Maipo, feb. 2020 (P27):

Identificación muestra	:	Agua Canal	Interpretación para Riego		
			Nch1333	Agrónomico	
Origen	:	Canal	Limite máx	Riesgo de uso	
N° de Laboratorio	:	41766	(1)	Ninguno	Alto
pH		7,54	5,5 - 9,0	6,5 - 8,4	
C.Eléctrica	dS/m	1,5	(3)	< 0,75	> 3,0
RAS corregida (Relación Adsorción Sodio)		2,5		< 6,0	> 9.0
Sodio porcentual (Na)	%	33,4	35		
Dureza (CaCO3)	mg/l	485		< 140	> 320
Cationes y aniones (meq/l)					
Calcio (Ca)	meq/l	8,2			
Magnesio (Mg)	meq/l	1,5			
Potasio (K)	meq/l	0,09			
Sodio (Na)	meq/l	4,9		< 3,0	> 9,0
Cloruro (Cl)	meq/l	5,9		< 4,0	> 10,0
Sulfato (SO4)	meq/l	6,3			
Bicarbonato (HCO3)	meq/l	1,6		< 1,5	> 8,5
Cationes y aniones (mg/l)					
Calcio (Ca)	mg/l	164			
Magnesio (Mg)	mg/l	18			
Potasio (K)	mg/l	4			
Sodio (Na)	mg/l	113		< 70	> 200
Cloruro (Cl)	mg/l	209	200	< 140	> 350
Sulfato (SO4)	mg/l	302	250		
Bicarbonato (HCO3)	mg/l	98		< 90	> 500
Otras determinaciones					
N-Amoniacal (NNH4)	mg/l	1,2			
N-Nítrico (NNO3)	mg/l	7,3			
Fósforo (P)	mg/l	0,08			
Boro (B)	mg/l	0,36	0,75	< 0,5	> 2,0
Cobre (Cu)	mg/l	< 0,01	0,20		0,20
Hierro (Fe)	mg/l	0,13	5,00		
Manganeso (Mn)	mg/l	0,08	0,20		0,20
Zinc (Zn)	mg/l	< 0,01	2,00		2,00

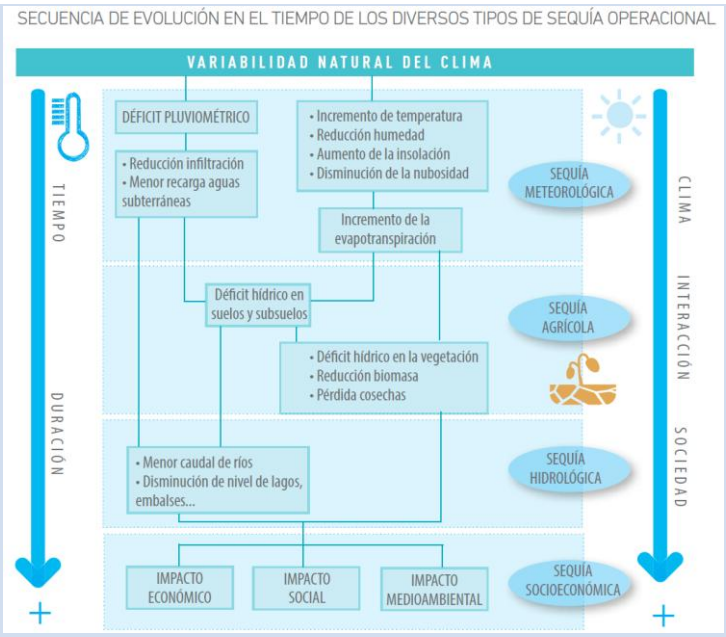
Lo que traería el cambio climático para la zona central de Chile (P41):

LO QUE TRAERÍA EL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA ZONA CENTRAL DE CHILE

Según las tendencias observadas y los pronósticos que hacen los modelos mundiales del clima, los climas del futuro debieran variar según las tendencias siguientes:

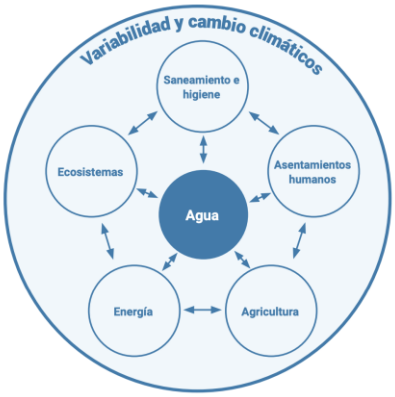
- **Disminución de la precipitación en zonas costeras mayormente.**
- **Disminución del número de días de lluvia.**
- **Aumento de la energía de la precipitación.**
- **Aumento del contenido de vapor del aire**
- **Aceleración de la escorrentía por disminución de la precipitación sólida.**
- **Aumento de la evapotranspiración y requerimientos de riego.**
- **Posible disminución en la recarga de las napas.**
- **Mayor arrastre de sedimentos.**
- **Temperaturas máximas más altas en zonas interiores y más bajas en sectores costeros.**
- **Disminución del frío invernal.**
- **Aumento del estrés térmico de las plantas.**
- **Aumento del viento.**
- **Aumento de la nubosidad, especialmente en un corredor de 60 km desde la costa.**

Secuencia de evolución en el tiempo de los diversos tipos de sequía operacional (P43):

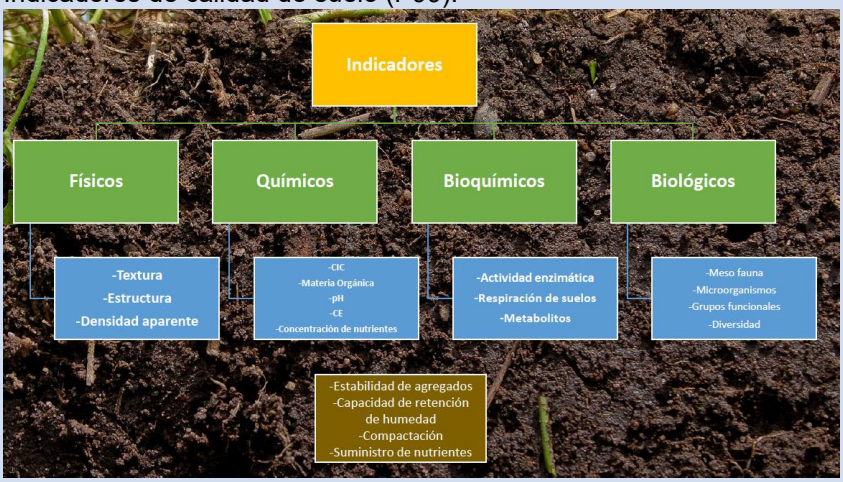


Interacción que guarda el agua con otros de los principales sectores socio-económicos afectados por variabilidad climática y el cambio (P54):

Figura 1 Interacción que guarda el agua con otros de los principales sectores socio-económicos afectados por variabilidad climática y el cambio



Indicadores de calidad de suelo (P99):



Contribución del manejo sitio específico a la adaptación frente al cambio climático (P132):

Impacto del cambio climático		
Disminución del agua disponible	**Aumento de la temperatura**	**Aumento de la erosión**
• Aumenta la eficiencia en el uso de agua.	• Elimina factores limitantes, estimulando un mejor crecimiento de los cultivos lo que los protege del aumento en las temperaturas.	• Mejora sectores de menor calidad de suelo a través del uso sitio-específico de enmiendas. • Mejora la agregación del suelo

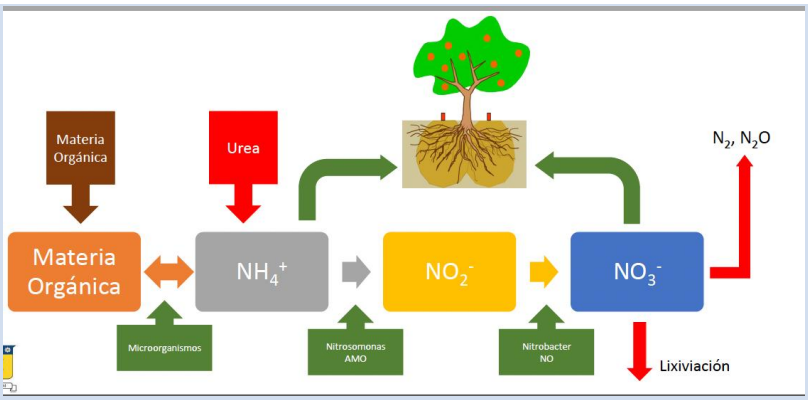
Uso de instrumentos (P139):

Parámetro a medir	Instrumento	Especie	Valor
Déficit humedad aprovechable	Watermarker	Duraznero	50-75%
Potencial mátrico	Tensiómetro	Cítricos (clementinas) Manzano Vid vinífera	-100 kPa -15 a -20 kPa -10 a -20 kPa
Potencial hídrico de hoja al mediodía	Cámara de Scholander	Almendro Cerezo Cítricos (clementinas) Ciruelo Duraznero Nogal Olivo Palto Vides	-0,8 a -1,0 MPa -0,7 a -0,9 MPa -1,1 MPa -0,77 a -1,0MPa -0,7 a -1,0 MPa -0,6 a -0,8 MPa -1,1 a -1,6 MPa -0,5 a -0,8 MPa
		Cabernet Sauvignon Chardonnay Thompson Seedless Flame Seedleess Crimson Seedless	-0,7 a -1,0 MPa -0,5 a -0,9 MPa -0,6 a -0,8 MPa -0,65 a -0,9 MPa -0,7 a -0,85 MPa
Amplitud de la contracción máxima diaria del tronco	Dendrómetro	Almendro Palto	25-50 µ 120µ (verano) a 60µ (invierno)
Conductancia estomática	Porómetro	Olivo	0,8 a 0,4 cm s^{-1}

Riego deficitario controlado (P149):

Especies	Períodos críticos
Cítricos	Floración a cuaja; fase de crecimiento rápido del fruto
Olivo	Previo a floración a crecimiento final del fruto
Manzano y peral	Cuaja a poco antes de cosecha
Duraznero	Crecimiento rápido del fruto
Damasco	Crecimiento rápido del fruto
Cerezo	Crecimiento rápido del fruto a poco antes de cosecha
Nogal y almendro	Crecimiento del fruto y desarrollo de la semilla
Vid	Brotación a floración (cuaja); cuaja a crecimiento del fruto
Kiwi	Cuaja hasta antes de maduración

Dinámica del nitrógeno en el suelo (P150):

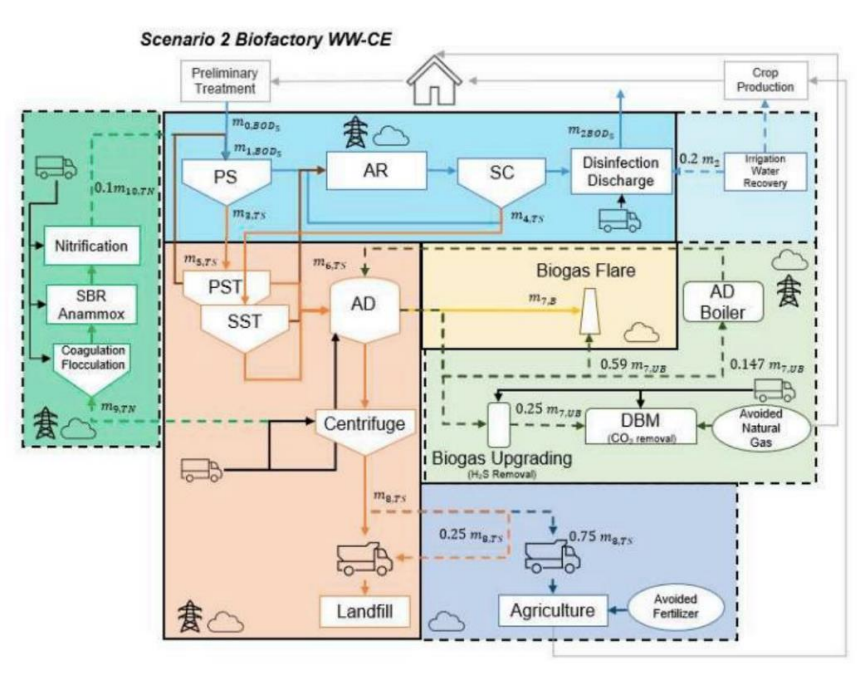


Guías microbiológicas para uso de aguas residuales según la OMS (2002) (P162):

Categoría	condiciones de uso	Grupo expuesto	Método de riego	Nemátodos intestinales	Coliformes fecales
A	Riego sin restricción: • Vegetales y ensaladas de consumo crudo • Campos deportivos • Parques públicos	• Consumidores Trabajadores • Público	Cualquiera	≤0.1 ovas viables/L	≤1000/100 mL
B	riego restringido: • Cultivo de cereales • Cultivos industriales • Cultivos forrajeros • pasto • arboles	B1: Trabajadores > 15 años; comunidades cercanas.	Spray o aspersión	≤1 ovas viables/L	≤100000/100 mL
		B2: trabajadores	Inundación o surco	≤1 ovas viables/L	≤1000/100 mL
		B3: Trabajadores incluyendo < de 15 años; comunidades cercanas.	Cualquiera	≤0.1 ovas viables/L	≤1000/100 mL
C	Riego localizado de cultivos en categoría B si no hay trabajadores ni publico expuesto.	Ninguno	Goteo, chorro,bombeo	No aplicable	No Aplicable

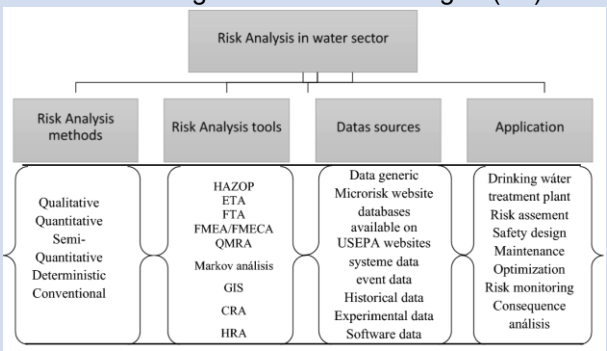
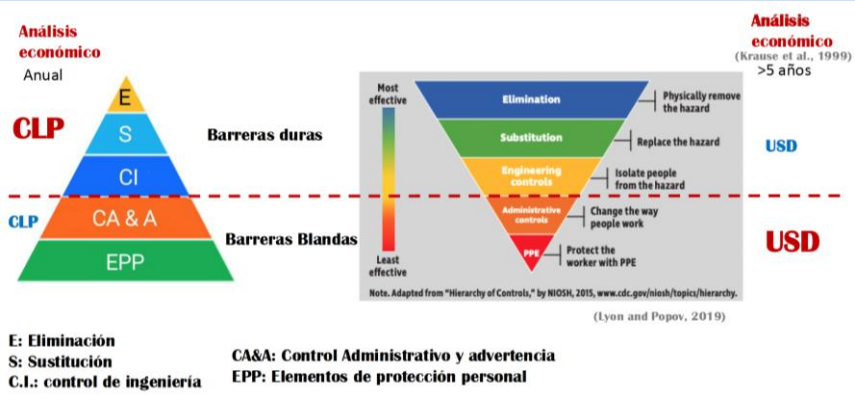
	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Domínguez Carmona, R. (2025). Riesgos antrópicos, continuidad de prestación de servicios [Material de clase, asignatura Riesgos y Conflictos en la Gestión de los Recursos]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Capas de protección (SIL) (P10):** Cualquier dispositivo, sistema o acción que podría interrumpir la cadena de eventos que sigue a un suceso o evento iniciador, o que podría mitigar los impactos de un evento de pérdida. La probabilidad de que un evento accidental termine en una o más consecuencias, dependerá si estas barreras funcionan o no. El modelo propone una serie de capas para reducir y gestionar los riesgos del proceso. • Prevención: Operaciones seguras y confiables con sistemas y diseños apropiados • Detección: Monitoreo de los procesos a través de alarma • Control: Sistemas de control automático para el control de procesos • Alivio: Descarga de presión para prevenir falla catastrófica de equipamiento • Contención: Captura derrames en diques o sistemas para minimizar impacto de áreas. • Respuesta: Respuesta a emergencias involucrando recursos internos y externos. Las barreras más relevantes para eventos accidentales específicos se listan a continuación, se trata de una lista no excluyente. • Sistemas de detección automática (ej. Detectores de humo) • Sistemas de seguridad automáticos (ej. Extinción de fuego (sprinkler) • Sistemas de alarmas operadores/personal OD • Procedimientos y actuaciones de operadores • Barreras de mitigación (ej diques) La eliminación significa eliminar el peligro por completo y, por lo tanto, es la opción más eficaz. (Jogie et al., 2025) **(P29).** **Control de ingeniería (P32):** • Reorganizando el trabajo para evitar que los operadores se expongan a situaciones peligrosas. (tiempo, intensidad y sobre carga.) • Esto involucra la instalación de protecciones a las máquinas para evitar contacto con trabajador o usando cintas transportadoras para transportar objetos en vez de hacerlo manualmente. • Entre estos controles se incluyen resguardos, sistemas de bloqueo automático o alarmas de arranque en equipos, sistemas de detección, redes de seguridad o sistemas de detección contra caídas. • Entre estos controles se incluyen resguardos, sistemas de bloqueo automático o alarmas de arranque en equipos, sistemas de detección, redes de seguridad o sistemas de detección contra caídas.

Biofactoría: Economía circular de aguas residuales de biofactorías (P38):

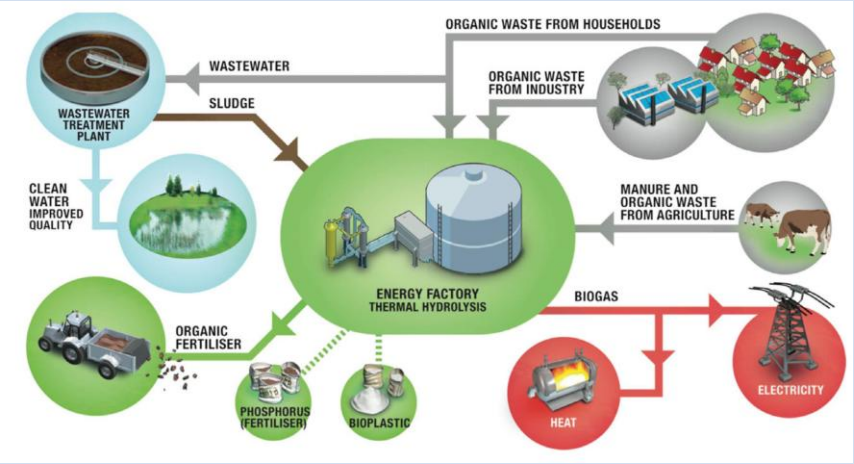


Abreviaturas:
PS: sedimentación primaria
AR: reactor aeróbico
SC: clarificador secundario
PST: espesamiento de lodos primarios
SST: espesamiento de lodos secundarios
AD: digestor anaeróbico
DBM: biometano doméstico
SBR: reactor discontinuo de secuenciación

Redacciones propias:
Incluir un enfoque sistemático de gestión de riesgos es primordial para el saneamiento debido a la exposición de agentes críticos en las PTAS y la limitada capacidad técnica de los SSR**.** Por ello, el sistema de protección de capas (SIL) permiten identificar, prevenir y mitigar fallas en sistemas mediante una lógica jerárquica (prevención, detección, control, contención y respuesta). Estas barreras simples pero efectivas (alarmas, procedimientos, sistemas automáticos) para asegurar la continuidad y seguridad del servicio.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** gestión del riesgo para la operación del saneamiento para los SSR. **Orientar:** introducir una visión de economía circular en el tratamiento de aguas residuales. Promoviendo el aprovechamiento de subproductos (como biogás o lodos) y avanzando hacia sistemas más sostenibles, eficientes y resilientes en el contexto rural.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Análisis de Riesgos en el sector de agua (P9):  Resumen de herramientas (P27): **Herramienta/Enfoque** | **Aplicación principal** | **Beneficio clave** FMEA/FMECA, HAZOP | Identificación y análisis de fallos | Prevención de interrupciones HRA (Análisis de fiabilidad humana) | Evaluación de errores humanos | Mejora de capacitación y procedimientos Sistemas digitales (SCADA, GIS) | Monitoreo y respuesta en tiempo real | Reducción de riesgos tecnológicos Matrices de riesgo y modelos jerárquicos | Priorización de riesgos y vulnerabilidades | Optimización de recursos Jerarquía de Control (P28): 

Biofactoria en PTAS (P37):



	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rojas Choque, I. (2025). Aplicación grandes obras públicas [Material de clase, asignatura Gestión de Clientes]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios Regulación Aspectos Sociales Obras Multipropósito
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Infraestructura de Presas en Chile (P9):** • A la fecha el MOP ha construido 42 embalses, los cuales 20 de ellos siguen en propiedad del Estado, y tiene proyectado la ejecución de 28 embalses adicionales, para incrementar el almacenamiento en más de 2.500H3 y mejorar la superficie de riego en 404.000 Ha. • Actualmente, se tiene utilizado un 32% de la capacidad de almacenamiento para riego, esto es 667Hm3, por lo cuales indispensable contar con mayor almacenamiento para el aprovechamiento de las aguas eventuales que ocurren en temporada de invierno. • Los embalses a construir en el corto plazo son: Zapallar, Bollenar, La Punilla y Las Palmas. **Plan Nacional de Regulación y Embalses (P13):** El almacenamiento total corresponde a 25.3% de la capacidad total. De este modo, el tipo de embalse utilizado para Agua Potable es el que tiene una mayor capacidad utilizada con un 53.8% de la totalidad, luego siguen los embalses destinados para Generación con un 45% y en menor medida se registran los embalses de Solo Riego y Mixtos (Generación y Riego) ambos con un 17% aproximadamente. **Impacto multipropósito (Caso Embalse Zapallar)** **<u>Consumo Humano (P61):</u>** Dada la ubicación geográfica del embalse zapallar, la región está susceptible a eventos sísmicos y actividad volcánica. Un volumen de reserva de agua es crucial para garantizar la disponibilidad de agua potable y para servicios de emergencia en caso de que las infraestructuras habituales se vean afectadas. Por ello, se considera un volumen para satisfacer el consumo humano ante emergencia y desastres, abasteciendo a 13 sistemas constituidos a la fecha con una proyección para el consumo al año 2055, equivalente a una población de 37.630 habitantes aproximadamente, con una dotación de 200 l/h/d. **<u>Control de Crecidas (P62):</u>** Se ha modificado la operación de vertido, recomendando disponer de un volumen para retener estas aguas, sin sacrificar el volumen destinado a la producción agrícola y consumo humano, por ello el embalse debe disponer a lo menos un volumen de 50% de su capacidad para gestionar eficazmente los recursos hídricos disponibles.

Esta práctica asegura la subsistencia de las actividades agrícolas y otros usos críticos durante y después del evento, manteniendo la integridad del embalse y su capacidad operativa.

Control de Incendios (P63):
Utilizando una dotación de 100m3/ha, para la comuna de San Ignacio y El Carmen, en la temporada 2022-2023, se hubiera requerido un volumen de 2.868.627m3parareducirlasuperficieafectada.
Por ello, el volumen eventual a considerar es de 2,9hm3 siendo distinto al operacional que se encuentra disponible en todo evento, y en las temporadas de simulación de falla del embalse, en esta ocasión se considera un volumen máximo sacrificable de la producción agrícola.

Uso Turístico Y Recreativo Del Embalse (P64):
La solicitud de los usuarios afectados y beneficiados por el proyecto, orientaron la incorporación de actividades turísticas y deportivas en el Embalse para promover un aprovechamiento multifuncional y sostenible del recurso hídrico.
La transformación del embalse en un destino turístico busca atraer tanto a visitantes locales como internacionales, ofreciendo actividades como kayak, pesca deportiva, senderismo, y áreas de camping. Este enfoque no solo potencia la recreación y el turismo, sino que también impulsa la economía local a través de la creación de empleos y la venta de productos y servicios relacionados.

Líneas de Acción para comunicación de los trabajos de la División de Riego (P90):
1.Universidades
2.Colegios
3.Camara Chilena Construcción
4.Jjvv
5.Congesos/Seminarios/Simposios/Charlas
6.Visita A Embalses
7.Portal Ministerial
8.Redes Sociales

Información a sociabilizar (P91):
1.Trabajos Realizados
2.Cartera De Proyectos
3.Estudios
4.Estado De Embalses

Se requiere digitalizar estudios, publicar fotos de la construcción de obras, mantener activa el Plan de Embalses, publicar guías o manuales de trabajo, conferencias y fechas próximas relacionadas. Agendas de visita, para sociabilizar los planes de estratégicos. Mantención de videos o vuelos dron en el portal de la DOH.

Que necesitamos (P100):
1.La “seguridad hídrica” no es tal. Sólo hay un equilibrio aceptable. Alcanzarlo requiere trabajar en serio.
2.Debemos saber qué tipo de escasez estamos enfrentando, estructural o contingente, para saber cómo proceder.
3.Innovación sí, pero cuidado con los megaproyectos de trasvase de aguas.
4.Un problema grande, que nos impide flotar, es la tramitación de los proyectos. SEA, Concesiones Marítimas.

5.Es necesario mantener las certezas jurídicas: de los DDA, y su movilidad a través del mercado.
6.Es necesario ser coherentes entre las leyes: APR, DS90/2000, NS, con CA.
7.Es necesario aplicar bien el Código de Aguas (art 27).
8.Es necesario reconocer el mérito del cuerpo legal sanitario y transponer sus virtudes hacia otras actividades.

Plan de Gestión Integrada (P101):
Con el fin de continuar con el desarrollo de las distintas iniciativas para el análisis de la escasez de recursos hídricos en cuanto a derechos de agua, uso industrial y requerimientos sociales, la DGA decidió llevar adelante el proyecto "Plan de Gestión Integrada por cuenca". Los resultados esperados de este proyecto son los siguientes:
1.Una estrategia de desarrollo para la cuenca, establecida de común acuerdo entre los diferentes actores participantes, que considere los valores de la minería, la agricultura, el medio ambiente y los valores sociales.
2.Un marco y una metodología general para una planificación integrada de cuencas, adecuada para aplicarse a nivel nacional, la cual debe estar alineada con la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos.

Fuentes de incerteza (P104):
El Plan debe contener portafolio de opciones destinado a despejar la incertidumbre y dar al Ministerio la posibilidad real de redirigir, postergar, acelerar, sustituir o descartar obras.

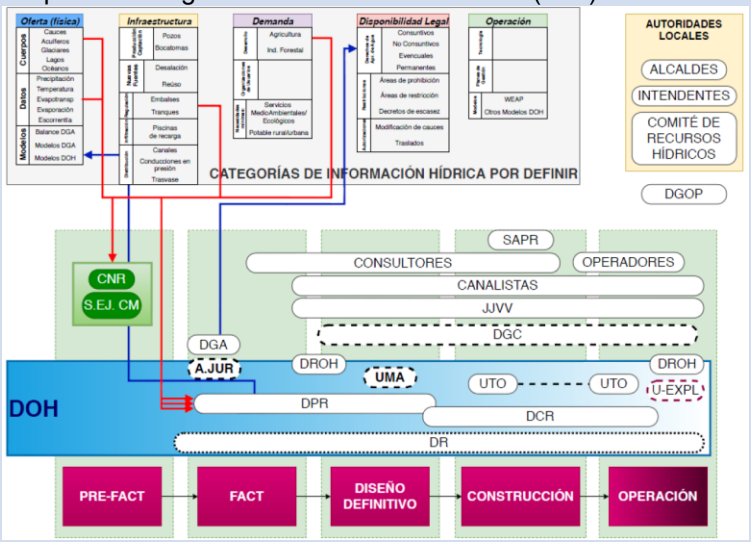
Plan De Infraestructura Hídrica (P105):
Sentar las bases para la formulación de un Plan de mediano y largo plazo en materia de infraestructura hídrica, considerando el abastecimiento del recurso hídrico en el país en condiciones de equidad territorial y social, de calidad y sostenibilidad; de continuidad de servicio y con infraestructura resiliente ante los desastres naturales, para los próximos años. En este sentido, el desarrollo del Plan se enmarca en los siguientes lineamientos estratégicos:

- Apoyo al desarrollo equilibrado del territorio y su gente
- Respeto por el valor ambiental del recurso hídrico
- Contribución al desarrollo económico social de cada sector productivo
- Fortalecimiento de la gestión, administración y fiscalización de los recursos hídricos

Aplicaciones y Estrategias para la Gestión de Clientes en Infraestructura Pública (A13C1-G1, P8):
La gestión de clientes en proyectos públicos implica desarrollar estrategias de comunicación, participación y educación. En la DOH, estas estrategias buscan fortalecer la relación con comunidades rurales, mejorar la transparencia y garantizar la sostenibilidad de las obras.
Entre las prácticas más destacadas se encuentran:
•La implementación de canales digitales para la atención y seguimiento.
•La comunicación empática con las comunidades beneficiarias.
•La formación continua del personal en gestión relacional.

Se coincide en que la gestión de clientes no debe limitarse al servicio final, sino abarcar todo el ciclo de vida del proyecto, desde la planificación hasta la operación. Esta visión integral permite consolidar una cultura organizacional orientada al usuario y al valor público.

La gestión de clientes, aplicada al sector público, representa un cambio de paradigma en la forma en que se concibe la relación entre las instituciones y

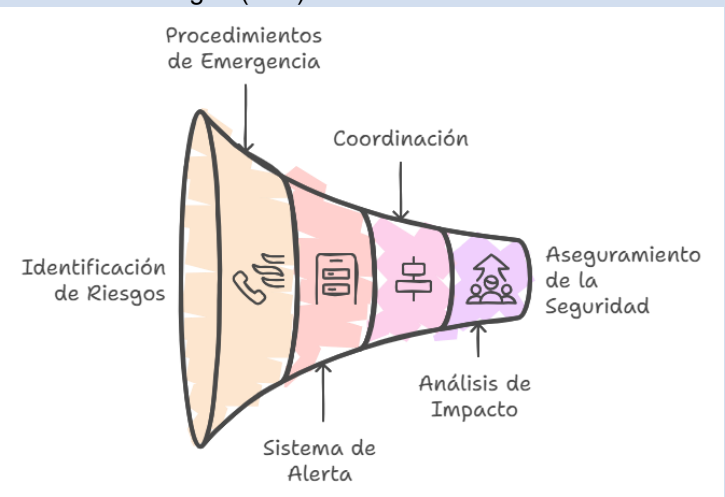
	los ciudadanos. Lo que permite comprender que el valor no solo se genera a través de la infraestructura o el producto, sino mediante la experiencia integral que se ofrece al usuario. Los principios del marketing, el diseño de servicios y la innovación constituyen una base sólida para construir organizaciones públicas más humanas, transparentes y efectivas. **Redacciones propias:** Los embalses, cumple un rol estratégico no solo en el almacenamiento y regulación del recurso, sino también como elemento clave para la seguridad hídrica, la resiliencia ante desastres y el desarrollo territorial. Se observa una brecha importante entre la capacidad instalada y su uso efectivo, lo que avala la necesidad de mejorar la gestión, planificación y aprovechamiento del recurso, especialmente en contextos rurales. La relevancia de la planificación integrada, la reducción de incertidumbre y la gobernanza del recurso refuerzan la importancia de incorporar herramientas de gestión estratégica en SSR. La sostenibilidad de las soluciones sanitarias no depende solo de la infraestructura, sino también de la relación con las comunidades, la transparencia y la generación de valor público.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** El enfoque multipropósito de los embalses (consumo humano, riego, control de crecidas, incendios y turismo) orienta a soluciones integrales que vinculen el saneamiento rural con la gestión a escala de cuenca. **Complementar:** inclusión de enfoques de participación, comunicación y gestión de usuarios.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Propuesta categorías de información hídrica (P14):  Modelo tradicional y Empaquetado (P31):



Gestión de riesgos y planes de Emergencia (P70):



Gestión de Riesgos (P73):



Cliente al centro de la estrategia (P75):



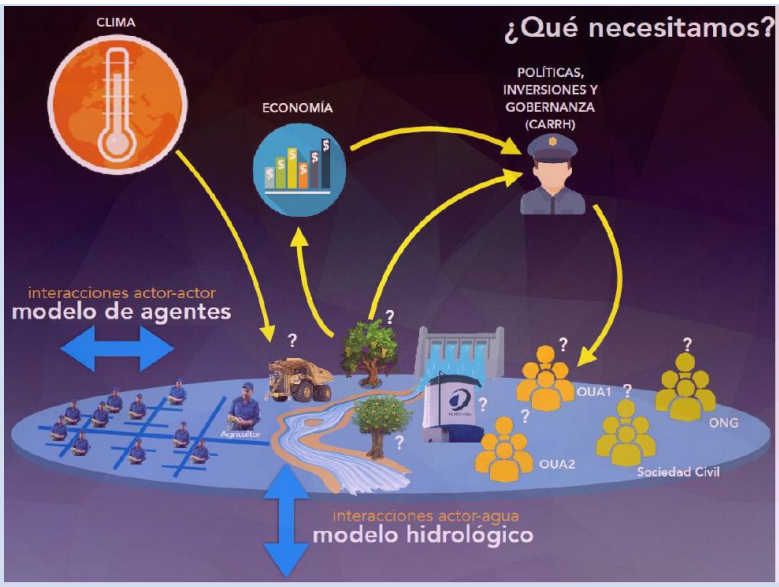
Modelo de negocio CANVAS (P776):



Concepto del triángulo de Oro (Países Bajos) (P96):



Interacciones Actor-Actor (P99):



Propuesta Estructura de gobernanza y gestión (P101):

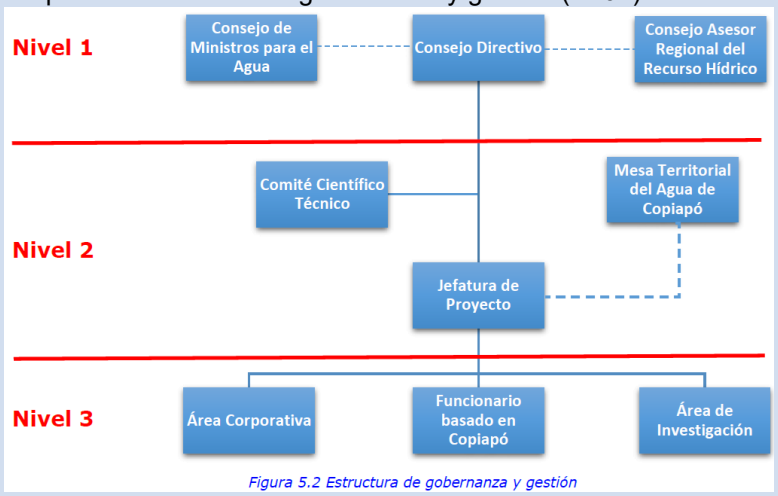
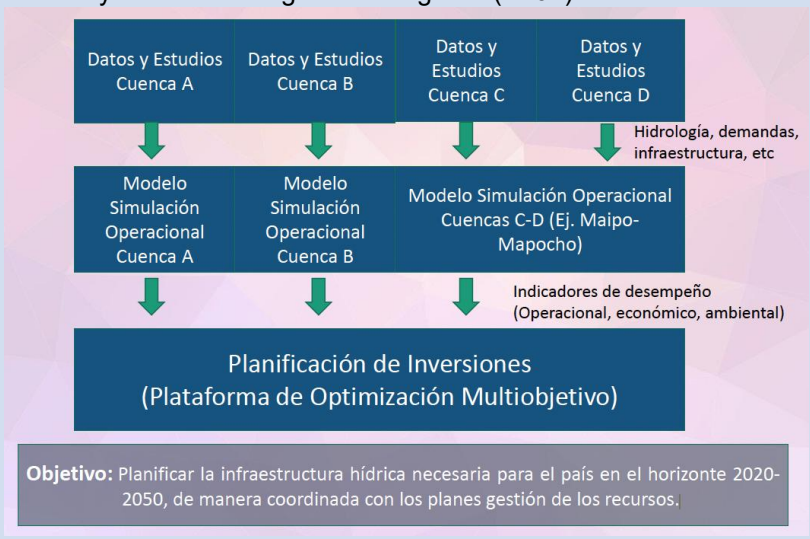
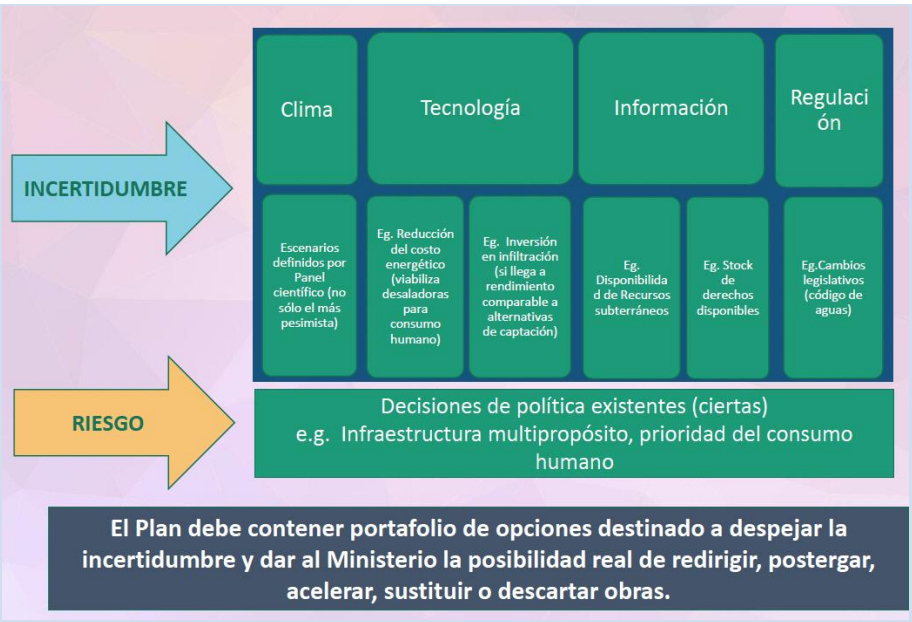


Figura 5.2 Estructura de gobernanza y gestión

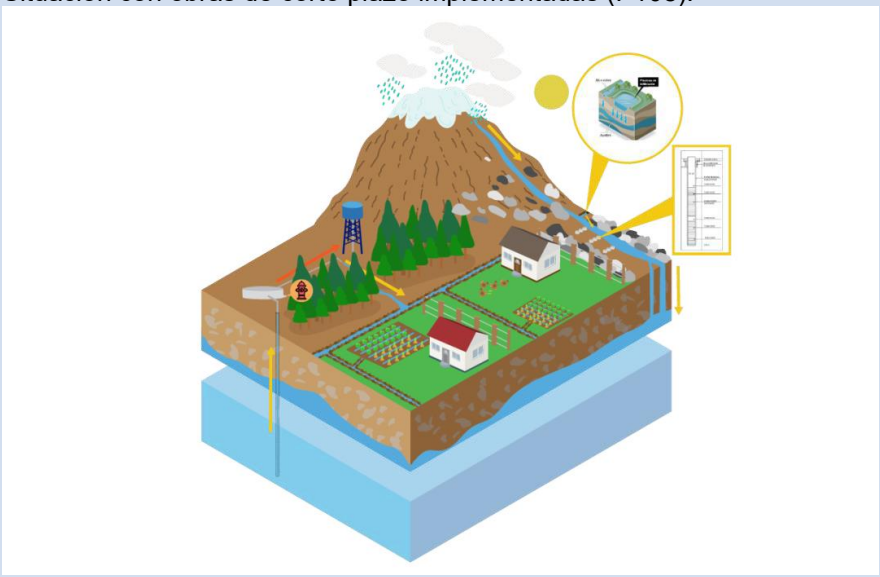
Modelo y datos de una gestión integrada (P102):



Fuentes de incerteza (P104):



Situación con obras de corto plazo implementadas (P108):



TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Araya Mena, J. (2025). Gestión de recursos hídricos, casos aplicados: proyectos en cuencas (Tema 1) y saneamiento de ciudades costeras (Tema 2) [Material de clase, asignatura Innovación y Gestión de Proyectos]. Master of Water Management, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile.
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Proyectos Hidráulicos (A14C1-G2, P3):** ➢Diseñar un proyecto hidráulico es un buen ejemplo de gobernanza, debido a todas las gestiones con entidades que intervienen. ➢Diseños de ingeniería que incluyeron estudios EIA son una mala experiencia. **Riesgos del recurso hídrico (Tema 1, P12):** • Incertidumbre: rol fundamental en el desarrollo del sector hídrico • Recurso por naturaleza variable; en términos temporales, espaciales y sujeto a eventos extremos • Respuesta de las sociedades para suministrar agua a sus poblaciones **Ejemplo – Proyectos Hidráulicos Cuenca De Copiapó (Tema 1, P17):** Procesos Críticos 1. Deficiente coordinación entre usuarios en la gestión de aguas en la cuenca. 2. Aumento de superficie de cultivos en el sector agrícola. 3. Uso intensivo y creciente de acuíferos. 4. Deterioro de calidad del agua por efectos naturales, antrópicos y pasivos ambientales. 5. Aumento sostenido de la demanda del recurso hídrico, principalmente desde la minería y sector sanitario. 6. Crecimiento de la demanda energética y diversificación de la matriz 7. Expansión minera aurífera. 8. Falta de disponibilidad de información existente sobre el recurso hídrico. **Desafíos Enfrentados (Tema 1, P18 y 61):** •Idea original del cliente era emisario submarino al mar después del tratamiento •Bahías estrechas en Caldera y Calderilla, usos sensibles en Bahía Inglesa •Al analizar en qué reutilizar el agua se apreció falta de interés por parte de los potenciales usuarios •Generar interés público para la creación de un parque •Lograr acuerdos entre todos los stakeholders para definir el plan de obras •Coordinar las múltiples disciplinas de ingeniería y arquitectura que intervienen en este tipo de proyectos •Cliente Dirección de Obras Portuarias del MOP, los parques se entregan a la operación de los municipios. Esto supone coordinar criterios con ambas instituciones •Múltiples ajustes según las ideas de los distintos participantes •Después de más de un año y medio de trabajo para generar la Ing. Básica y de Detalles, ser reconocidos como autores del proyecto **Desafíos enfrentados para la planta desaladora (Tema 1, P49):** •Partir con un terreno asignado, sin criterios técnicos para su selección •Lidiar con las restricciones urbanas •Obtener la concesión marítima

•Hacer todos los estudios oceanográficos y marítimos para el diseño de las líneas submarinas
•Modelar con extremo detalle los procesos de toma y descarga de aguas
•Obtener la RCA favorable (2016)
•Cambio del cliente en el desarrollo de la consultoría (CCIRA a ECONSSA)
•Estudios iniciados en 2013, RCA obtenida en 2016, primera etapa en operación en 2021
•Empresa constructora Claro, Vicuña, Valenzuela (Quiebra en 2022)

Desafíos Diseño de obra protección ante crecidas por evento de marzo de 2015 (Inundación Copiapó) (Tema 1, P85, 86 y 87):

- Hacer un buen diagnóstico a partir de la catástrofe ocurrida
- Desarrollar la aplicación de modelos 2D para un área enorme
- Desarrollar PAC en comunidades muy afectadas por las dificultades sufridas
- Tener durante la ejecución de los trabajos un nuevo evento de inundaciones
- Reconocer que habría que intervenir obras existentes como puentes estrechos, sector Universidad de Atacama, etc.
- Reconocer que habría que intervenir la zona de acceso del Mall
- Establecer la necesidad de reasentar a algunos habitantes que están instalados en zonas de alto riesgo
- Reconocer que los costos asociados a estas medidas son de tal magnitud, será necesario abordar las obras en el largo plazo
- Proyecto iniciado en 2016
- Ingeniería de Detalles río Copiapó en zona urbana y Plan de Manejo en zona rural concluido en 2018
- Riesgos financieros al garantizar un proyecto cuyo alto porcentaje está terminado durante los dos primeros años de ejecución
- El paso del tiempo va dejando obsoletos ciertos estudios de base para el EIA que deben repetirse, con todos los efectos que esto supone
- Enfrentar un contrato de muylarga duración, con múltiples cambios normativos, en especial ambientales, en el intertanto.

– El chañar se declara especie en estado de conservación vulnerable

– Cambio en el reglamento delm Sistema de Evaluación, 2024

– Nuevas guías ambientales, Guía del Cambio Climático, Ruido en mFauna, Salud de la Población (medición aire)

– Ley de Humedales, catastro de humedales urbanos, incorporación de nuevas tipologías

•Diseño de ingeniería en conjunto con elaboración de EIA, MALA EXPERIENCIA.
•Obras proyectadas por alrededor de US$1.000 millones.
•Diseño de ingeniería terminado en 2018, aprobado en 2019.
•RCA favorable obtenida en septiembre de 2025, al cabo de 9 años desde iniciado el contrato.

Lagunas de estabilización facultativas (Tema 2, P6): muy intensivas en uso de terrenos planos, lo que las hace de difícil aplicabilidad en ciudades medianas y grandes.

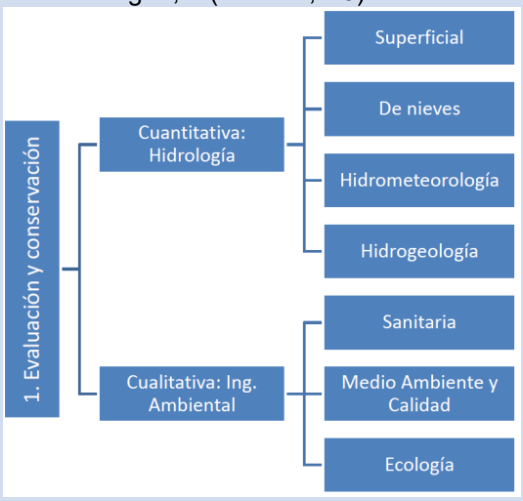
Estudios marítimos básicos para la costa o bahía (Tema 2, P10 y P11):

	• Batimetría y topografía costera • Levantamiento de usos del litoral •Estudios de corrientes, olas, vientos, mareas, columna de agua •Definición de patrones de corriente de diseño •Definición de oleaje de diseño y su propagación •Concesiones marítimas; definición de líneas de alta y baja marea •Reconocimiento de fondo marino, suelos •Estudio de perfil de playa •Tipo de tratamiento aplicado a las aguas servidas previo a su descarga mediante el emisario submarino. Diseño final de tratamiento. •Estudios bentónicos. Estudios de impacto ambiental •Modelación de los fenómenos hidrodinámicos y de calidad de aguas en el medio marino para simular distintas opciones de emisarios submarinos •Esfuerzos sobre la cañería submarina para diseño de lastres •Modelación hidráulica del emisario para definir cámara de carga, sistema de mitigación por transientes, diámetros, materiales, sistema difusor •Diseño de ingeniería básica y de detalles del emisario •Especificaciones técnicas, planos, memorias •Monitoreo e inspección de emisarios submarinos en operación •Monitoreo del cuerpo receptor y de la costa y área de uso. En las ciudades litorales la solución del tratamiento pasa primero por las opciones de disposición final, teniendo en cuenta los usos del litoral y las normas que se deba respetar para el nivel de emisión o de calidad de agua en el receptor. En general, previo al emisario submarino el tratamiento utilizado consta de desbaste grueso y fino, remoción de arenas, grasas, aceites y flotantes, lo que constituye una depuración preliminar completa. **Ejemplos:** • **San Pedro de La Paz (Tema 2, P14 y P15):** Bahías abierta, sin usos restrictivos, profundidades adecuadas (no someras). Aplicación de tratamiento preliminar con rejas finas, desarenador, remoción de grasas, aceites y flotantes, aforador y emisario submarino de longitud y con difusor apropiado. • **Punta Arenas (Tema 2, P18 y P19):** Bahía con usos restrictivos en la zona costera o en las inmediaciones. Búsqueda del sector del litoral más apropiado para la ubicación de un emisario submarino, protegiendo dichos usos con un tratamiento más avanzado o con un emisario de longitud tal que salve las restricciones de modo seguro: Planta preliminar completa y emisario submarino. • **Puerto Natales (Tema 2, P20, P21 y P22):** Bahía con múltiples usos turísticos, comerciales o patrimoniales. Se descarta la aplicación de un emisario submarino clásico, reemplazándolo por una planta de tratamiento secundario más desinfección y una descarga al mar del agua tratada con un emisario corto, fuera del área urbana. • **Caldera (Tema 2, P23 y P24):** Combinación de BAHÍA ESTRECHA, restricciones de usos en el litoral y escasez del recurso agua. Surge interés por el re-uso. Planta de tratamiento secundario con desinfección para aptitud de riego, se ha dejado una descarga de emergencia al mar por medio de un emisario corto. Creación de un parque regado con agua tratada. **Conclusiones (Tema 2, P28, P40 y P41):** •Los emisarios submarinos han sido una solución apropiada para el saneamiento de ciudades costeras, combinados con tratamiento preliminar y condiciones marítimas adecuadas, para efluentes domésticos.

	•Su menor costo frente a soluciones en base a tratamiento secundario con desinfección, la han hecho atractiva en múltiples oportunidades. •Sin embargo, hay situaciones en que este tipo de soluciones deben desecharse, debido a la existencia de fuertes restricciones ambientales. •Recuperación de playas. •Reducción de enfermedades infecciosas. •Impulso al turismo. •Cuidado de recursos naturales •Calidad de aguas adecuada para usos de recreación, explotación de productos del mar, etc. •Recuperación de ríos, lagos y cursos naturales •Metas ambientales aptas para exportar productos •Mejor calidad de vida en un ambiente libre de contaminación **Reúso De Aguas Servidas Tratadas (Tema 2, P42 y P43):** Antofagasta está construyendo una planta de tratamiento de aguas servidas en el Salar del Carmen, que tratará hasta 900 litros por segundo y permitirá la reutilización del agua para fines industriales y mineros. Se espera que este proyecto, que avanza en su construcción y es considerado el más grande de Latinoamérica para el reúso de aguas residuales, esté operativo en 2028. **Redacciones propias:** Se destaca la importancia desde el inicio del proyecto de la coordinación entre actores y gestión de incertidumbre. También, sobre la mala experiencia de cuando los proyectos incluyen el EIA, alargando enormemente los tiempos de término de los contratos. La selección de tecnologías adecuadas según el contexto territorial, incorporando criterios ambientales, sociales y económicos. Finalmente, el énfasis en el reúso de aguas tratadas y en soluciones adaptativas frente a restricciones ambientales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** la experiencia de desarrollo de proyectos de saneamientos por GSI evidencian las brechas en la coordinación institucional, tiempos excesivos de tramitación y dificultades en la definición de soluciones consensuadas, lo que avala la importancia de mejorar las etapas de diseño, participación y gestión de proyectos.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

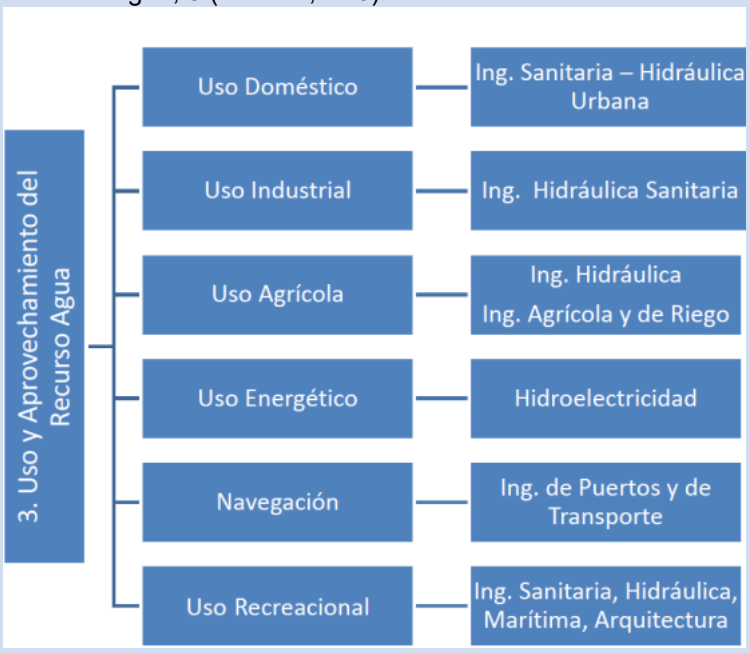
Recurso Agua, 1 (Tema 1, P8):



Recurso Agua, 2 (Tema 1, P9):



Recurso Agua, 3 (Tema 1, P10):



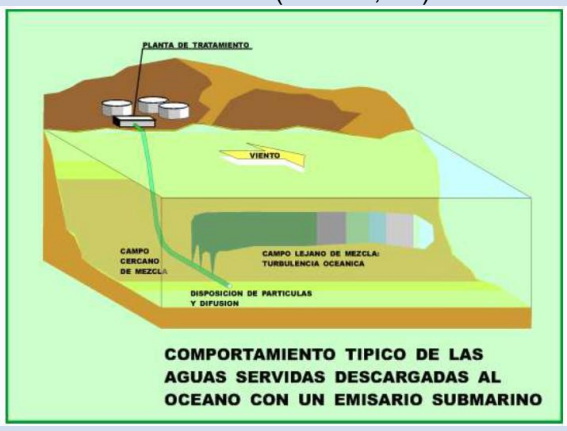
Riesgo Hídrico (Tema 1, P18):



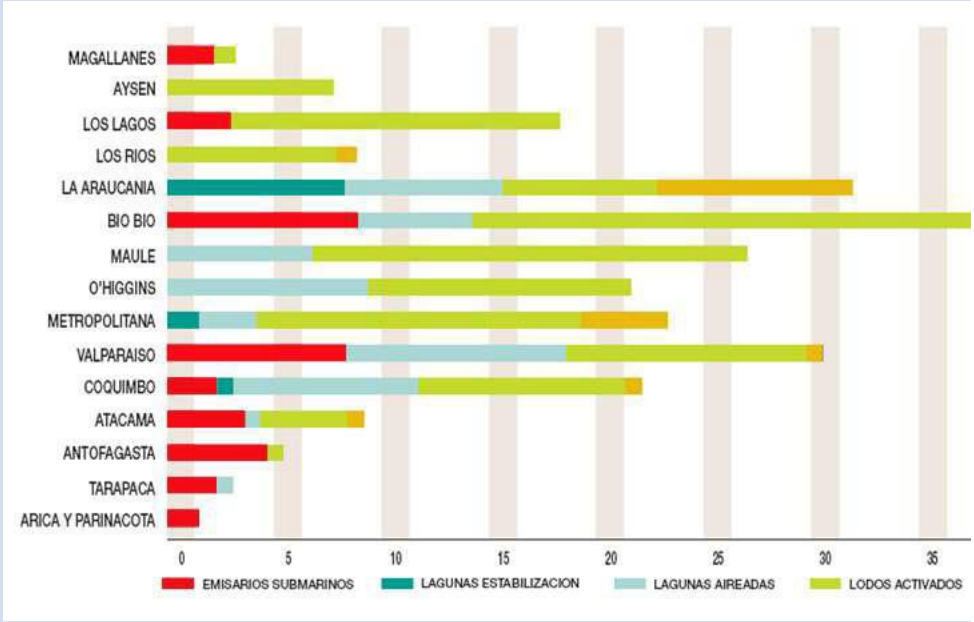
Características De Los Riesgos (Tema 1, P19):

Riesgos del Recurso	Riesgos Empresariales
Seguridad del suministro	Diseño y Construcción
Calidad/seguridad del agua no potable	Fallas operacionales
Eventos climáticos extremos	Riesgos del mercado
Salud pública	Riesgos de financiamiento y escase
Ambiental, incluyendo contaminación hídrica	Riesgos políticos y jurídicos
	Riesgos laborales
	Riesgos de cumplimiento
	Riesgos de pasivos

Emisarios Submarinos (Tema 2, P9):



Distribución Regional y Tipo de Tecnología de Tratamiento (Tema 2, P29):



	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Chae, S., Hejase, C. A., Young, R. B., Green, S., Tong, T., Kim, K. Y., Draut, J. R. S., Coughlin, K., Stokes, S. C., Kong, M., Kim, H., Kurup, P., Macknick, J., Borch, T., & Dionysiou, D. D. (2026). Challenges and opportunities in reuse of treated municipal wastewater for agriculture in the United States: A critical review. Chemical Engineering Journal: Green and Sustainable, 2, 100042. https://doi.org/10.1016/j.cejgas.2026.100042
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Aspectos Sociales Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "El reúso de aguas residuales municipales tratadas (TMW) en la agricultura ofrece una fuente de agua confiable y disponible localmente que puede reducir la vulnerabilidad a la sequía y otras limitaciones del suministro de agua" **Introducción (P2):** "El reúso de aguas residuales para la agricultura solo es práctico en áreas específicas debido a la competencia con otros sectores, los costos de tratamiento avanzado y transporte, y/o la falta de infraestructura que conecte las plantas de tratamiento con las áreas agrícolas" **2.1 Situación actual de la reutilización de aguas residuales para la agricultura (P2):** "El enfoque de reúso de aguas residuales 'apto para el propósito' (fit-for-purpose) puede conservar agua y reducir los costos de producción y la demanda de energía al eliminar tratamientos innecesarios y el transporte a larga distancia" **3.1 Aspectos económicos asociados al uso de TMW en la agricultura (P7):** "Uno de los principales desafíos que enfrenta el sector agrícola para adoptar las aguas residuales tratadas es su costo relativamente alto... sigue siendo una barrera significativa para su adopción generalizada" **3.4 Barreras culturales y sociales (9):**

"A pesar de los avances tecnológicos, la adopción a nivel de granja y la aceptación del consumidor siguen siendo las principales barreras para el uso de aguas tratadas en el riego agrícola"

"La oposición al uso de agua recuperada surge del 'factor asco' (yuck factor), además de los riesgos para la salud percibidos por los usuarios finales"

4.1 Tratamiento rentable de aguas residuales municipales para la agricultura (P11):

"Los trenes de tratamiento híbridos e integrados —en lugar de procesos unitarios individuales— ofrecen el camino más prometedor para producir agua de riego de alta calidad y mejorar la comercialización del agua regenerada"

4.3 Un enfoque sistemático: El concepto de agua única (P11):

"Se necesita un cambio de política para pasar de una toma de decisiones basada en el costo monetizado de fuentes de agua específicas hacia un análisis sistemático integral de cómo agregar agua recuperada mejora la confiabilidad y sostenibilidad"

Conclusiones (P12):

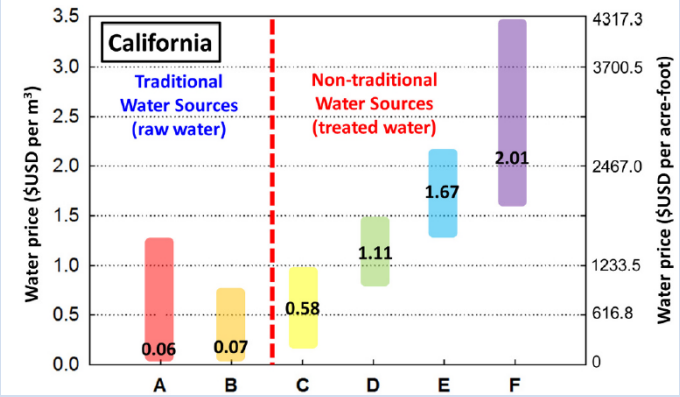
"A medida que la escasez de agua impulsada por el clima se intensifica, asegurar fuentes de agua alternativas confiables es esencial para mantener la productividad agrícola y la resiliencia"

"No existe una tecnología única que proporcione una solución universal; en su lugar, las estrategias de tratamiento deben adaptarse a los requisitos de uso final agrícola mediante enfoques de tratamiento integrados"

"Las comparaciones de costos convencionales a menudo no capturan los beneficios sociales más amplios del reúso, incluida la mejora en la confiabilidad del suministro y las pérdidas de cultivos evitadas durante la sequía"

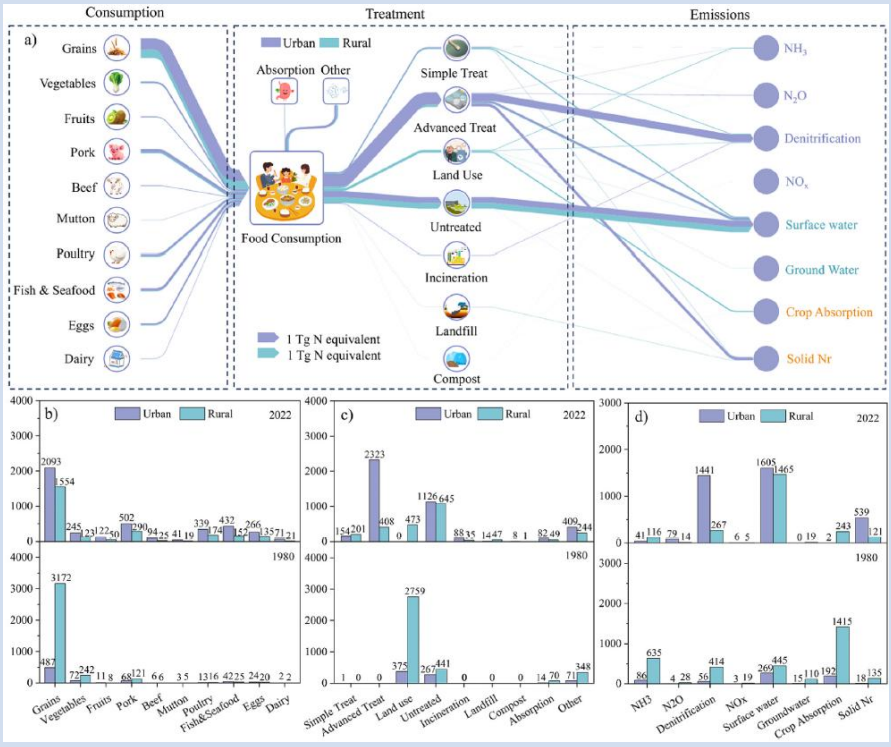
"Mejorar la aceptación requerirá una comunicación de riesgos transparente y una educación centrada en la eficacia del tratamiento en lugar del origen del agua residual"

"Adoptar una perspectiva de 'Una sola agua' (One-Water) que integre el reúso de aguas residuales en la gestión del agua a escala de cuenca puede ayudar a maximizar los beneficios ambientales, económicos y sociales"

	Redacciones propias: Se refuerza que la factibilidad de interconectar los servicios sanitarios en San Pedro debe evaluarse bajo un modelo de inversión estratégica y justicia territorial, donde los beneficios de seguridad hídrica a largo plazo para la provincia superen los altos costos operativos iniciales del tratamiento avanzado.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** considerar un modelo de inversión estrategia y justicia territorial a evaluar la factibilidad de saneamiento con reúso.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Precios de diversas fuentes de agua para riego agrícola en California (A: Agua fuera de la explotación (agua superficial) [167], B: Agua de pozo (agua subterránea) [167], C: Agua de lluvia [168], D: Agua salobre [168], E: Aguas residuales recicladas [168] y F: Agua de mar desalinizada [168]). Los números indican el precio promedio del agua en dólares estadounidenses por metro cúbico(P7): 

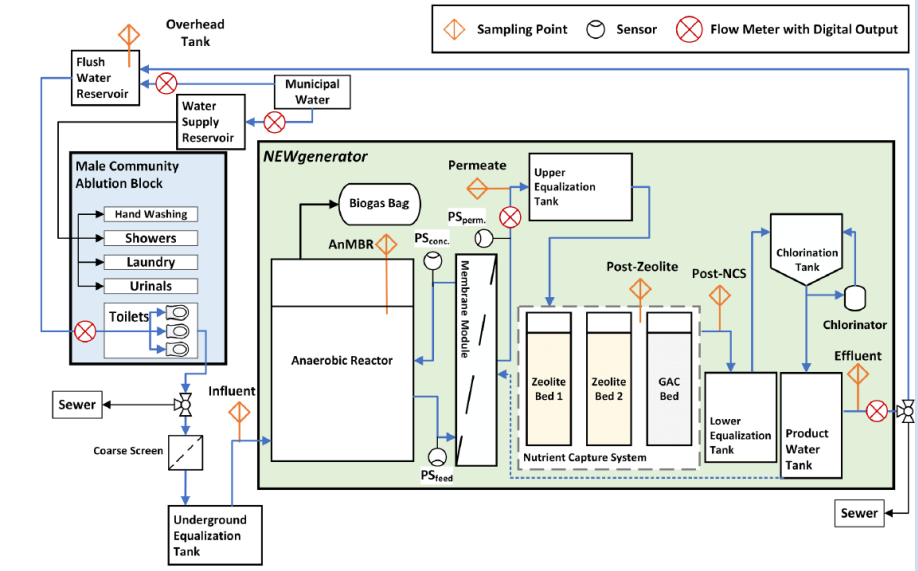
	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Li, Y., Sun, H., Luo, S., Zhan, W., Li, W., Li, Y., Zhao, T., Zuo, W., Tian, Y., & Li, L. (2025). Dietary changes and uneven sanitation systems widen urban–rural health environment efficiency disparity. Journal of Environmental Management, 391, 126444. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126444
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La integración de las transiciones dietéticas con las mejoras en el tratamiento puede equilibrar eficazmente los objetivos de salud y ambientales, reduciendo la disparidad urbana-rural" **Introducción (P2):** "El desequilibrio en el desarrollo urbano-rural ha exacerbado aún más los riesgos para la salud y la contaminación ambiental en las zonas rurales debido a... una capacidad de tratamiento de residuos insuficiente" "Las pautas dietéticas poco saludables y la capacidad insuficiente de gestión de residuos representan amenazas cada vez más graves tanto para la salud pública como para el ecosistema" **3.1 Efectos sinérgicos de los cambios en la dieta sobre la salud y el medio ambiente (P4):** "Esta disparidad se atribuye principalmente a... un menor número de instalaciones de tratamiento y tecnologías de tratamiento obsoletas [en áreas rurales]" **3.2 Patrones de flujo de nitrógeno en los sistemas alimentarios (P6):** "La proporción de nitrógeno en los residuos tratados aumentó del 58,5 % al 69,7 % [en ciudades], lo que llevó a mejoras significativas en la recolección y el tratamiento de excretas... En cambio, las áreas rurales tienen instalaciones de tratamiento de residuos centralizadas inadecuadas" **3.3. Análisis de atribución de las emisiones de Nr (P7):**

	"Para 2022, la tasa de tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales era inferior al 30 %, con una eficiencia de eliminación de nitrógeno (NRE) de las instalaciones de tratamiento centralizadas de solo el 28,3 %, en comparación con el 55,8 % en las zonas urbanas" **Discusión(P8):** "Las zonas rurales enfrentan mayores desafíos, ya que menos instalaciones de tratamiento de residuos y tecnologías obsoletas contribuyen a una contaminación severa" "Nuestro estudio enfatiza la necesidad de estrategias regulatorias específicas en áreas urbanas y rurales para mejorar efectivamente la salud de los residentes y mitigar la contaminación" **Conclusiones (P9):** "Incluso en áreas urbanas... el 31,3 % de las excretas aún permanece sin recolectar, ingresando directamente al medio ambiente. En contraste, las áreas rurales enfrentan desafíos significativos con tasas de tratamiento de aguas residuales por debajo del 30 %" **Redacciones propias:** Los sistemas de saneamiento rural actuales están fallando en capturar y tratar el nitrógeno de forma eficiente. La interconexión operativa que se propone para San Pedro podría ser la "mejora de tratamiento" necesaria para revertir la tendencia de degradación ambiental y cerrar la brecha de eficiencia que el paper identifica como un riesgo global para la sostenibilidad rural.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** La importancia del nitrógeno en las aguas servidas radica en que constituye una variable clave al momento de seleccionar tecnologías no convencionales para su tratamiento en zonas rurales.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Destino del nitrógeno alimentario en 1980 y 2022. (a) Flujos de nitrógeno en los sistemas alimentarios en regiones urbanas y rurales en 2022. (b–d) Cantidades de nitrógeno relacionadas con el consumo de alimentos (b), el tratamiento de residuos (c) y las emisiones (d) en regiones urbanas y rurales en 1980 y 2022. En la figura 2a, el texto morado representa las emisiones al estado gaseoso, el azul las emisiones al estado líquido y el naranja las emisiones al estado sólido. En las figuras 2b, c y d, la fila superior de histogramas representa 2022, mientras que la fila inferior representa 1980, con unidades de Gg N año-¹(P5): 

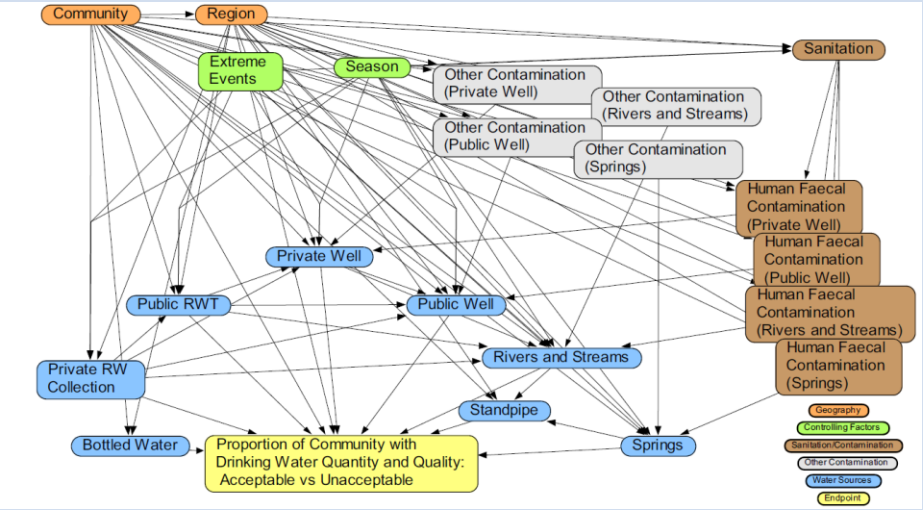
	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Shyu, H.-Y., Bair, R. A., Castro, C. J., Xaba, L. P., Ncube, T. T., Cottingham, R., Mutsakatira, E., & Yeh, D. H. (2025). Advanced non-sewered sanitation system for onsite water recycling in a South African informal settlement. Water Research X, 29, 100342. https://doi.org/10.1016/j.wroa.2025.100342
Palabras claves:	Reutilización de Aguas Servidas Tratamiento descentralizado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "A lo largo de la prueba, el NG cumplió consistentemente con los estándares locales de agua reciclada para pH, DQO, SST, turbidez, cloro residual y Escherichia coli" "Los niveles de nitrógeno total se redujeron en un 97 %, superando el estándar ISO 30500 desarrollado recientemente" "Mediante el reciclaje de agua, el NG compensó la demanda de agua municipal para la descarga de inodoros" "Sin embargo, una alta tasa de fugas resultó en una elevada demanda de agua para la descarga de inodoros. Aproximadamente el 78 % de la demanda de agua de descarga se desperdició debido a fugas, lo que también redujo la capacidad del NG para compensar la demanda total" "Si se realizaran medidas de reducción de la demanda, como la reparación de fugas y la instalación de inodoros eficientes en el uso del agua, el NG podría cubrir la totalidad de la demanda... logrando un sistema de agua de circuito cerrado" "...en un sistema de circuito cerrado, es necesario el reemplazo periódico del agua para mantener la eficiencia de eliminación de nutrientes del NG" **Introducción (P1):** "En respuesta [al cambio climático], han surgido los Sistemas de Saneamiento No Conectados a la Red (NSSS) para superar las limitaciones técnicas de los métodos de tratamiento tradicionales in situ y para reforzar la resiliencia de la infraestructura de saneamiento contra el cambio climático" "El reciclaje de agua in situ es especialmente pertinente para las regiones que experimentan escasez de agua, donde puede abordar los desafíos de gestión de recursos y del medio ambiente relacionados con el agua" "El reciclaje de agua in situ disminuye la demanda de agua potable al reutilizar el agua tratada para usos no potables, como la descarga de inodoros y el riego"

	2.1 Configuración del sistema y del sitio (P2): "La operación estaba totalmente automatizada mediante un microcontrolador Arduino. Paneles solares instalados en el techo del contenedor... alimentaban el sistema" "El NG demostró un tratamiento eficaz de aguas negras y orina reales, lo que indica que podría cumplir con la mayoría de los estándares de reutilización de agua" **4.3. Acumulación de iones en la reutilización de agua en circuito cerrado (P8):** "Sobre la base de una producción de agua reciclada de 1000 L/d, un sistema de circuito cerrado requeriría un reemplazo completo del agua cada seis meses para evitar concentraciones de Na+ que harían ineficaz al sistema de captura de nutrientes" **Redacciones propias:** Este paper refuerza que la interconexión de los servicios en San Pedro no solo es factible técnicamente con tecnologías de membrana, sino que su éxito dependerá drásticamente de la integridad de las tuberías (evitar el 78% de pérdida por fugas que tuvo el estudio) y de un monitoreo automatizado para asegurar que el agua reciclada sea segura para usos no potables en la zona rural.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Diseño del sitio y diagrama de flujo del proceso para el NEWgenerator. Tres sensores, PSconc, PSfeed y PSpermeate, representan los transmisores de presión utilizados para monitorear la presión de la membrana en las etapas de concentrado, alimentación y permeado. Se instalaron cinco caudalímetros para medir el flujo de permeado de la membrana, la demanda de agua para higiene (duchas, lavabos y lavandería), la demanda de agua municipal para el depósito de agua de descarga y el suministro de agua municipal al CAB macho. (P3): 

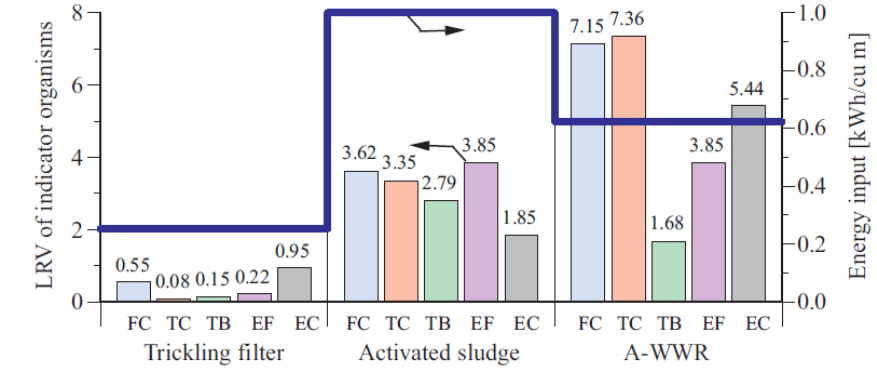
	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Chan, T., MacDonald, M. C., Kearton, A., Elliott, M., Shields, K. F., Powell, B., Bartram, J. K., & Hadwen, W. L. (2020). Climate adaptation for rural water and sanitation systems in the Solomon Islands: A community scale systems model for decision support. *Science of the Total Environment, 714*, 136681. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136681
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Aspectos Sociales Desarrollo Rural
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La prestación de servicios de agua y saneamiento es un desafío en entornos rurales con escasez de datos en los países en desarrollo" "Un modelo que integre las amenazas y los arreglos de los recursos hídricos apoya la toma de decisiones" **Introducción (P2):** "La toma de decisiones en torno a WaSH... es compleja, ya que existen múltiples peligros relacionados con el agua que enfrentan las comunidades, y es probable que los impactos de estos se vean exacerbados por los cambios previstos en el clima" "Estas dimensiones sociales y de comportamiento... son componentes vitales del sistema que, en última instancia, determinan el grado de éxito de las intervenciones" "La efectividad de las fuentes de agua comunitarias gestionadas localmente... puede variar desde un sistema de 'el primero en llegar es el primero en ser servido', hasta una gestión donde los líderes dictan los términos de su uso" **2.2.1 Modelado conceptual y cuantificación (P3):** "El enfoque se centró en las preocupaciones de la comunidad sobre la calidad y cantidad del agua, a través de múltiples fuentes y las decisiones comunitarias resultantes" **4.1 Condiciones de referencia y seguridad hídrica (P10):** "Tener múltiples fuentes de agua disponibles para los hogares mejora la resiliencia de las comunidades rurales durante eventos extremos" "El desarrollo de modelos WaSH cuantitativos que puedan manejar los desafíos de la alta incertidumbre y la escasez de datos puede ayudar en la toma de decisiones sobre las intervenciones y las opciones de adaptación al cambio climático"

	"El desarrollo de modelos participativos puede demostrar las conexiones localmente matizadas entre el comportamiento y los sistemas de agua y saneamiento, y ayudar a priorizar soluciones adecuadas" **4.2 Vínculo entre los sistemas de saneamiento y de agua (P11):** "Aunque a menudo se diseñan e implementan por separado, está claro... que los sistemas de agua y saneamiento están íntimamente vinculados" "Estas dimensiones sociales y de comportamiento... son componentes vitales del sistema que, en última instancia, determinan el grado de éxito de las intervenciones" **4.3 Escenarios futuros y repercusiones de las intervenciones de gestión (P11):** "Los resultados finales de las intervenciones... combinan la provisión de infraestructura e intervenciones de 'software' como la educación y la capacitación en torno a la operación y el mantenimiento" **Conclusiones (P12):** "El desarrollo de modelos participativos puede demostrar las conexiones localmente matizadas entre el comportamiento y los sistemas de agua y saneamiento, y ayudar a priorizar soluciones adecuadas" "La infraestructura debe instalarse con un proceso de transferencia de tecnología adecuado para garantizar que las comunidades comprendan el funcionamiento práctico, el mantenimiento y las opciones de reparación" "Es necesario un proceso de transferencia centrado en lo social para facilitar el desarrollo comunitario de protocolos acordados para compartir el agua y la asignación clara de responsabilidades" **Redacciones propias:** La factibilidad de la interconexión operativa no solo depende de la ingeniería hidráulica, sino de crear un "modelo de sistema" que considere la gobernanza compartida, la capacitación técnica de los operadores y la aceptación de los usuarios ante un cambio en la administración de su recurso hídrico.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Diagrama conceptual del agua potable en las Islas Salomón (con la Comunidad y la Región) (P4): 

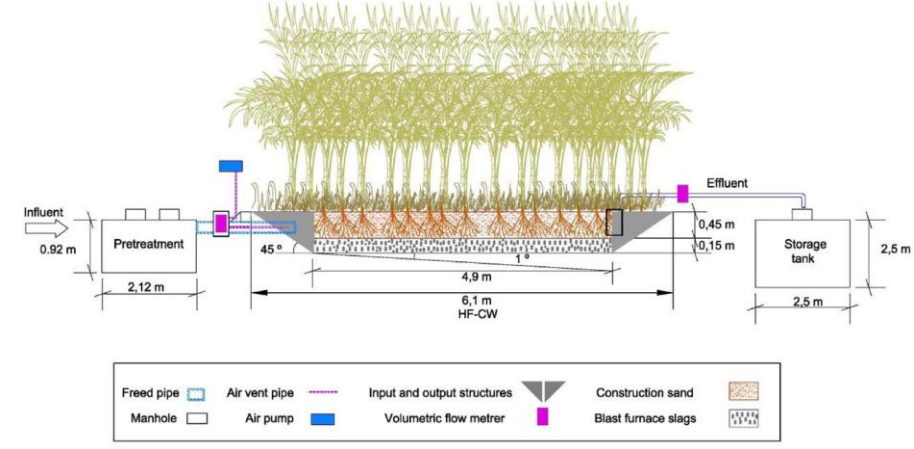
	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Delanka-Pedige, H. M. K., Cheng, X., Munasinghe Arachchige, S. P., Bandara, G. L. C. L., Zhang, Y., Xu, P., Schaub, T., & Nirmalakhandan, N. (2020). Conventional vs. algal wastewater technologies: Reclamation of microbially safe water for agricultural reuse. Algal Research, 51, 102022. https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102022
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Introducción (P2):** "Como el mayor consumidor de agua dulce, el sector agrícola es el que más puede beneficiarse del agua reclamada" "Un beneficio secundario del uso de agua reclamada en la agricultura es la disponibilidad gratuita de nutrientes para las plantas, reduciendo las necesidades de fertilizantes de muchos cultivos" **3. Tratamiento y recuperación de aguas residuales tradicionales (P2):** "Se reconoce ahora que las plantas de tratamiento de aguas residuales basadas en lodos activados convencionales no son sostenibles debido a su huella energética, de recursos y ambiental, y sus impactos de ciclo de vida" "Dado que fueron diseñadas originalmente de forma específica para cumplir con los estándares de descarga en aguas superficiales, deben ser actualizadas o modificadas si su efluente va a ser redirigido para el reúso agrícola" **4. Tratamiento de aguas residuales a base de algas (P2):** "Las tecnologías de tratamiento basadas en algas han sido reconocidas como una vía de tratamiento de aguas residuales sostenible y rentable donde... se eliminan los orgánicos y nutrientes en un solo paso, eliminando así la necesidad de aireación artificial" **5. Descripción general del sistema mixotrófico A-WWR (P3):** "Los sistemas basados en algas... requieren bajas habilidades del operador (en comparación con sistemas centralizados)" "La operación del sistema A-WWR... ha demostrado su capacidad para alcanzar los estándares de descarga para DBO, nitrógeno amoniacal y fosfatos en un solo paso en tres días"

	6.2 Bacterias y virus entéricos (P3): "El sistema A-WWR puede ser potencialmente una alternativa más verde para reclamar agua de mayor calidad a costos más bajos" **6.3 Bacterias y genes resistentes a los antibióticos (P4):** "El sistema A-WWR fue capaz de suprimir la propagación de la resistencia [antibiótica] y proporcionar agua reclamada más segura para el reúso agrícola" **6.4 Estructuras de comunidades bacterianas y virales (P4):** "Ningún género de bacteria patógena fue detectado en el efluente final" **7. Perspectivas (P6):** "El sistema emergente A-WWR [Reclamación de Aguas Residuales por Algas], con su capacidad de inactivación innata, podría ser una tecnología de reclamación de agua asequible y más verde, más adecuada para instalaciones descentralizadas en comunidades periurbanas" "Al evitar la aireación artificial, el sistema A-WWR tiene el potencial de proporcionar un tratamiento de nivel secundario con una huella energética menor que el proceso de lodos activados" "Se ha logrado la inactivación microbiana concurrente debido a los efectos sinérgicos del bajo pH, la temperatura elevada, las altas concentraciones de oxígeno disuelto y la luz solar" **Redacciones propias:** la interconexión operativa basada en tecnologías de algas es factible porque reduce drásticamente los costos operativos de electricidad (que suelen ser el mayor impacto en los SSR), simplifica el tratamiento a un solo paso y garantiza un efluente de alta seguridad biológica ideal para la actividad agrícola de la zona sin requerir procesos de desinfección química costosos.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** costos operativos menores de electricidad en base a tecnologías con algas.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Valores de eliminación logarítmica (LRV) para coliformes fecales (FC); coliformes totales (TC); bacterias totales (TB); Enterococcus faecalis (EF); y E. coli (EC). La escala de la derecha muestra los aportes de energía necesarios para los sistemas de filtro percolador [39], lodos activados [40] y recuperación de aguas residuales con algas (A-WWR) [23]. (P3): 

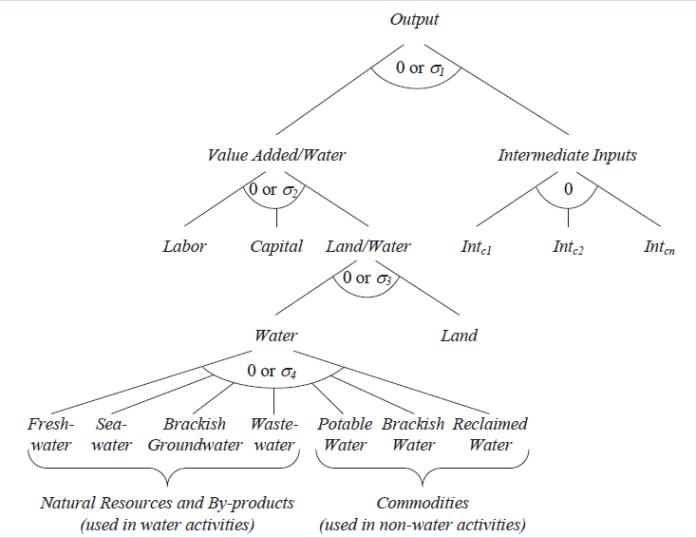
	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Andreo-Martínez, P., García-Martínez, N., Quesada-Medina, J., & Almela, L. (2017). Domestic wastewaters reuse reclaimed by an improved horizontal subsurface-flow constructed wetland: A case study in the southeast of Spain. *Bioresource Technology, 233*, 236–246. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.123
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P236):** "El humedal horizontal mejorado logró porcentajes de reducción similares o mejores que los reportados utilizando algunos sistemas híbridos" **Introducción (P237):** "Uno de los desafíos más importantes de cualquier civilización es la gestión sostenible adecuada y la conservación de los recursos hídricos, desafío que se acentúa en las regiones áridas y semiáridas" "Se espera que el cambio climático comprometa la calidad y disponibilidad de agua... lo que aumenta la necesidad de encontrar soluciones sostenibles" "Los humedales construidos (CW) son una solución interesante para mejorar la calidad de las aguas residuales antes de su disposición en el medio ambiente o su reutilización para el riego" "La implementación de humedales de flujo subsuperficial horizontal (HF-CW) podría ser una solución para el tratamiento de aguas residuales domésticas de casas aisladas" "Se propusieron soluciones como la aireación del lecho del humedal y la aireación del afluente para complementar los procesos de aireación natural" "Dada la necesidad de un tratamiento adecuado... la lógica nos dice que estas aguas residuales regeneradas deberían utilizarse para diferentes aplicaciones como el riego de cultivos, descarga de baños o riego de zonas verdes" "En esta zona, los huertos domésticos de frutas y verduras para consumo familiar son muy comunes, los cuales podrían ser irrigados con aguas residuales recuperadas por humedales" **3.4 Reducción de la conductividad eléctrica y del índice de adsorción de sodio (P242):**

	"El proceso de evapotranspiración (ET) reduce el volumen de agua y aumenta la concentración de sal en el agua, responsable principal del incremento de la conductividad eléctrica (EC) y la relación de adsorción de sodio (SAR)" "En climas áridos y semiáridos, el exceso de salinidad plantea un problema adicional a las preocupaciones comunes de nutrientes y patógenos" **Conclusiones (P245):** "La aireación artificial proporcionó mejoras con respecto a la reducción de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (TN) y E. coli" "Los efluentes fueron consistentes con la ley española para la reutilización de aguas residuales regeneradas, como calidad agrícola 2.1" "La disminución de la conductividad eléctrica en el suministro de agua o el uso de macrófitas con menor absorción de agua pueden resolver este problema" **Redacciones propias:** Estas citas de 2017 refuerzan que la interconexión operativa en basada en humedales es técnicamente factible y altamente eficiente para la remoción de materia orgánica y patógenos, pero advierten que la evaluación de factibilidad debe considerar cuidadosamente el balance hídrico y la salinidad del efluente durante los meses de verano para asegurar su aptitud para el riego agrícola.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Avalar:** la opción de humedal es eficiente para remoción de materia orgánica y patógenos, siendo una solución para grupo de casas aisladas.

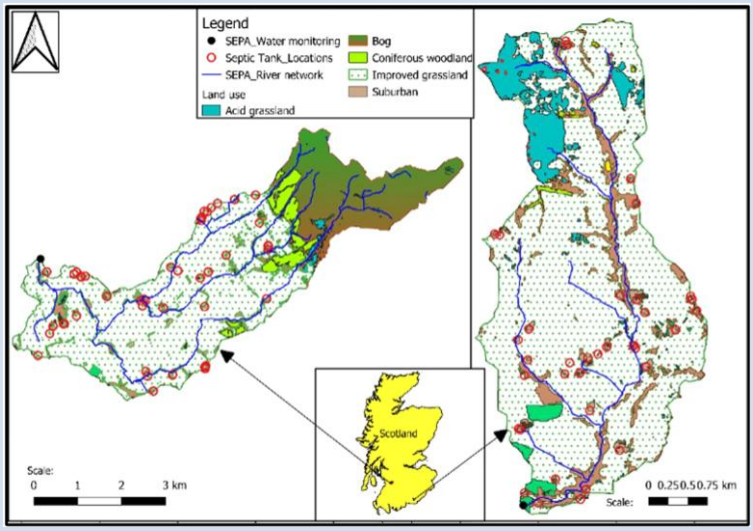
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Dibujo de la sección del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal mejorado (HF-CW) (P238): 

	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Luckmann, J., Grethe, H., & McDonald, S. (2016). When water saving limits recycling: Modelling economy-wide linkages of wastewater use. *Water Research, 88*, 972–980. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.004
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P972):** "La cantidad de agua residual recuperada depende del consumo de agua de los agentes económicos conectados a un sistema de alcantarillado" **Introducción (P972):** "La oferta de agua de fuentes tradicionales no está al día y se ve limitada por preocupaciones ambientales y de otro tipo que restringen la extracción de los acuíferos" "...las sociedades tienen que reconocer que el agua es un bien económico que es costoso" "Los altos precios del agua potable han inducido a las empresas a invertir en instalaciones de reciclaje internas, reduciendo el potencial para el reciclaje de aguas residuales comunales" **2. Resumen de la literatura (P973):** "El riego con aguas residuales recuperadas... puede generar beneficios económicos netos positivos... dependiendo de la distancia de transporte" **3. Descripción del Modelo (P974):** "...la oferta de aguas residuales define la cantidad máxima disponible para el reciclaje, pero la cantidad real utilizada depende de la demanda de agua recuperada condicionada a la demanda y oferta de todos los tipos de agua en el sistema" **4.1 Reciclaje de aguas residuales en Israel (P974):** “Aproximadamente el 75% (355 millones de m3) de las aguas residuales se recicla, lo que se encuentra entre las tasas de

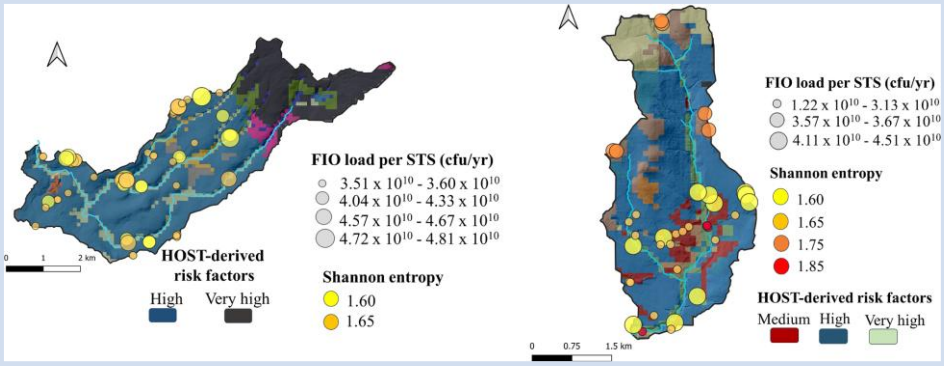
	reciclaje más altas del mundo.1 El resto del agua tratada se descarga en los ríos para mejorar la calidad del agua y el caudal de los ríos” "El riego con aguas residuales recicladas se limita a cultivos que no son para consumo humano, por ejemplo, algodón, cultivos forrajeros, o para cultivos cuyas partes consumidas no tienen contacto directo con el agua, por ejemplo, huertos y otros cultivos arbóreos" “Se ofrece asistencia financiera a los agricultores que optan por el uso de aguas residuales regeneradas y para mejorar su calidad” **5. Discusión (P979):** "La dependencia del reciclaje de aguas residuales de la entrada de alcantarillado hace que el ahorro de agua en el sector municipal sea menos eficiente cuanto más altas sean las tasas de recuperación, ya que reduce la disponibilidad de agua recuperada" "Debido a esto, el aumento de las tarifas de agua potable en el sector municipal podría conducir a resultados no deseados, como el aumento de la demanda de agua potable del sector agrícola como resultado de una menor oferta de alcantarillado y, por lo tanto, de agua residual recuperada" **Redacciones propias:** Obligan a considerar que la factibilidad operativa de la interconexión no solo depende de la ingeniería de la tubería, sino de un delicado equilibrio económico: si el sistema es "demasiado eficiente" ahorrando agua potable en las casas, la planta de tratamiento interconectada podría no tener caudal suficiente para entregar el agua de riego que la agricultura de Melipilla necesita.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** hay beneficio económico del agua reutilizada cuando la distancia de transporte es mínima. **Contrapropuesta:** la reutilización de agua para riego podría resultar contraproducente, ya que podría incentivar un aumento en el consumo de agua potable con el fin de generar mayores volúmenes de agua reutilizada, beneficiando principalmente a los agricultores.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Sistema de producción para las actividades en la ETAPA_W. (P974): 

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Mzyece, C. C., Glendell, M., Gagkas, Z., Troldborg, M., Negri, C., Pagaling, E., Jones, I., & Oliver, D. M. (2026). Validating a Bayesian network model to characterise faecal indicator organism loss from septic tank systems in rural catchments. *Water Research, 288*(Part B), 124715. https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124715
Palabras claves:	Alcantarillado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "El análisis de sensibilidad identificó la condición del sistema de fosa séptica (STS) y el nivel de tratamiento como factores críticos que influyen en la pérdida de FIO" "Validar las predicciones del modelo con datos observados es esencial para fomentar la confianza en los resultados del modelo" **Introducción (P2):** "Las Redes Bayesianas... son particularmente adecuadas para modelar el riesgo de contaminación por FIO... donde los datos de monitoreo son escasos y el destino y transporte de contaminantes microbianos están influenciados por procesos ambientales complejos e interactuantes" "Las BN se eligieron por su flexibilidad para incorporar múltiples tipos de datos, incluidos los juicios de expertos, y por su capacidad para contabilizar explícitamente la incertidumbre" "La efectividad de este tratamiento depende del buen mantenimiento del STS, su antigüedad y la capacidad de filtración del suelo circundante" "Mitigar la contaminación por FIO es esencial para preservar la calidad del agua y proteger la salud pública, particularmente en cuencas que drenan hacia aguas recreativas designadas para el baño" **3.3 Evaluación del Modelo (P6):** **"El efluente descargado directamente desde los STS a los cursos de agua afectó en gran medida la carga de FIO realizada hacia un curso de agua"** **4. Discusión (P9, 10 y 11):** "El riesgo de transferencia de FIO se ve exacerbado por pendientes pronunciadas y distancias más cortas a los cursos de agua" "El modelo BN demostró su capacidad para predecir valores medios y medianos en el mismo orden de magnitud que los datos observados, lo que demuestra que nuestro modelo es apto para su propósito" "Nuestro estudio aconseja que los STS planificados para ubicaciones aproximadamente a 10 m de un curso de agua deben construirse en pendientes

	que no excedan el 5 %... esto puede minimizar la escorrentía y reducir las cargas de FIO hasta en un 13 %" **Nota:** FIO (Faecal Indicator Organism): Indicador de organismos fecales. **Redacciones propias:** Este documento refuerza que la factibilidad de tu sistema de saneamiento interconectado no solo depende de la planta de tratamiento, sino de una evaluación probabilística de las fosas sépticas individuales y las redes de conexión. Propone que para San Pedro, se utilicen modelos de Redes Bayesianas para identificar las zonas de "alto riesgo" (basadas en suelo, pendiente y distancia al agua) y priorizar en ellas las obras de interconexión para mitigar la carga biológica acumulada.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir**	**Complementar:** Uso de suelos vs carga FIO por fosas sépticas.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Uso del suelo en las cuencas de Cessnock y Mein (P3):  Carga prevista de FIO por fosa séptica en Cessnock (izquierda) y Mein (derecha). El tamaño del círculo indica la magnitud de la carga: los círculos más pequeños representan cargas de FIO menores y los más grandes, cargas

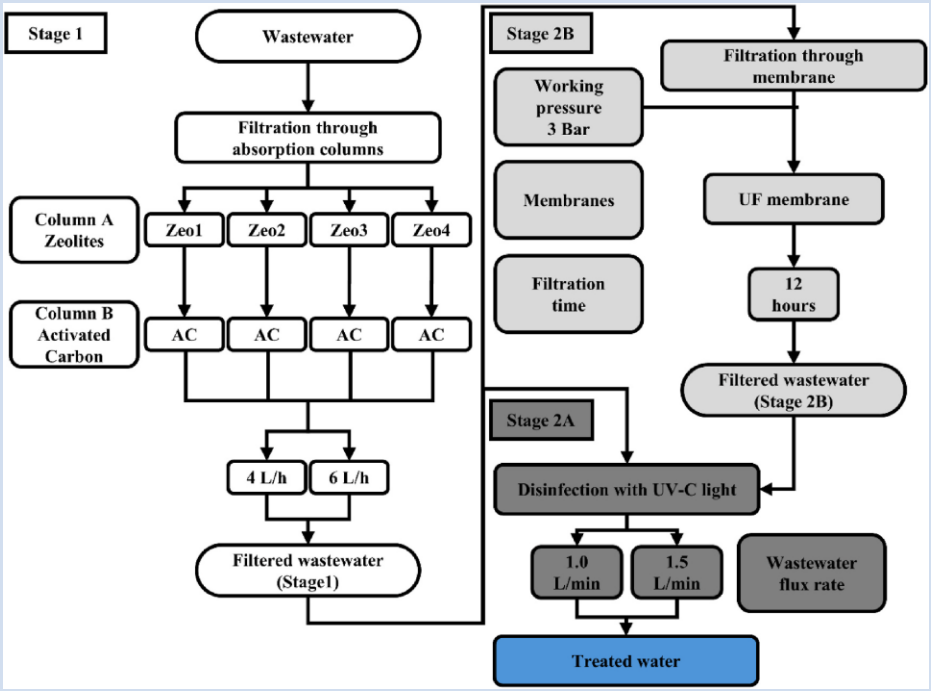
mayores. El color del círculo refleja los niveles de entropía. El mapa de fondo muestra los factores de riesgo derivados de HOST. Cabe destacar que la escala utilizada para representar la carga prevista de FIO difiere entre las dos cuencas. (P10):



TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA

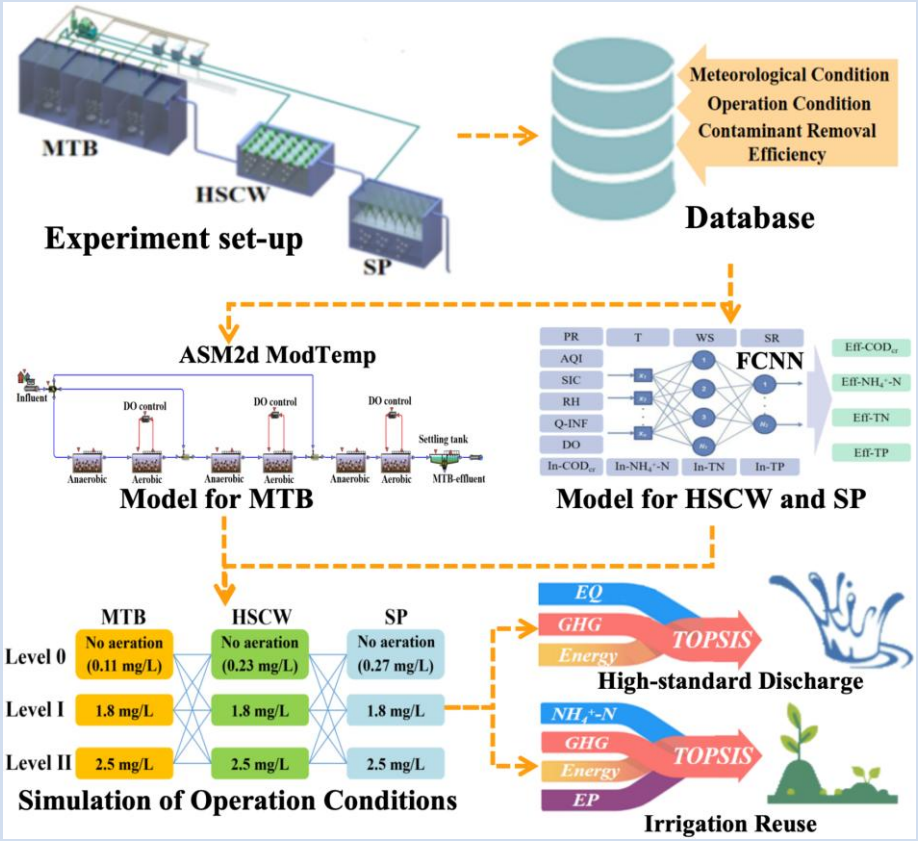
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	González, C., Negrete, C., Do, A., Herrera, J., Martínez Díaz, I., Calderón, R., & Rodríguez, B. (2026). Tertiary treatment of domestic wastewater for reuse: Implementation and evaluation in a rural context in Chile. Journal of Environmental Management, 402, 129143. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.129143
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "El tren propuesto, de bajo consumo energético y adaptable localmente, proporciona una vía pragmática y transferible para el reúso descentralizado de agua en entornos rurales áridos" "Los indicadores de salinidad... sugieren restricciones de riego moderadas e idoneidad práctica principalmente para cultivos moderadamente tolerantes a la sal bajo un manejo adecuado" **Introducción (P2):** "En Chile, las proyecciones indican una disminución del 10 al 20 % en las precipitaciones y aumentos de temperatura de hasta 6 °C, particularmente en las regiones del norte y centro" "En Chile, la cobertura de tratamiento de aguas residuales aumentó... a casi el 100 % para 2016. Sin embargo, solo el 0,8 % de los efluentes tratados se reutiliza actualmente para la agricultura, y la mayoría se descarga en ríos o en el mar" **3.2.1. Etapa 1 – Filtración en columna – Zeo + CA: Selección y tasa flujo de la zeolita (P6):** "La eliminación de iones disueltos como Cl– y SO4 2– fue mínima... su aplicación debe priorizar cultivos tolerantes a la sal o considerar una etapa complementaria de post-tratamiento (p. ej., dilución)" **3.2.4 Etapa 2B: Filtración en columna + membrana UF + desinfección UV (P8):** "La simplicidad del sistema basado únicamente en columnas de adsorción y UV-C surge como una ventaja clave para aplicaciones rurales, ya que elimina la complejidad operativa y los costos de mantenimiento asociados con la limpieza o el reemplazo de membranas" **3.3. Del laboratorio al campo: Validación a escala piloto en la planta de tratamiento de aguas residuales de La Higuera (P8):** "La disminución temporal de la eficiencia del sistema... es consistente con una dinámica común en los sistemas de zeolita de lecho fijo: una fase inicial de alta

	remoción seguida de una ocupación progresiva de sitios y el acercamiento a la saturación" **4. Limitaciones y adaptabilidad del sistema (P10):** "Los sistemas técnicamente más simples (filtración con zeolita-carbón activado seguida de desinfección UV) son preferibles, ya que equilibran la eficiencia, la robustez y la facilidad de mantenimiento" "La aplicación a escala real requerirá protocolos de regeneración o programas de reemplazo de medios para garantizar un rendimiento sostenido" **5. Implicaciones para la reutilización agrícola y la sostenibilidad (P11):** "La planta piloto se distingue por su operación, que está totalmente alimentada por energía solar fotovoltaica, lo que garantiza una eficiencia energética óptima y autonomía en zonas remotas" **6. Viabilidad económica y consideraciones de costos (P11):** "El diseño modular del sistema, implementado en un contenedor de 20 pies, facilita su despliegue en localidades con espacio limitado y permite la expansión incremental o la modernización de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes" "Bajo estas condiciones, el costo de reutilización sería de aproximadamente 0,10–0,18 USD por m3 de agua recuperada" "Desde una perspectiva socioeconómica, los costos de operación y mantenimiento son factibles de distribuir entre los usuarios finales, considerando los beneficios productivos, sociales y ambientales" **Redacciones propias:** El uso tecnología de zeolita natural y energía solar, permite un costo por metro cúbico muy competitivo para la agricultura local, siempre que se gestione adecuadamente la saturación de los filtros y se seleccionen cultivos adaptados a la salinidad residual del efluente.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir**	**Complementar:** uso de tecnología zeolita natural para el proceso terciario de aguas servidas tratadas.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Diseño experimental para el tratamiento de aguas residuales. Materiales de filtrado inorgánicos (Zeo1, Zeo2, Zeo3, Zeo4), carbón activado (CA), radiación de luz UVC (UV-C), membrana de ultrafiltración (UF), litros por hora (L/h) y litros por minuto (L/min) (P4): 
	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Li, P., Zheng, T., Sun, H., Zan, F., Wu, W., Lv, M., Zhou, X., Wang, X., Liu, J., Ma, Y., Li, L., & Liu, J. (2026). A multi-objective optimization framework for sustainable rural wastewater treatment and agricultural reuse. *Sustainable Horizons, 17*, 100175. https://doi.org/10.1016/j.horiz.2026.100175
Palabras claves:	Alcantarillado Reutilización de Aguas Servidas
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La gestión de las aguas residuales rurales se sitúa en el nexo entre la salud pública, la gestión ambiental y la resiliencia climática" "Nuestra propuesta proporciona un soporte de decisión casi en tiempo real para cumplir con los estrictos estándares de descarga y los requisitos de reutilización agrícola" "Los resultados indican un beneficio de retención de nutrientes de 22,5 g/día de nitrógeno amoniacal bajo el modo de reutilización para riego" **Introducción (P2):** "Particularmente en contextos rurales descentralizados, la alta intensidad energética plantea un desafío crítico debido a las limitadas economías de escala, los presupuestos operativos restringidos y, a menudo, el suministro eléctrico poco fiable" "La descarga de aguas residuales sin tratar representa una amenaza significativa para los entornos hídricos rurales" "El desarrollo de un esquema de tratamiento de aguas residuales rurales resiliente requiere la consideración de diferentes escenarios operativos que cumplan con los estándares de descarga durante la temporada de no riego y los requisitos de reutilización de recursos durante la temporada de riego" "La demanda agrícola de riego y nutrientes varía estacionalmente... por lo tanto, es esencial cambiar el paradigma operativo para retener nutrientes como el nitrógeno y el fósforo en la mayor medida posible durante el reúso" "La integración de modelos biológicos con simulaciones de aprendizaje automático... permite a los operadores cambiar de estrategia estacionalmente, abordando el desafío de equilibrar el cumplimiento normativo con la recuperación de recursos" "Este enfoque de ciclo cerrado minimiza la dependencia de los fertilizantes sintéticos y promueve prácticas agrícolas sostenibles" **3.3 Simulación de sistemas y optimización multiobjetivo (P9):**

	"La reutilización de aguas residuales mejora la productividad agrícola al tiempo que conserva los recursos de agua dulce, lo cual es particularmente crítico en regiones con escasez de agua" **Conclusiones (P10):** "El marco desarrollado demostró una fuerte capacidad predictiva... superando el 85% de precisión, lo que demuestra su potencial para el seguimiento de contaminantes en tiempo real y la reducción de los costos de monitoreo in situ" "Se identificaron dos configuraciones operativas óptimas: una para la descarga de efluentes de alto estándar y otra para la reutilización orientada al riego... las autoridades rurales pueden adoptar directamente estos ajustes según la temporada" "Como solución replicable y rentable, es particularmente adecuada para la gestión descentralizada de aguas residuales rurales en regiones con recursos limitados" **Redacciones propias:** el diseño debe incorporar un sistema de control dual: una configuración para "invierno/inundaciones" que priorice la limpieza total y otra para "verano/siembra" que priorice el envío de agua con carga de nitrógeno (nutrientes) directamente a los campos, optimizando en ambos casos el consumo de electricidad mediante modelos predictivos.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** adaptación estacional (descarga en invierno vs. reúso en verano) es una pieza clave para la factibilidad operativa de los cinco SSR interconectados.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Marco de investigación. (MTB: Reactor biológico de contacto anóxico-óxico (A/O) de tres etapas con múltiples entradas; HSCW: Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal; SP: Estanque de estabilización; ASM2d ModTemp: Modelo de lodos activados n.° 2d; FCNN: Red neuronal totalmente conectada; EQ: Índice de parámetros de calidad del agua integral; EP: Potencial de eutrofización; GHG: Gas de efecto invernadero; TOPSIS: Técnica para el orden de preferencia por similitud con la solución ideal). (P238): 

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Wang, J., He, J., Lee, H. L., Zou, J., Yang, J., Yang, C., Zhang, S., Chen, Y., Gan, Q., & Zhou, Y. (2026). Efficient treatment of rural domestic wastewater using glass pumice derived from waste glass in constructed wetlands: A pathway to sustainable resource valorization. Environmental Research, 292, 123643. https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.123643
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La piedra pómez de vidrio porosa redujo eficazmente los riesgos de colmatación y mejoró las tasas de transferencia de oxígeno vertical, manteniendo así un entorno aeróbico sostenido propicio para la nitrificación" "Los resultados experimentales demostraron que el humedal híbrido logró altas eficiencias de eliminación: 79,28 % para sólidos suspendidos totales (SST), 85,41 % para demanda química de oxígeno (COD) y 86,90 % para nitrógeno amoniacal" "Este estudio demuestra la viabilidad de reciclar vidrio residual como sustrato en humedales construidos y propone una estrategia técnica y económicamente viable para la gestión descentralizada" **Introducción (P2):** "En las zonas rurales... la tasa de tratamiento de aguas residuales domésticas promedió apenas el 31 % en 2022, y la descarga directa plantea riesgos significativos para los ecosistemas acuáticos y la salud pública" "Las tecnologías de tratamiento [rural] deben priorizar la viabilidad económica, la estabilidad operativa y la facilidad de mantenimiento" "En comparación con sustratos convencionales como la arena de río, la zeolita, la grava y la roca volcánica, el vidrio presenta una capacidad de absorción superior" **2.2 El entorno del humedal artificial y los experimentos (P2):** "El agua almacenada podría utilizarse para riego después de ser purificada por los filtros mediados por piedra pómez de vidrio" **3.1 Características de la piedra pómez vítrea como sustrato (P4):** "La estructura porosa aseguró a la piedra pómez de vidrio un área superficial específica adecuada... lo cual es beneficioso para la fijación de microorganismos y la eliminación de contaminantes"

	3.2.3 Análisis de DOM (P6): "El humedal mediado por piedra pómez de vidrio mostró una alta tasa de transferencia de oxígeno... y humificación acelerada para responder a altas cargas de materia orgánica" **3.2.4. Análisis de componentes principales (P7):** "El humedal basado en piedra pómez de vidrio demostró una tolerancia satisfactoria a las cargas de choque inducidas por el clima" **3.4 Análisis Económico (P8):** "La significativa disparidad de costos en la operación diaria entre los humedales construidos y las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)... hace que los humedales sean muy adecuados para su adopción generalizada en el tratamiento de aguas residuales domésticas rurales" "La disponibilidad de subsidios redujo el costo en un 65,22 % en comparación con el tratamiento tradicional" **Conclusiones (P9):** "El análisis de componentes principales (PCA) sugirió que el sistema tenía una fuerte resistencia a las fluctuaciones de temperatura y precipitación" "El análisis económico indicó un costo unitario de tratamiento de 0,48 CNY/m³ ($0,06 USD aprox.), lo que podría disminuir el costo en un 65,22 % en comparación con el tratamiento tradicional" **Redacciones propias:** ejemplo de modelo de economía circular total; utilizar los desechos de vidrio de la propia provincia para fabricar el sustrato de los humedales que tratarán el agua, logrando un sistema que no se tapa (colmata o atasca), que resiste el clima y que opera a un tercio del costo de una planta de lodos tradicional.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta**	**Complementa:** Uso de vidrio reciclado como sustrato en humedales artificiales híbridos.

Materiales más significantes:

Tablas

Gráficos

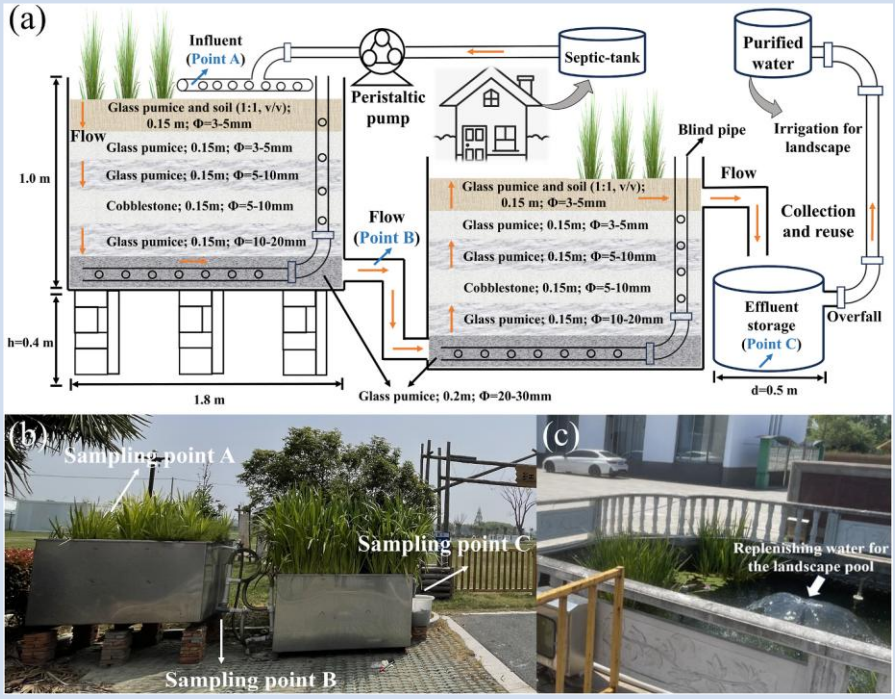
Ejemplos

Fotografías

Mapas

Otros

Diagrama de la estructura del sistema híbrido VSFCW (a). Las flechas naranjas indican la dirección del flujo, mientras que las flechas azules representan los puntos de muestreo; Equipo práctico (b); Aguas residuales purificadas utilizadas para el riego de jardines (c). (P3):



	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Martinez De La Hoz, J. L., Bappy, M. M., Islam, M. S., Marcantel, M., & Hayes, M. P. (2026). Interpretable forecasting of dissolved oxygen leveraging foundation model for proactive aeration in rural wastewater treatment systems. Water Research, 289(Part B), 124931. https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124931
Palabras claves:	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios Calidad del Agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La predicción precisa del oxígeno disuelto (OD) es crucial para mantener el tratamiento biológico y minimizar el consumo de energía en los sistemas de aguas residuales" "El marco propuesto permite un control proactivo de la aireación... lo que respalda las decisiones operativas en tiempo real en sistemas descentralizados" "La integración de SHAP en los flujos de trabajo de predicción... permite identificar los motores específicos del régimen y los parámetros, revelando el predictor más influyente" **Introducción (P2):** "El OD regula la nitrificación y señala la estabilidad del proceso biológico... las concentraciones subóptimas de OD comprometen la actividad microbiana y reducen la eficiencia de eliminación de contaminantes" "La aireación... es la operación que más energía consume, representando un estimado del 50 al 60 % de la demanda total de energía en las configuraciones convencionales" "Las reglas estáticas [de aireación] conducen a una oxigenación insuficiente o excesiva, desperdiciando energía" "Los sistemas rurales añaden más desafíos: población dispersa, infraestructura envejecida, cargas irregulares y automatización limitada que complican el control en tiempo real" "Incluso cuando hay redes de sensores disponibles, los operadores a menudo dependen de técnicas estadísticas manuales... que no pueden capturar la dinámica no lineal y no estacionaria de los procesos de aguas residuales" "Los modelos de base (foundation models)... permiten una adaptación con cero o pocos datos (zero- or few-shot) en diversos dominios, incluidos el clima y la energía"

	"Ningún estudio ha implementado el pre-entrenamiento a escala de modelo de base en PTAR rurales, a pesar de su potencial para abordar la escasez de datos y los desafíos de generalización" "La dinámica del OD exhibe variabilidad estacional debido a factores como la temperatura, la duración de la luz solar, la actividad microbiana y la retención hidráulica" **2.4 Módulo de segmentación y descomposición estacional (P5):** "La segmentación estacional se alinea con fases operativas fisiológicamente distintas... la actividad microbiana y la demanda de oxígeno siguen patrones estructurados climatológicamente" **3.6 Resultados de la interpretabilidad del modelo (P8 y 11):** "En invierno, la conductividad y el pH contribuyeron casi por igual [a la predicción], mientras que el amonio apareció como un factor estacional distintivo" "El análisis proporciona a los operadores 'zonas de riesgo' interpretables en el espacio de entrada, lo que permite una intervención dirigida en lugar de una aireación continua o basada en heurísticas" **Redacciones propias:** Utiliza un "Gemelo Digital" basado en modelos pre-entrenados permite gestionar plantas de tratamiento con un costo de monitoreo reducido, optimizando el uso de aireadores según la estación del año y garantizando que, a pesar de tener pocos datos iniciales, el sistema pueda predecir con más del 85% de precisión cuándo y cuánto oxígeno necesitan sus lagunas para cumplir con la normativa ambiental.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	

Materiales más significantes:

Tablas

Gráficos

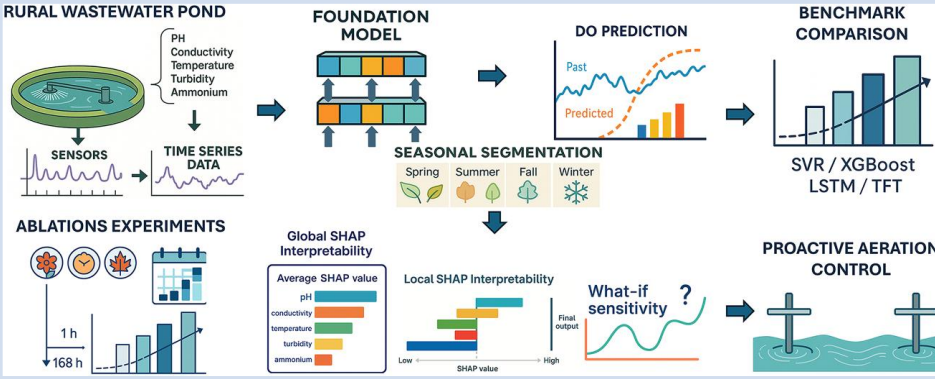
Ejemplos

Fotografías

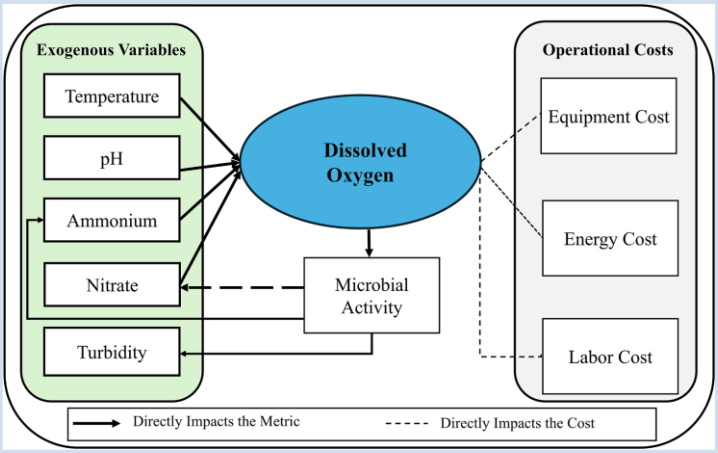
Mapas

Otros

Gráfico de Resumen (P1):



Modelo conceptual que relaciona el oxígeno disuelto, las variables exógenas de calidad del agua, la actividad microbiana y los factores de costo operativo (P2):



Área de estudio, disposición de las lagunas, distribución de los aireadores y despliegue de las sondas (P4):

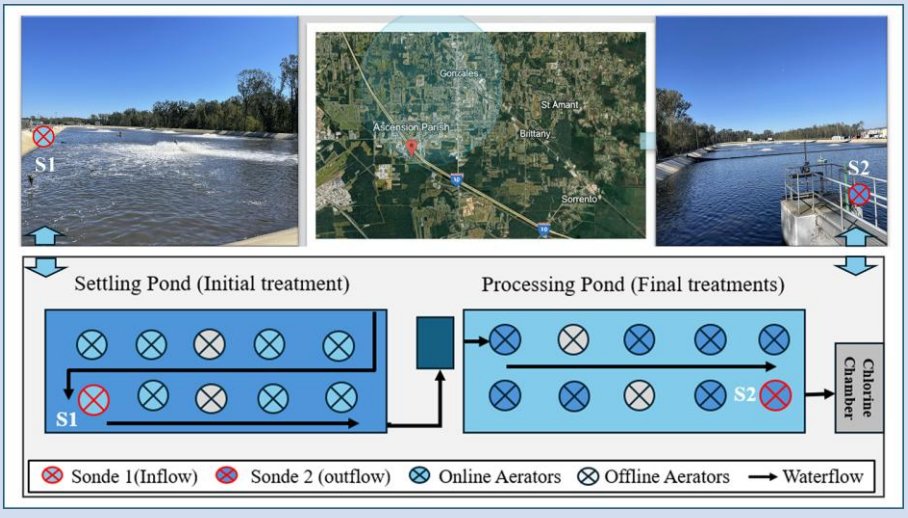
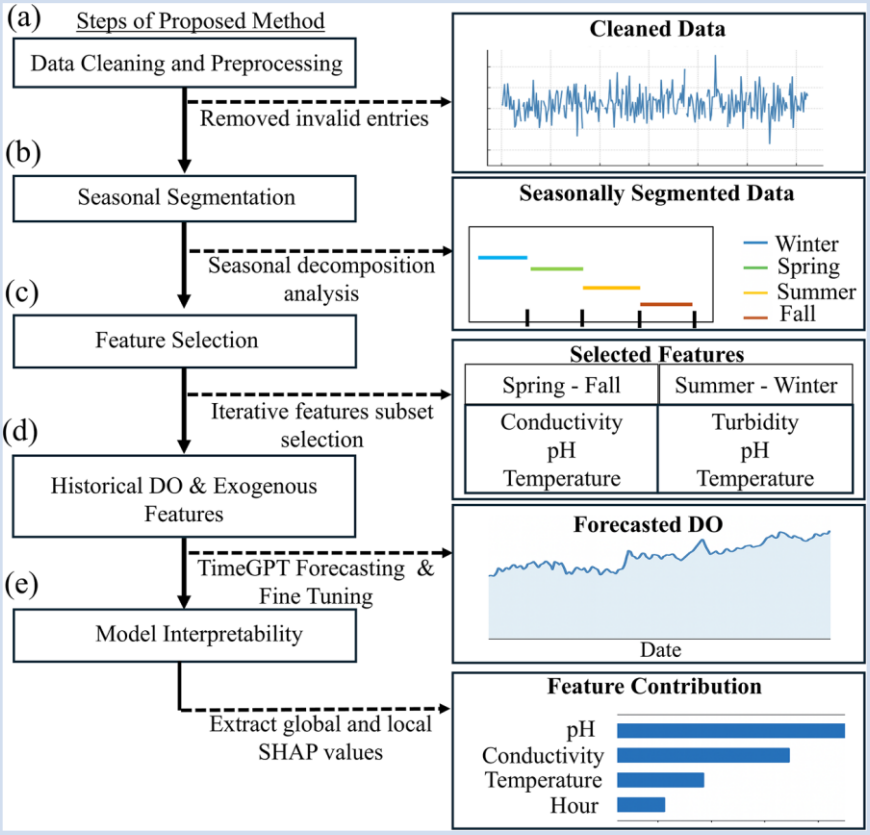


Diagrama de flujo de la metodología propuesta: (ae) ilustra los pasos y, en el lado derecho, resume visualmente los resultados intermedios de cada paso (P4):



	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Li, W., Shi, Z., Hong, J., & Zhu, M. (2026). Biological ponds enhanced with autotrophic moving bed biofilm reactor for upgrading rural wastewater treatment plant effluent: Performance and microbial mechanisms. Bioresource Technology, 447, 134238. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2026.134238
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) rurales de pequeña escala suelen descargar efluentes ricos en nutrientes... lo que plantea un desafío significativo para la desnitrificación heterótrofa convencional" "Para abordar esto, adaptamos estanques receptores de efluentes en estanques biológicos mejorados utilizando dos nuevos soportes de reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR) autotróficos" "Ambos sistemas mejorados lograron tasas de eliminación superiores para nitrógeno de nitratos (97,4 % - 100,0 %), nitrógeno total (92,7 % - 94,2 %) y fósforo total (35,1 % - 76,5 %)" "Los sistemas mejorados superaron con creces a los MBBR convencionales y a los controles en blanco" **Introducción (P2):** "Nuestro estudio de campo en casi 50 PTAR rurales confirmó que tales efluentes suelen descargarse en estanques rurales... ejerciendo una presión de contaminación significativa sobre los entornos acuáticos" "Las PTAR rurales de pequeña escala suelen emplear procesos simples de anaerobio-oxigenado (AO)... dejando un nitrógeno total (TN) y fósforo total (TP) residual significativo en el efluente" "El MBBR puede abordar el problema del alto OD mediante la formación de biopelículas en soportes suspendidos... permitiendo la nitrificación y desnitrificación simultánea" "La integración de MBBR con desnitrificación autotrófica presenta un enfoque prometedor para tratar efluentes de PTAR rurales con baja relación DBO5/TN y alto OD" "Las tecnologías existentes [como humedales o infiltración rápida] enfrentan limitaciones como una eficiencia de eliminación

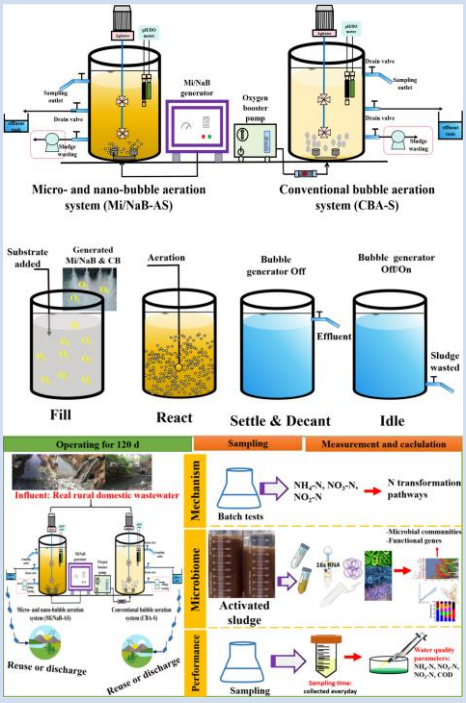
	de TN subóptima, requerimientos de tierra adicionales y altos costos" **2.3 Diseño Experimental (P2):** "Se identificó que una tasa de llenado del 20 % al 30 % es la más rentable para MBBR, maximizando la diversidad microbiana de la biopelícula y logrando una eliminación de nitrógeno óptima" **3.7 Limitaciones y Perspectivas futuras (P10):** "Sugerimos que las investigaciones futuras se centren en... investigar los mecanismos sinérgicos entre los soportes compuestos y los componentes ecológicos existentes de los estanques (p. ej., algas, plantas acuáticas)" **Conclusiones (P14):** "Sobre la base de una evaluación integral de fiabilidad, rentabilidad y simplicidad operativa para aplicaciones de ingeniería práctica, el sistema MBBR + VIA [basado en hierro] es la opción preferible" "El sistema MBBR + VIA proporciona un gran potencial para una aplicación simple, de bajo costo y generalizada en el tratamiento de aguas residuales rurales descentralizadas en todo el mundo" **Redacciones propias:** En lugar de construir una gran planta centralizada, se pueden interconectar las lagunas de los cinco SSR y dotarlas de soportes MBBR autotróficos basados en hierro (VIA). Esto permitiría a los comités rurales alcanzar eficiencias de eliminación de nitrógeno superiores al 92% con una operación muy simple que no depende de la adición constante de carbono externo, resolviendo el problema de la contaminación por nutrientes en la provincia de forma económica.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** desarrolla un marco de predicción de Oxígeno Disuelto (OD) utilizando modelos de inteligencia artificial de última generación (Foundation Models como TimeGPT) adaptados a lagunas de estabilización rurales. Sus hallazgos sobre la reducción del consumo energético y la gestión en entornos con pocos datos son pilares para la factibilidad técnica y económica.

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Li, X., Meng, J., Wang, L., Zhou, Z., Wu, Z., & Wang, Q. (2026). Directional enrichment of functional microbial communities and mutual regulation of nitrogen and phosphorus metabolism pathways during rural wastewater treatment using food waste fermentation residue. Bioresource Technology, 440, 133448. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.133448
Palabras claves:	Calidad del Agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** El uso de residuos de fermentación de desechos alimentarios (FRFW) como fuente de carbono externa podría promover eficazmente el tratamiento de aguas residuales rurales" "El NS-FRFW [no esterilizado] mejoró las tasas de eliminación de TN y TP a 7,1 veces y 2,1 veces, respectivamente [en comparación con el control]" "A través de la detección de quórum (quorum sensing), activó específicamente la transferencia de electrones y el metabolismo del carbono... promoviendo la oxidación del amoníaco y la desnitrificación" **Introducción (P2):** "La baja relación C/N o la limitación de la fuente de carbono son los principales desafíos para la eliminación biológica de nitrógeno y fósforo en el tratamiento de aguas residuales rurales" "La falta de estos mecanismos clave impide que los estudios teóricos guíen eficazmente la optimización de procesos y las aplicaciones de ingeniería para el tratamiento de aguas residuales rurales" **3.1.1 Eficiencia de eliminación de contaminantes (P4):** "Este rendimiento superior podría atribuirse a los efectos sinérgicos entre sus microorganismos endógenos y las fuentes de carbono biodegradables" **3.2.1 Sucesión dinámica de la comunidad microbiana (P5 y 6):** "El enriquecimiento de estas especies funcionales proporcionó una base microbiológica para la mejora de la eficiencia en la eliminación de contaminantes"

	"Gracilibacteria y Parcubacteria potencialmente redujeron el riesgo de colmatación de la membrana al competir por las fuentes de carbono... suprimiendo el crecimiento excesivo de bacterias filamentosas" "En comparación con el grupo de control, los valores de presión transmembrana (TMP) de los grupos con FRFW al final del experimento disminuyeron en 5,2 kPa y 3,1 kPa, respectivamente" **3.4 Análisis de viabilidad de la aplicación FRFW (P9):** "Para garantizar una operación estable a largo plazo... se deben implementar estrategias integrales: optimización dinámica de la dosis de FRFW basada en la carga de afluente en tiempo real, la temperatura y la calidad del agua" "Mantener la relación C/N en la zona anóxica entre 8 y 10; control preciso del oxígeno disuelto y la implementación de un control predictivo de modelos para la regulación proactiva" **Conclusiones (P9):** "El tratamiento de esterilización redujo la abundancia de comunidades microbianas funcionales... y disminuyó la actividad metabólica de nitrificación y desnitrificación del lodo" "NS-FRFW activó específicamente genes... a través del efecto sinérgico de las fuentes de carbono y los microorganismos endógenos, demostrando una mejora significativamente superior en comparación con S-FRFW [esterilizado]" **Redacciones propias:** La interconexión operativa permitiría recolectar los residuos alimentarios de la zona para alimentar la planta de tratamiento, logrando una remoción de nitrógeno 7 veces más eficiente y reduciendo los costos de limpieza de membranas, todo bajo un modelo de economía circular rural.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** utilizar modelo de simbiosis industrial, economía circular urbana-rural utilizando residuos de la fermentación de desechos alimentarios (FRFW) como fuente externa de carbono para mejorar drásticamente la remoción de nitrógeno y fósforo en sistemas de tratamiento rurales (AAO-MBR), lo cual es una solución directa al problema de la baja relación C/N.

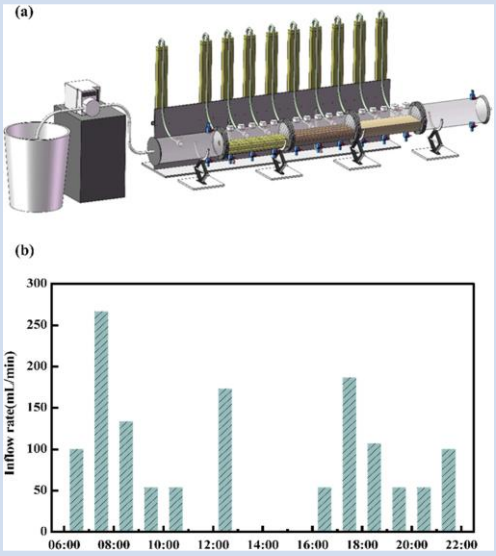
	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kumwimba, M. N., Huang, J., Wang, T., Dzakpasu, M., Ajibade, F. O., Ifon, B. E., Ohore, O. E., & Muyembe, D. K. (2026). Unveiling the overlooked role of micronanobubble aeration in enhancing partial nitrification and pollutant removal in rural activated sludge systems. Journal of Water Process Engineering, 86, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2026.109985
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "La aireación con micro y nanoburbujas (Mi/NaB-A) mejoró el coeficiente de transferencia de masa (KLa), la tasa de transferencia de oxígeno (OTR) y la eficiencia de transferencia de oxígeno (OTE) en 8, 9 y 6 veces, respectivamente, en relación con la aireación convencional" "El sistema logró una estabilidad operativa excelente, eliminando consistentemente el 98 % de la DQO y el 98 % del NH_4^+-N durante 120 días" "Una innovación clave es la capacidad de aprovechar la actividad interfacial de las Mi/NaBs para iniciar y mantener rápidamente la nitrificación parcial (PN)" "Las especies reactivas de oxígeno generadas durante el colapso de las burbujas inhibieron selectivamente a las bacterias oxidantes de nitrito (NOB) mientras enriquecían a las bacterias oxidantes de amoníaco (AOB), estableciendo una vía de PN rápida, estable y eficiente en energía" "El análisis de energía confirmó una mejora de 6,9 veces en la eficiencia energética (22.080 mg NH_4^+-N $kW^{-1}\cdot h^{-1}$) en comparación con la aireación convencional" **Introducción (P2):** "Los diseños residenciales dispersos, la calidad fluctuante del influente, las tasas de flujo altamente variables y la eficiencia de tratamiento generalmente baja dificultan severamente el desempeño de los sistemas de tratamiento convencionales" "Las aguas residuales rurales suelen exhibir una baja relación carbono-nitrógeno (C/N < 5), sustancialmente menor que la de las aguas residuales urbanas, lo que complica los procesos de tratamiento biológico"

	"El consumo excesivo de energía —asociado principalmente a la aireación— sigue siendo una barrera importante para la implementación generalizada y la operación a largo plazo de los sistemas rurales" **3.1 Tamaño de Mi/NaB y rendimiento de transferencia de oxígeno (P4):** "Las Mi/NaBs exhiben comportamientos distintos: ascienden lentamente, se encogen y se disuelven progresivamente... lo que prolonga su tiempo de residencia en la fase líquida y promueve una transferencia de masa de oxígeno superior" **3.4 Dinámica de la ecología microbiana bajo Mi/NaB-A en comparación con CBA (P9):** "Esta transición fue impulsada por una pronunciada inhibición de las NOB y una brecha de actividad sostenida que favoreció a las AOB" **4.2 Análisis económico de la tecnología Mi/NaB-A (P12):** "Aunque el costo inicial del equipo de Mi/NaB es mayor, los gastos de operación y mantenimiento (O&M) a largo plazo son sustancialmente menores debido a los requisitos de energía reducidos" "La Mi/NaB-A fue menos propensa a la colmatación y requirió un mantenimiento mínimo, típicamente menos de 10 minutos por procedimiento de limpieza" "El sistema evaluado era compacto, contenerizado y requería una participación mínima del operador, lo que lo hace muy adecuado para regiones rurales con capacidad técnica limitada" "La Mi/NaB-AS representa una opción viable y económicamente atractiva para el tratamiento descentralizado y el reuso de agua in situ, particularmente en contextos de baja relación C/N" **4.3 Implicaciones de ingeniería y futuras líneas de investigación (P13):** "El sistema reduce el consumo de energía de aireación en más del 70 %, ofreciendo una solución viable para el tratamiento descentralizado de aguas residuales rurales" "Operacionalmente, el sistema Mi/NaB-AS requiere un control mínimo —principalmente mantener las concentraciones de amonio y realizar el purgado periódico de lodos— sin la necesidad de sensores avanzados o control automatizado" "Integrar Mi/NaB-A en los procesos de lodos activados convencionales establece una configuración novedosa

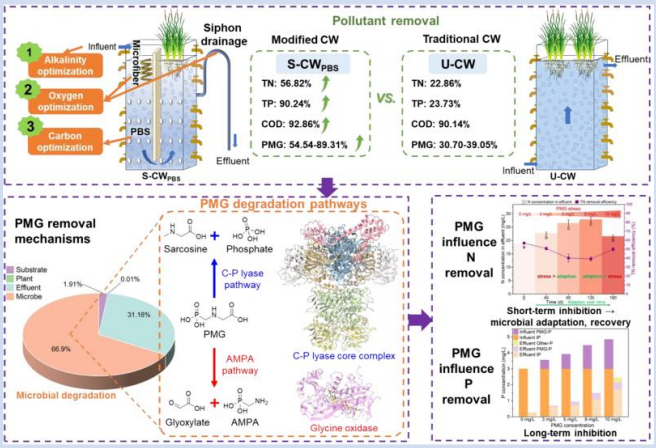
	adecuada para modernizar (upgrade) los sistemas rurales existentes" **Redacciones propias:** La aireación por micro y nanoburbujas permitiría tratar el nitrógeno de forma mucho más eficiente (vía nitrificación parcial), reduciendo la cuenta eléctrica en un 70 % y utilizando equipos compactos que no requieren la operación experta que exigen las plantas de tratamiento convencionales de lodos activados.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** propone una tecnología de aireación de vanguardia que resuelve los dos problemas principales de los sistemas rurales: el alto costo energético y la baja eficiencia en la eliminación de nitrógeno.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Diagrama esquemático y estrategias operativas del sistema de aireación con micro y nanoburbujas en comparación con el sistema de aireación con burbujas convencional (P5): 

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Men, Y., Yang, X., Li, W., Ma, S., Liu, J., & Zheng, T. (2026). Pollutant elimination performance and clogging mechanism of single-household rural greywater collection and treatment integrated device. Process Safety and Environmental Protection, 210, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.psep.2026.108638
Palabras claves:	Tratamiento descentralizado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "Los resultados indicaron que el dispositivo tuvo efectos de eliminación en la demanda química de oxígeno (43,91 ± 15,71%) y los sólidos suspendidos (32,56 ± 19,85%)" "El material de obstrucción era principalmente inorgánico y relativamente grande en el relleno aguas arriba [módulo de ladrillo rojo]" **Introducción (P2):** "Las aguas grises rurales se refieren al drenaje doméstico rural, excepto las aguas residuales de los inodoros... La descarga de aguas grises es grande, representando entre el 50% y el 80% del consumo total de agua" "Debido al alto costo de construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales... algunas áreas de bajos ingresos no pueden permitirse el tratamiento convencional" **2.1 Estructura de las instalaciones y condiciones operativas (P2):** "El módulo de relleno... se llenó con paja de maíz, ladrillo rojo y arena... La paja de maíz es un tipo de residuo agrícola cuya estructura fibrosa es adecuada para filtrar sólidos suspendidos" "El ladrillo rojo se deriva de residuos de construcción, tiene una morfología rugosa y porosa y cierta resistencia estructural... tiene el potencial de ser utilizado como tratamiento de agua" **3.1 Rendimiento de eliminación de contaminantes (P3):**

	"El dispositivo integrado logró una calidad de efluente efectiva que cumple con los estándares de riego de secano, demostrando su potencial para la recuperación de recursos de aguas grises" **3.5 Análisis de los mecanismos de obstrucción (P7 y 8):** "El volteo restauró eficazmente el coeficiente de permeabilidad del relleno... restaurándolo al 26,10–90,59% del estado inicial, proporcionando así un alivio a corto plazo al problema de la obstrucción" "Se propuso que implementar una intervención de volteo a intervalos de aproximadamente 40 días podría servir como una estrategia de mantenimiento proactiva" "El módulo de ladrillo rojo, que acumuló la mayor proporción de material de obstrucción inorgánico (78,83%), es un candidato principal para el reemplazo periódico" "Se estima que reemplazar el relleno de ladrillo rojo cada tres meses podría abordar eficazmente el problema fundamental de la acumulación de sólidos" **Conclusiones (P8):** "La colmatación fue causada principalmente por sustancias inorgánicas (68,12%) y materia orgánica insoluble; además, las bacterias productoras de EPS como Acidovorax influyeron indirectamente al facilitar la formación de biopelícula" **Redacciones propias:** la interconexión operativa es factible si se contempla un sistema de tratamiento primario/secundario descentralizado para aguas grises que utilice ladrillos reciclados y residuos agrícolas. Sin embargo, la evaluación de factibilidad debe incluir obligatoriamente un plan de mantenimiento operativo que considere el volteo de los filtros cada 40 días y el recambio de materiales cada 3 meses para evitar el colapso del sistema por obstrucción inorgánica y biológica.

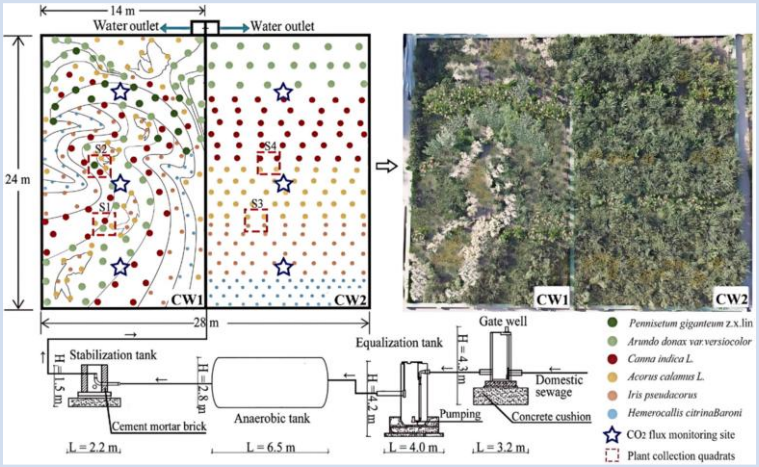
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Complementar:** enfoque de tratamiento segregado en aguas grises (50-80% del consumo total) mediante dispositivos de bajo costo que utilizan residuos locales, abordando además el problema crítico de la colmatación (obstrucción).
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Diagrama esquemático (a) y flujo operativo del sistema experimental(b) (P2): 

	TIPO DE LECTURA: ESPECÍFICA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Zhao, Y., Li, Y., Zheng, Y., Yan, P., Lai, Y., Wang, X., Zhuang, L.-L., & Zhang, J. (2026). Enhanced co-removal of nutrients and glyphosate from rural sewage in siphon-driven constructed wetlands: Optimization and mechanisms. Water Research, 298, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.watres.2026.125812
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento Calidad del Agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "Los humedales artificiales (CW) a menudo sufren de una disponibilidad limitada de carbono/oxígeno, lo que restringe la eliminación de contaminantes... los S-CW [accionados por sifón] se optimizaron para la eliminación conjunta de glifosato y nutrientes" "Los S-CW exhibieron una fuerte resiliencia al PMG, tolerando hasta 8 mg/L, y lograron eficiencias de eliminación de 50,91–92,14 % para PMG, 50,93–56,82 % para nitrógeno y 96,19–97,18 % para fósforo" "El PMG inhibió transitoriamente la eliminación de nitrógeno al suprimir la desnitrificación... Sin embargo, la adaptación microbiana durante 135 días restauró la eliminación de N, incluso bajo un alto estrés por PMG (10 mg/L)" **Introducción (P2):** "El glifosato (PMG) es el herbicida más utilizado en todo el mundo... debido a su persistencia y movilidad, se detecta con frecuencia en la escorrentía agrícola y en la contaminación de fuentes no puntuales" "La exposición al PMG y a su principal metabolito (AMPA) se ha relacionado con toxicidad aguda y crónica en humanos, animales y plantas" "Los humedales tienen el potencial de eliminar PMG, N y P... debido a su bajo costo, mantenimiento mínimo y bajos requerimientos de energía" **3.1. Rendimiento mejorado de eliminación de nutrientes de los humedales artificiales S-CW (P4):** "Las concentraciones de nitratos disminuyeron constantemente... en el sistema con PBS, lo que indica una desnitrificación sostenida respaldada por la liberación continua de carbono"

	"En contraste, el sistema con coronta de maíz mostró poca eliminación de nitratos, demostrando el rápido agotamiento del carbono derivado de los residuos agrícolas" "El tamaño similar del PBS usado después de 13 meses de operación demostró su larga vida útil" **Conclusiones (P14):** "Los sistemas demostraron una fuerte resiliencia, manteniendo una calidad de efluente estable y un crecimiento saludable de las plantas" "El régimen de sifón impulsado por gravedad y la adición de sustrato biodegradable en los humedales pueden facilitar la implementación práctica" **Redacciones propias:** Diseñar con humedales de flujo intermitente (sifón): Esta tecnología permite que el sistema actúe como una barrera de bioseguridad ambiental, eliminando no solo la materia orgánica doméstica, sino también los herbicidas (glifosato) que el alcantarillado rural suele recolectar de las zonas de cultivo, entregando un agua de riego de alta calidad y libre de fitotoxicidad para la propia comunidad.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir**	**Complementar:** se aborda la eliminación simultánea de nutrientes (N y P) y del herbicida glifosato (PMG), un contaminante típico en zonas agrícolas como la Provincia de Melipilla. El estudio propone el uso de humedales artificiales accionados por sifón (S-CW) con sustratos biodegradables, ofreciendo una solución técnica de alta resiliencia.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Figura de resumen (P1): 

	TIPO DE LECTURA: COMPLEMENTARIA
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Sun, H., Liu, Z., He, C., Zhen, Z., & Hao, F. (2026). Rural domestic sewage treatment and CO_2 flux from the perspective of landscape design. Ecological Engineering, 225, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2026.107906
Palabras claves:	Tecnología de Tratamiento Obras Multipropósito Calidad del Agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "Los resultados indicaron que las tasas de eliminación para la demanda química de oxígeno (COD) (72,41–92,91%), el nitrógeno amoniacal (NH4-N) (94,80–99,33%) y el fósforo total (TP) (27,56–67,62%) en el humedal con diseño paisajístico fueron comparables a los del diseño regular" "La tasa de eliminación de nitrógeno total (TN) (51,64–85,59%) fue mayor en el humedal con diseño paisajístico que en el de diseño regular" "Las variaciones en las especies de plantas llevaron a diferentes tasas de fijación de carbono en las raíces... lo que a su vez afectó las emisiones de CO2 desde la capa de sustrato" "La disminución en la temperatura promedio diaria y el marchitamiento de las plantas fueron los factores principales que contribuyeron a los cambios en la tasa de eliminación de contaminantes" **Introducción (P2):** "Existe una necesidad urgente de desarrollar tecnologías de tratamiento de aguas residuales con bajo consumo de energía, fácil gestión y alta eficiencia basadas en las condiciones locales" "Debido al diseño no estandarizado, la configuración de una sola planta acuática y el pobre efecto paisajístico, la aplicación de procesos de tratamiento combinados en el desarrollo de un 'Campo Hermoso y Armonioso' es limitada" "Debido a la alta carga de carbono en las aguas residuales, los humedales artificiales pueden emitir una gran cantidad de CO2 en el proceso de eliminación de nutrientes y materia orgánica" "Este estudio proporciona una referencia para la promoción del tratamiento de aguas residuales domésticas en áreas rurales... construyendo pueblos hermosos, ecológicamente sostenibles y habitables"

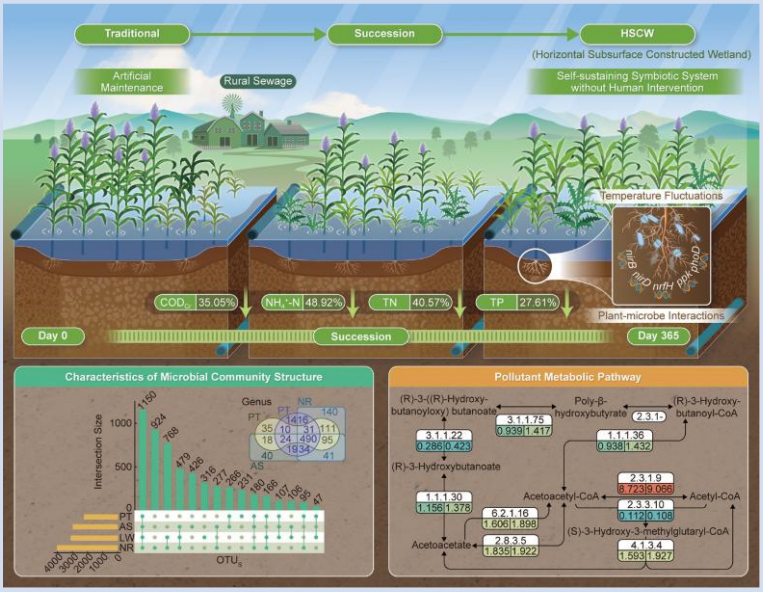
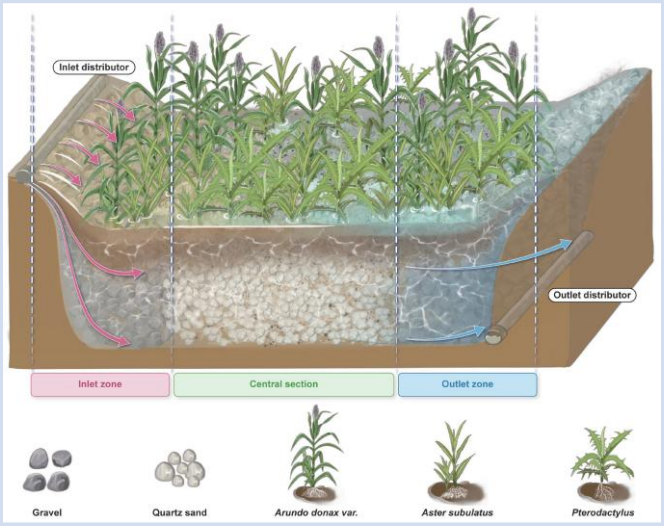
	2.1. Área de investigación (P2): "Durante el invierno, es necesario cosechar y cubrir las plantas en el humedal para garantizar el funcionamiento normal del equipo" **Conclusiones (P11):** "El aumento de la biomasa de las raíces de las plantas promovió... la respiración microbiana (145,68–1637,11 mg/m 2/h), lo que mejoró la eficiencia de eliminación, pero aumentó el flujo de CO2 de la capa de sustrato" "En el futuro, se debe poner énfasis en considerar el impacto del diseño del paisaje en el flujo de todos los gases de efecto invernadero (incluyendo CO2, CH4 y N2O), la eliminación de contaminantes y los problemas de colmatación" "Seleccionar plantas eficientes en la eliminación de nitrógeno (como Cyperus papyrus y Acorus calamus) y optimizar su densidad de siembra es fundamental" "El proceso propuesto no solo mantuvo altas tasas de eliminación para TN, TP y COD, sino que también mejoró el entorno de vida rural" **Redacciones propias:** Este documento refuerza que la interconexión operativa en San Pedro es factible bajo un modelo de infraestructura verde. Sugiere que al diseñar la planta común para los cinco SSR, se utilicen configuraciones de plantas que no solo limpien el agua para reúso agrícola con bajo costo energético, sino que transformen el sitio de tratamiento en un activo paisajístico para la comunidad, monitoreando proactivamente las emisiones de CO2 para asegurar un balance de carbono positivo en el territorio de Melipilla.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir**	**Complementar:** la integración de la estética paisajística con el rendimiento técnico y la huella de carbono de los sistemas de saneamiento.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Tanque anaeróbico y humedales artificiales (CW1 y CW2). CW1: diseño paisajístico con plantas. CW2: diseño de plantación en hileras regulares (P2): 

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Li, P., Cao, P., Ma, S., Wang, W., Wang, Z., Wu, W., Zheng, T., Liu, J., Li, L., & Liu, J. (2026). Integrating native and functional plants in constructed wetlands: A self-sustaining approach to rural sewage treatment. Water & Ecology, 2(1), 80–101. https://doi.org/10.1016/j.wateco.2026.100037
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Alcantarillado

	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P81):** "La gestión de las aguas residuales rurales se enfrenta a desafíos significativos debido a los asentamientos dispersos y a las características de infraestructura inadecuada de las zonas rurales" "La integración de plantas nativas con plantas funcionales... permite establecer un sistema simbiótico autosustentable que no requiere intervención humana" "El policultivo de plantas nativas mejoró la diversidad y estabilidad microbiana y redujo la dependencia del mantenimiento artificial" "A lo largo de 365 días, el humedal... cumplió con estándares de descarga estrictos, logrando eficiencias medias de eliminación de 35,05 % para COD, 48,92 % para nitrógeno amoniacal, 40,57 % para TN y 27,61 % para TP" **Introducción (P82):** "En China [contexto del estudio], solo alrededor de un tercio de las aguas residuales domésticas rurales se trata eficazmente... el resto se vierte simplemente en las vías fluviales locales, donde crea graves riesgos ambientales y de salud pública" "Las plantas nativas están generalmente mejor adaptadas a las condiciones locales, presentan tasas de supervivencia más altas y requieren menos mantenimiento, por lo que su uso puede reducir significativamente los costos operativos a largo plazo" "La necesidad de replantación y cosecha periódica de plantas funcionales no autóctonas aumenta los costos de mantenimiento y socava la estabilidad ecológica de los humedales construidos" **3.2.2 Diversidad de la comunidad microbiana (P89):** "La sucesión natural y la regulación adaptativa del sistema no solo lograron un estado de funcionamiento estable y autosustentable estacional, sino que también permitieron que el sistema sirviera como un esquema de tratamiento de bajo mantenimiento que eliminó la necesidad de intervenciones frecuentes" **3.3 Interacciones en las comunidades microbianas (P93):** "En comparación con los sistemas basados en una sola especie... el sistema multiplantas albergaba una red microbiana diversa y funcionalmente redundante, que incluía géneros tolerantes al frío y fijadores de nitrógeno"

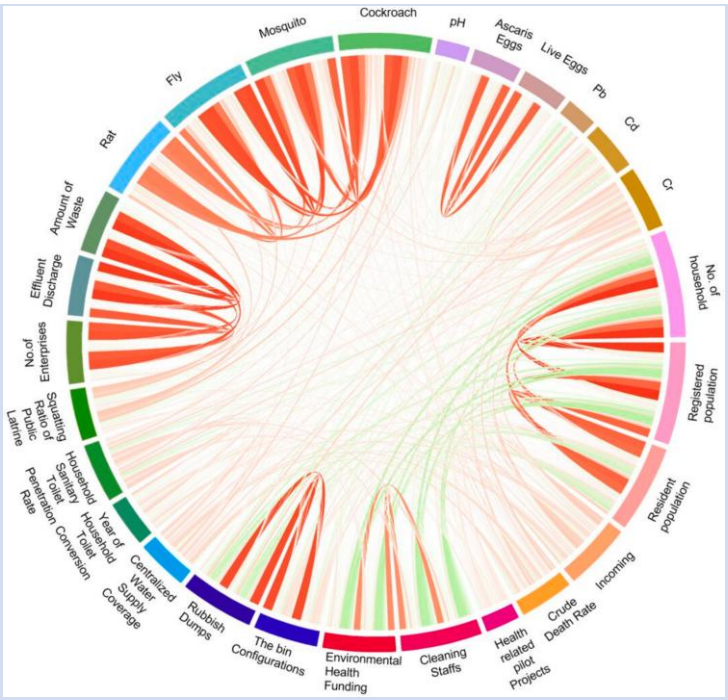
	"La configuración multiplantas también promovió la heterogeneidad espacial en los exudados de las raíces y los microambientes redox, enriqueciendo los genes funcionales involucrados en el ciclo del nitrógeno y la solubilización del fósforo" **3.4.2 Ruta metabólica del fósforo (P95):** "Este sistema de humedales... es muy adecuado para las áreas rurales con recursos limitados y geográficamente dispersas, donde puede ofrecer un tratamiento de aguas residuales rentable y sostenible sin depender de una gestión manual intensiva" **Conclusiones (P97):** "Este proceso de sucesión natural condujo al desarrollo espontáneo de una densidad de plantas y patrones de distribución estables y eficaces sin intervención humana" "El sistema exhibió una notable adaptabilidad estacional a través de cambios dinámicos en las vías metabólicas microbianas... impulsados por las fluctuaciones de temperatura" "Las implementaciones futuras deben priorizar: 1) la integración de las condiciones hidroclimáticas locales, 2) la selección de especies nativas, y 3) permitir el tiempo suficiente para la maduración del ecosistema para fomentar la autorregulación" **Redacciones propias:** La investigación reconoce que las áreas rurales requieren soluciones adaptadas a la dispersión geográfica y la falta de infraestructura. en lugar de un diseño que exija podas y replantaciones constantes por parte de los operadores, se debe diseñar una infraestructura verde basada en el policultivo de especies nativas de la zona central de Chile. Esto permitiría que la planta común sea un sistema de "bajo mantenimiento" que aprovecha la sucesión ecológica natural para mantener su eficiencia de limpieza durante todo el año, incluso bajo condiciones de frío invernal.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** pasar de humedales que dependen de una sola especie exótica a sistemas de policultivo con plantas nativas que se autorregulan - ofrece una "seguridad microbiana" superior-, lo que reduce drásticamente los costos de mantenimiento y aumenta la resiliencia microbiana ante el clima rural. **Complementar:** el sistema propuesto garantiza el cumplimiento de normas de descarga, manteniendo su eficacia incluso durante fluctuaciones estacionales de temperatura.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Imagen Resumen (P80):  Diagrama esquemático del sistema de humedales (P84): 

	TIPO DE LECTURA: FUNDAMENTAL
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Li, Y., Zhao, Y., Xiang, X., Zhang, Q., Yuan, F., Wang, Z., Yao, N., & Zhou, C. (2024). Rural integrated sanitation assessment at community level in Chongqing, China—A cluster analysis. Ecological Indicators, 165, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112226
Palabras claves:	Gestión Integral y Gobernanza del Recurso Hídrico Alcantarillado

	Gestión y Planificación de Proyectos Sanitarios Aspectos Sociales Desarrollo Rural
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	**Citas Textuales:** **Resumen (P1):** "Se debe realizar una estrategia de control jerárquico en las comunidades basada en las diferentes características y deficiencias de los grupos para mejorar el saneamiento ambiental" **Introducción (P2):** "Comprender y evaluar los factores multinivel y multidimensionales podría facilitar las intervenciones y mejoras en el saneamiento rural" "La comunidad desempeña un papel importante en la mejora del saneamiento como núcleo de la gestión ecológica rural integral" **4.3 Características de los subgrupos después de la agrupación (P7):** "La cobertura de plantas de tratamiento de aguas residuales centralizadas y conexiones de alcantarillado en zonas rurales fue menor debido a la topografía y razones económicas" "Las principales desventajas de la eliminación de aguas residuales descentralizada son la tecnología única, los resultados ineficientes del tratamiento y los criterios de descarga mal supervisados" "Aprovechar las ventajas geográficas para lograr áreas urbanas y rurales compartidas e interconectadas será una estrategia para mejorar el saneamiento del hábitat rural de las comunidades" "Para las comunidades rurales remotas dominadas por la disposición descentralizada, es importante explorar modos apropiados para la gestión local de aguas residuales, mejorar la tecnología y mejorar la supervisión" "Las decisiones de saneamiento rural a menudo involucran un juego de intereses tripartito entre el gobierno, los colectivos de las aldeas y los hogares de los agricultores" "La falta de capital social y la participación de los agricultores limitarán el tratamiento de las aguas residuales" “Para garantizar la sostenibilidad económica, social y ambiental, la introducción de un saneamiento sostenible a nivel comunitario requiere una prestación equilibrada entre los hogares, las comunidades y el gobierno a lo largo del tiempo"

	"En las comunidades con mejor saneamiento, se debe actualizar la tecnología de prevención y control de la contaminación y se debe fortalecer la supervisión" "La ubicación geográfica ventajosa ha favorecido el desarrollo socioeconómico, así como ha llevado a la sensibilidad y vulnerabilidad del régimen ambiental regional" "En la búsqueda del desarrollo económico local, las comunidades pueden llevar a cabo actividades... sin una planificación adecuada, descuidando la capacidad del medio ambiente y la ecología" **Conclusiones (P8):** "Los resultados propusieron más prácticas de gobernanza a nivel de comunidad en lugar de a nivel individual o de hogar" "Incluso las comunidades con mejores recursos médicos públicos y condiciones... siguen teniendo diferentes problemas sanitarios" **Redacciones propias:** resolver el "tripartite game" (Gobierno, Comités SSR y Vecinos), sugiriendo que se utilice el análisis de clústeres para identificar qué SSR de los cinco están listos para la interconexión y cuáles requieren primero un "fortalecimiento del capital social".
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Avalar y complementar:** Esta investigación es pionera al realizar un análisis multidimensional a nivel de comunidad (no solo de hogares), clasificando los asentamientos rurales mediante análisis de conglomerados (cluster analysis) según su estado socioeconómico, infraestructura de agua y saneamiento, y contaminación del suelo. Sus hallazgos sobre la gobernanza compartida y la interconexión urbano-rural son espejos directos para sujeto de estudio.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Visualización de la correlación entre la caracterización del saneamiento rural: diagrama de cuerdas. El rojo indica una correlación positiva y el verde una correlación negativa. El grado de correlación se resalta con color: cuanto más fuerte es la correlación, más oscuro es el color. (Para la interpretación de las referencias de color en esta leyenda, consulte la versión web de este artículo) (P5):


Cockroach
pH
Ascaris Eggs
Live Eggs
Pb
Cd
Cr
No. of household
Registered population
Resident population
Incoming
Crude Death Rate
Health related pilot Projects
Cleaning Staffs
Environmental Health Funding
The bin Configurations
Rubbish Dumps
Centralized Water Supply Coverage
Year of Household Toilet
Household Sanitary Toilet Penetration Rate
Conversion
Squatting Ratio of Public Latrine
No.of Enterprises
Effluent Discharge
Amount of Waste
Rat
Fly
Mosquito

12.4 Palabras Claves o Conceptos

PALABRA CLAVE: GESTIÓN INTEGRAL Y GOBERNANZA DEL RECURSO HÍDRICO				
N°	**Autor /Lectura**	**ideas para la Gestión Integral**	**Ideas para la Gobernanza**	**Otras Ideas**
1	(Stańczuk-Gałwiaczek et al., 2018)	"…es de suma importancia equilibrar todas las ambiciones y tareas e involucrar a los actores clave en la búsqueda de medidas y diseños resilientes al agua para el área rural"	"Sería recomendable crear mecanismos legales y organizativos que sincronicen las obras…y las medidas de gestión del agua en un único proceso de inversión, de modo que ambas actividades puedan llevarse a cabo desde una sola fuente de financiamiento"	"El uso del suelo, la consolidación parcelaria, paisajismo y la organización del territorio se coordinan estratégicamente con la proyección y dimensionamiento de los sistemas hídricos. Esta integración permite evitar la dispersión de viviendas y redes extensas asociadas a bajas densidades poblacionales, lo que reduce los costos de inversión y operación"
2	(Bravo et al., 2025)	"Se necesita una coordinación institucional más fuerte, ya que la fragmentación entre el MOP, la SUBDERE, los municipios y las empresas de servicios públicos reduce la eficiencia, lo que hace esencial un mecanismo interministerial para alinear la vivienda, la planificación territorial y las estrategias de agua, saneamiento e higiene (WASH)"	"Abordar estas inequidades requiere innovación institucional, planificación participativa y la integración de la equidad social en los marcos de gobernanza del agua"	"El fortalecimiento de las capacidades de gobernanza, gestión y financieras de los comités de APR y las cooperativas rurales a través de la capacitación y la digitalización garantizará la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de agua rurales"

N°	Autor /Lectura	ideas para la Gestión Integral	Ideas para la Gobernanza	Otras Ideas
9	(Daniel et al., 2023)	"fortalecer los mecanismos de gestión, profesionalización y planificación económica, avanzando desde un modelo centrado en la infraestructura hacia uno orientado a la sostenibilidad integral del servicio"	"debería existir un plan alternativo de inversión y construcción para viviendas dispersas y zonas remotas sin desarrollar a fin de reducir los costos de inversión"	
11	(Müller et al., 2020)	"Aborda el saneamiento no solo desde una perspectiva técnica, sino también social, económica y ambiental"		
18	(Oishi et al., 2026)	"Una estrategia prometedora es incorporar sistemas no conectados a la red en la infraestructura de alcantarillado existente, formando una configuración híbrida adaptada a la dinámica espacial de la población"		
20	(Yoonus & Al-Ghamdi, 2020)	"el éxito de nuevas tecnologías depende fuertemente de la gestión local, operación y mantenimiento, lo que implica desafíos institucionales para su implementación masiva"	"Los responsables de las políticas pueden generar un impacto al iniciar técnicas de conservación de agua para un uso sostenible"	
23	(Flores Audibert, 2024)	"La modelación hidrológica sirve como una herramienta para evaluar íntegramente la interacción entre saneamiento rural, disponibilidad de agua y el medio natural, aportando un soporte técnico para proponer criterios de planificación y gestión del saneamiento"		

N°	Autor /Lectura	ideas para la Gestión Integral	Ideas para la Gobernanza	Otras Ideas
24	(Martín Vide, 2024)	"la gestión integrada del agua, el tratamiento y la reutilización de aguas residuales, y la planificación territorial surgen como elementos clave para avanzar hacia sistemas sostenibles"		
27	(Chibbaro Sch., 2024)	“Tener Visión estratégica y Capacidad táctica para prever y adecuarse a nuevos paradigmas"	"Los pilares para una política hídrica son; seguridad oferta, sostenibilidad demanda, organizaiones y gobernanza"	“fortalecimiento de APRs mediante capacitación integral de sus dirigentes y personal técnico, revisión de aspectos legales y transferencia de herramients de gestión y técnicas básicas”
28	(Rubio Romero, 2024)	"incorporar análisis estratégicos integrales en la planificación del saneamiento rural"	se debe reconocer los cuatro marcos previos a la definición del diseño de una estrategia para la gestión del agua. Siendo: Recomendaciones por OCDE, institucional propio del estado, posición real de la organización y situación real del agua"	
29	(Rubio Romero, 2024)		"un modelo de gobernanza que permita coordinar comités, instituciones públicas y actores territoriales, facilitando la toma de decisiones conjunta, la gestión compartida de infraestructura y la implementación de soluciones sanitarias sostenibles a escala territorial"	"Crear confianza entre la población, y garantizar la inclusión de los actores a través de legitimidad democrática y equidad para la sociedad"

N°	Autor /Lectura	ideas para la Gestión Integral	Ideas para la Gobernanza	Otras Ideas
30	(Madrid Aris, 2025)	"La inclusión de un mayor número de actores y expertos en la toma de decisiones sobre el agua puede realizarse mediante procesos de participación pública y aporta ventajas de diversa índole para la gestión del recurso "	"…la buena administración del recurso depende de habilidad de los gobiernos para establecer el adecuado marco regulatorio y el adecuado nivel de monitorio, fiscalización y de multas"	"Políticas públicas destinadas al manejo y uso de recursos hídricos necesitan reconocer como el sector hídrico está enlazado con la economía"
31	(Madrid Aris, 2025)	"Los APR presentan problemas de gestión y capacidades técnicas, aunque experiencias de optimización tecnológica evidencian mejoras significativas en eficiencia y continuidad del servicio"	"Los ministerios sectoriales trabajan de manera aislada, con mecanismos limitados para asegurar la alineación y la integración entre las áreas políticas y las inversiones"	"La minería, la agricultura y las actividades manufactureras son la columna vertebral del desarrollo económico y el bienestar de Chile, pero son intensivas en cuanto a consumo de agua"
32	(Millán Romero, 2025)	"la incorporación de instrumentos como los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC) y las Mesas Estratégicas de Recursos Hídricos (MERH), los cuales permitirían avanzar hacia una planificación integrada"	"fortalecer el rol del Estado en la asignación y control de los recursos hídricos, mediante una estructura organizacional que parta desde el Ministerio de Obras Públicas y de Recursos Hídricos, bajo esta dirección se articulen todas las instituciones vinculadas a la gestión del agua"	

N°	Autor /Lectura	ideas para la Gestión Integral	Ideas para la Gobernanza	Otras Ideas
35	(Viera Villegas, 2025)	"El Plan Integral de Gestión de Redes y Conducciones de agua potable considera implementar de manera eficiente una serie de componentes para cada una de las cinco capas del modelo"	"Enfoque de selección de inversiones a través de variables estratégicas de riesgo y económicas"	
41	(Chae et al., 2026)	"Adoptar una perspectiva de 'Una sola agua' (One-Water) que integre el reúso de aguas residuales en la gestión del agua a escala de cuenca puede ayudar a maximizar los beneficios ambientales, económicos y sociales"	"Se necesita un cambio de política para pasar de una toma de decisiones basada en el costo monetizado de fuentes de agua específicas hacia un análisis sistemático integral de cómo agregar agua recuperada mejora la confiabilidad y sostenibilidad"	"evaluar bajo un modelo de inversión estratégica y justicia territorial, donde los beneficios de seguridad hídrica a largo plazo para la provincia superen los altos costos operativos iniciales del tratamiento avanzado"
44	(Chan et al., 2020)	"El desarrollo de modelos participativos puede demostrar las conexiones localmente matizadas entre el comportamiento y los sistemas de agua y saneamiento, y ayudar a priorizar soluciones adecuadas"	"Un modelo que integre las amenazas y los arreglos de los recursos hídricos apoya la toma de decisiones"	

N°	Autor /Lectura	ideas para la Gestión Integral	Ideas para la Gobernanza	Otras Ideas
59	(Li et al., 2026)	"Las implementaciones futuras deben priorizar: 1) la integración de las condiciones hidroclimáticas locales, 2) la selección de especies nativas, y 3) permitir el tiempo suficiente para la maduración del ecosistema para fomentar la autorregulación"		
60	(Li et al., 2024)	"La comunidad desempeña un papel importante en la mejora del saneamiento como núcleo de la gestión ecológica rural integral"	"Las decisiones de saneamiento rural a menudo involucran un juego de intereses tripartito entre el gobierno, los colectivos de las aldeas y los hogares de los agricultores"	"En la búsqueda del desarrollo económico local, las comunidades pueden llevar a cabo actividades... sin una planificación adecuada, descuidando la capacidad del medio ambiente y la ecología"
PALABRA CLAVE: ALCANTARILLADO				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas para la tecnología**	**Ideas para la gestión**	**Otras Ideas**
2	(Bravo et al., 2025)	"Soluciones pueden integrarse en esquemas descentralizados o híbridos, mejorando la sostenibilidad ambiental al reducir emisiones y permitir la recuperación de servicios ecosistémicos"	"Su desempeño depende de condiciones locales y del diseño adecuado, lo que implica la necesidad de criterios técnicos claros para su implementación"	
10	(Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018)	"Los sistemas rurales descentralizados son aplicados cuando se dan entre otras una baja densidad habitacional, la distancia con respecto a otros alcantarillados existentes es significativa o no cuentan con redes de alcantarillado"		"Si el sistema cuenta con red de alcantarillado, se pueden efectuar mediciones de caudal y caracterización de los principales parámetros de interés, el principal de los cuales lo constituye el aporte per cápita"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la gestión	Otras Ideas
16	(Cheng et al., 2024)	"Los sistemas de saneamiento no convencionales constituyen una alternativa viable en contextos donde no existe infraestructura de alcantarillado"	"El análisis PEST (políticos, económicos, sociales y tecnológicos) es una herramienta poderosa y ampliamente utilizada para comprender los riesgos estratégicos"	"La falta de beneficios directos de la operación y el mantenimiento del sistema de saneamiento a menudo conduce a una falta de interés por parte de los líderes... en la modernización del sistema"
18	(Oishi et al., 2026)	"Los resultados demuestran el rendimiento superior de los sistemas híbridos frente a los enfoques de una sola tecnología y enfatizan su potencial como soluciones de saneamiento más inteligentes y sostenibles"	"La transición a una configuración de sistema híbrido de alcantarillado y no alcantarillado optimizado reduce los gastos, los impactos ambientales y se adaptada a la dinámica espacial de la población"	"Las soluciones híbridas pueden implementarse y desmantelarse de manera más flexible, reduciendo el riesgo de que la infraestructura quede subutilizada"
19	(Parra Piérart & Chiang Rojas, 2013)	"El modelo de biopurificación reduce la necesidad de grandes inversiones en redes y plantas, permitiendo una implementación modular y escalable"	"el desempeño depende fuertemente de variables locales (clima, operación, mantenimiento), lo que implica que su masificación requeriría estandarización, capacitación y apoyo institucional"	

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la gestión	Otras Ideas
48	(Mzyece et al., 2026)	"Evaluación probabilística de las fosas sépticas individuales y las redes de conexión...los modelos de Redes Bayesianas identifican las zonas de "alto riesgo" (basadas en suelo, pendiente y distancia al agua) y priorizar en ellas las obras de interconexión para mitigar la carga biológica acumulada"		
50	(Li et al., 2026)		"La integración de modelos biológicos con simulaciones de aprendizaje automático... permite a los operadores cambiar de estrategia estacionalmente, abordando el desafío de equilibrar el cumplimiento normativo con la recuperación de recursos"	"Particularmente en contextos rurales descentralizados, la alta intensidad energética plantea un desafío crítico debido a las limitadas economías de escala, los presupuestos operativos restringidos y, a menudo, el suministro eléctrico poco fiable"
59	(Li et al., 2026)		"La gestión de las aguas residuales rurales se enfrenta a desafíos significativos debido a los asentamientos dispersos y a las características de infraestructura inadecuada de las zonas rurales"	

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la gestión	Otras Ideas
60	(Li et al., 2024)	"Aprovechar las ventajas geográficas para lograr áreas urbanas y rurales compartidas e interconectadas será una estrategia para mejorar el saneamiento del hábitat rural de las comunidades"	"Para las comunidades rurales remotas dominadas por la disposición descentralizada, es importante explorar modos apropiados para la gestión local de aguas residuales, mejorar la tecnología y mejorar la supervisión"	"Se debe realizar una estrategia de control jerárquico en las comunidades basada en las diferentes características y deficiencias de los grupos para mejorar el saneamiento ambiental"
PALABRA CLAVE: GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS SANITARIOS				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas para la Gestión**	**Ideas para la Planificación**	**Otras Ideas**
3	(Coronel Picon & Seo, 2020)	"Las metodologías participativas... permiten un mayor acercamiento a la realidad local y ayudan a establecer vínculos de confianza entre los 'externos' y las comunidades rurales"	"Fortalecer las capacidades de los profesionales a cargo de la planificación del proyecto, los gobiernos locales y las comunidades; y la asignación de recursos financieros"	
11	(Müller et al., 2020)	"El resultado indica que la integración del riesgo y la sostenibilidad en una evaluación conjunta es conceptualmente factible. Por lo tanto, este enfoque facilita el camino hacia una operación metodológica, aplicación empírica integral y consistente"	"Desde una perspectiva económicamente sostenible, una re-valorización de los recursos hídricos y los posibles subproductos (ej. energía, nutrientes) resultantes de su tratamiento puede fomentar la eficiencia de los recursos a largo plazo"	

N°	Autor /Lectura	Ideas para la Gestión	Ideas para la Planificación	Otras Ideas
12	(Shiu et al., 2017)	"El estudio resalta la importancia de implementar estrategias sostenibles en la gestión de recursos hídricos y residuos, especialmente en áreas vulnerables"	"El consumo de electricidad es el elemento clave en el desempeño ambiental general de la PTAS"	
26	(Kresse Zamorano, 2024)	"A través de planes de desarrollo, análisis de crecimiento poblacional y optimización de economías de escala, es posible anticipar necesidades de expansión y definir soluciones sanitarias más eficientes a nivel territorial"	"La planificación utilizada en la industria sanitaria puede aportar herramientas relevantes para el desarrollo de sistemas de Servicios Sanitarios Rurales interconectados, especialmente en materias de proyección de demanda, diseño de infraestructura, gestión integrada de redes y estructura matricial técnica"	"Los programas de inversiones se construyen con el objetivo de asegurar la calidad y continuidad de las distintas etapas de servicio"
33	(Millán Romero, 2025)	"Aumentar e incentivar el tratamiento de aguas servidas para su reúso"	"Desarrollar soluciones estructurales para cuencas con importante déficit hídrico, tales como conducciones que distribuyan agua a varios sistemas, operando como fuente complementaria"	

N°	Autor /Lectura	Ideas para la Gestión	Ideas para la Planificación	Otras Ideas
34	(Leiva Henríquez, 2025)	"'La Ingeniería de Detalle un factor técnico importante que concurren en la obra, es necesario examinar su Incidencia en los resultados de posibles sobrecostos, retrasos y problemas operacionales que podría evidenciar un proyecto al final de su desarrollo"	“Integración temprana al diseño...Planificación integral con enfoque Preconstrucción”	"La solución debe satisfacer los requerimientos de funcionalidad, legales, normativos y estar orientada a la sutentabilidad con reducción de costos, energía, protección de los recursos naturales y aceptabilidad de la comuninidad u otros involucrados"
35	(Viera Villegas, 2025)	"Áreas Grises e Interconexiones de APR: Es una necesidad atingente de las localidades, que cada vez ira en crecimiento, por lo que se debe buscar la forma de realizar sinergia para incorporar obras que permitan abastecer de servicios a estos sectores"	"Se recomienda el uso del proceso de análisis jerárquico (The analytic Hierachy Procesess), para resolver problemas de priorización incorporando preferencias de actores involucrados en el proceso participativo de toma de decisión"	"seguir modelos de gestión de sanitarias, permite una toma de decisiones más eficientes, transparentes y alineados con criterios técnicos, económicos y de riesgo en el desarrollo de proyectos"
36	(Carvallo González, 2025)		"Mejorar constantemente y por siempre los sistemas de producción, servicio y planeamiento de cualquier actividad. Esto va a mejorar la calidad y la productividad, bajando los costos constantemente"	"La ISO46001:2019 proporciona un marco sistemático y flexible para que organizaciones de cualquier sector mejoren el uso del agua, reduzcan pérdidas, integren tecnologías y promuevan una cultura de eficiencia y sostenibilidad hídrica"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la Gestión	Ideas para la Planificación	Otras Ideas
38	(Domínguez Carmona, 2025)	"Incluir un enfoque sistemático de gestión de riesgos es primordial para el saneamiento debido a la exposición de agentes críticos en las PTAS"		
39	(Rojas Choque, 2025)	"Se coincide en que la gestión de clientes no debe limitarse al servicio final, sino abarcar todo el ciclo de vida del proyecto, desde la planificación hasta la operación. Esta visión integral permite consolidar una cultura organizacional orientada al usuario y al valor público"	"La relevancia de la planificación integrada, la reducción de incertidumbre y la gobernanza del recurso refuerzan la importancia de incorporar herramientas de gestión estratégica"	
40	(Araya Mena, 2025)	"se debe seleccionar las tecnologías adecuadas según el contexto territorial, incorporando criterios ambientales, sociales y económicos"	"Es importante abordar un proyecto desde el inicio de este, la coordinación entre actores y gestión de incertidumbre"	"Hay una mala experiencia de cuando los proyectos incluyen el EIA, alargando enormemente los tiempos de término de los contratos"
52	(Martinez De La Hoz et al., 2026)	"Utiliza un "Gemelo Digital" basado en modelos pre-entrenados permite gestionar plantas de tratamiento con un costo de monitoreo reducido, optimizando el uso de aireadores según la estación del año y garantizando que, a pesar de tener pocos datos iniciales, el sistema pueda predecir con más del 85% de precisión cuándo y cuánto oxígeno necesitan sus lagunas para cumplir con la normativa ambiental"	"Los sistemas rurales añaden más desafíos: población dispersa, infraestructura envejecida, cargas irregulares y automatización limitada que complican el control en tiempo real"	"Incluso cuando hay redes de sensores disponibles, los operadores a menudo dependen de técnicas estadísticas manuales... que no pueden capturar la dinámica no lineal y no estacionaria de los procesos de aguas residuales"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la Gestión	Ideas para la Planificación	Otras Ideas
59	(Li et al., 2026)	"Las áreas rurales requieren soluciones adaptadas a la dispersión geográfica y la falta de infraestructura, en lugar de un diseño que exija podas y replantaciones constantes por parte de los operadores, se debe diseñar una infraestructura verde basada en el policultivo de especies nativas"	"La necesidad de replantación y cosecha periódica de plantas funcionales no autóctonas aumenta los costos de mantenimiento y socava la estabilidad ecológica de los humedales construidos"	"En comparación con los sistemas basados en una sola especie... el sistema multiplantas albergaba una red microbiana diversa y funcionalmente redundante, que incluía géneros tolerantes al frío y fijadores de nitrógeno"
60	(Li et al., 2024)	"En las comunidades con mejor saneamiento, se debe actualizar la tecnología de prevención y control de la contaminación y se debe fortalecer la supervisión"	"La cobertura de plantas de tratamiento de aguas residuales centralizadas y conexiones de alcantarillado en zonas rurales fue menor debido a la topografía y razones económicas"	"Las principales desventajas de la eliminación de aguas residuales descentralizada son la tecnología única, los resultados ineficientes del tratamiento y los criterios de descarga mal supervisados"

PALABRA CLAVE: TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas para la tecnología**	**Ideas para la Proyección**	**Otras Ideas**
10	(Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018)	"Soluciones innovadoras en el país son: lombrifiltros, humedales, biotreat, lecho verde vetical de juncos y filtro vegetal con fibra de coco"	"El sector urbano cuenta cuenta con personal calificado para la operación y mantenimiento, soportado económicamente a través de una tarifa debidamente regulada. El sector rural no cuenta con personal de experiencia en la operación y mantenimiento de sus PTAS (especialmente cuando se trata de tecnologías como los lodos activados), el soporte económico es dependiente de si el responsable es una cooperativa, un comité o la municipalidad"	"Desde el punto de vista económico, privado y social, de entre las alternativas de tratamiento tarificadas la tecnología de lombrifiltro se constituye en una alternativa viable y sostenible en sistemas rurales de más de 100 habitantes"
13	(Almuktar et al., 2018)	"Entre las tecnologías de tratamiento actuales... se concluyó que los humedales son una de las más adecuadas en términos de eliminación de contaminantes y tienen ventajas debido tanto a los bajos costos de mantenimiento como a la energía requerida"	"Es importante conocer las características de aguas servidas a tratar para poder determinar el mejor diseño del humedal artificial para lograr los mejores resultados en el tratamiento y cumplir con los estándares que se requieran para su reutilización"	"Una combinación de sistemas de alta tecnología para el tratamiento de aguas residuales parece inapropiada, ya que a menudo es económicamente inviable"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la Proyección	Otras Ideas
14	(Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, 2013)	"...las zanjas de infiltración o de lixiviación capilar, pueden emplearse como un complemento del sistema para tratar efluentes"	"Es necesario contar con más alternativas de procesos de tratamiento de bajo costo de inversión, operación y mantenimiento, lo que permitirá ampliar la cobertura del servicio... en pequeñas comunidades"	"En este proceso [Doyoo Yookasoo] se pueden alcanzar eficiencias globales de remoción superiores al 90% de DBO y SST"
15	(Wang et al., 2019)	"Las zanjas con vegetación se han convertido en un enfoque cada vez más popular... su popularidad puede atribuirse a los menores requerimientos de tierra, la alta tasa de eliminación de nutrientes y los bajos costos de construcción y operación de mantenimiento"	"sistema de zanjas ecológicas para tratar aguas residuales domésticas rurales con altas concentraciones de nutrientes"..."El sistema de zanjas ecológicas no puede utilizarse para el tratamiento de efluentes domésticos si la población de la ciudad supera las 2000 personas"	"La identificación de enfoques adecuados para el tratamiento de aguas residuales domésticas en estas zonas rurales, especialmente la eliminación de nitrógeno y fósforo, se ha convertido en un tema urgente"
19	(Parra Piérart & Chiang Rojas, 2013)	"El modelo de biopurificación destaca por su bajo costo, simplicidad operativa y uso de procesos naturales, lo que lo convierte en una alternativa robusta"		"Estos sistemas son fácilmente implementables y dado su bajo costo de inversión, operación y mantención, constituyen un medio para incrementar la sustentabilidad del consumo energético de una vivienda"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la Proyección	Otras Ideas
20	(Yoonus & Al-Ghamdi, 2020)	"Dentro de las técnicas biológicas, los MBR (Bio-reactores de Membrana) son altamente efectivos para eliminar compuestos orgánicos... Los Humedales Construidos (CW) son un enfoque de tratamiento sostenible que puede producir agua gris de buena calidad para su reutilización"	"Generalmente, las aguas grises constituyen entre el 50% y el 80% de las aguas residuales domésticas"..."Las técnicas de tratamiento químico resultaron menos eficientes para producir agua gris tratada de calidad estándar"	"La idea de sistemas de tratamiento de aguas grises in situ puede reducir la demanda de agua pura y, a su vez, reducir las emisiones ambientales generales"
21	(Homsi Auchen, 2024)	"Se observa que la teconología de lombrifiltro requiere una menor inversión y menor costo de operación por año que las demás tecnologías, pero puede abarcar hasta 2.500 habitantes"	"La valorización depende de los siguientes componentes: personal, productos químicos, energía eléctrica, materiales y repuestos, servicio de laboratorio, transporte y disposición de lodos, servicio de Operación y mantención"	"Las condiciones de borde de los costos de inversión son los siguientes componentes unitarios: tratamiento preliminar, tratamiento secundario, desinfección, tratamiento y deshidratación de lodos, y transporte y disposición de lodos"
42	(Li et al., 2025)		"La integración de las transiciones dietéticas con las mejoras en el tratamiento puede equilibrar eficazmente los objetivos de salud y ambientales, reduciendo la disparidad urbana-rural"	

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la Proyección	Otras Ideas
45	(Delanka-Pedige et al., 2020)	"Las tecnologías de tratamiento basadas en algas han sido reconocidas como una vía de tratamiento de aguas residuales sostenible y rentable donde... se eliminan los orgánicos y nutrientes en un solo paso, eliminando así la necesidad de aireación artificial"	"Los sistemas basados en algas... requieren bajas habilidades del operador (en comparación con sistemas centralizados)"..."La operación del sistema A-WWR... ha demostrado su capacidad para alcanzar los estándares de descarga para DBO, nitrógeno amoniacal y fosfatos en un solo paso en tres días"	"Un beneficio secundario del uso de agua reclamada en la agricultura es la disponibilidad gratuita de nutrientes para las plantas, reduciendo las necesidades de fertilizantes de muchos cultivos
46	(Andreo-Martínez et al., 2017)	"La implementación de humedales de flujo subsuperficial horizontal (HF-CW) podría ser una solución para el tratamiento de aguas residuales domésticas de casas aisladas"	"La aireación artificial proporcionó mejoras con respecto a la reducción de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (TN) y E. coli"	"los humedales son técnicamente factibles y altamente eficientes para la remoción de materia orgánica y patógenos, pero advierten que la evaluación de factibilidad debe considerar cuidadosamente el balance hídrico y la salinidad del efluente durante los meses de verano para asegurar su aptitud para el riego agrícola"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la Proyección	Otras Ideas
47	(Luckmann et al., 2016)		"...la oferta de aguas residuales define la cantidad máxima disponible para el reciclaje, pero la cantidad real utilizada depende de la demanda de agua recuperada condicionada a la demanda y oferta de todos los tipos de agua en el sistema"	“Se ofrece asistencia financiera a los agricultores que optan por el uso de aguas residuales regeneradas y para mejorar su calidad”
49	(González et al., 2026)	El uso tecnología de zeolita natural y energía solar, permite un costo por metro cúbico muy competitivo para la agricultura local, siempre que se gestione adecuadamente la saturación de los filtros y se seleccionen cultivos adaptados a la salinidad residual del efluente.	"El diseño modular del sistema, implementado en un contenedor de 20 pies, facilita su despliegue en localidades con espacio limitado y permite la expansión incremental o la modernización de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes"	"Desde una perspectiva socioeconómica, los costos de operación y mantenimiento son factibles de distribuir entre los usuarios finales, considerando los beneficios productivos, sociales y ambientales"
51	(Wang et al., 2026)	"La piedra pómez de vidrio porosa redujo eficazmente los riesgos de colmatación y mejoró las tasas de transferencia de oxígeno vertical, manteniendo así un entorno aeróbico sostenido propicio para la nitrificación"..."Las tecnologías de tratamiento [rural] deben priorizar la viabilidad económica, la estabilidad operativa y la facilidad de mantenimiento"	utilizar los desechos de vidrio de la propia provincia para fabricar el sustrato de los humedales que tratarán el agua, logrando un sistema que no se tapa (colmata o atasca), que resiste el clima y que opera a un tercio del costo de una planta de lodos tradicional	"El análisis económico indicó un costo unitario de tratamiento de 0,48 CNY/m³ ($0,06 USD aprox.), lo que podría disminuir el costo en un 65,22 % en comparación con el tratamiento tradicional"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la Proyección	Otras Ideas
53	(Li et al., 2026)	"La integración de MBBR con desnitrificación autotrófica presenta un enfoque prometedor para tratar efluentes de PTAR rurales con baja relación DBO5/TN y alto OD"	"Sobre la base de una evaluación integral de fiabilidad, rentabilidad y simplicidad operativa para aplicaciones de ingeniería práctica, el sistema MBBR + VIA [basado en hierro] es la opción preferible"..."proporciona un gran potencial para una aplicación simple, de bajo costo y generalizada en el tratamiento de aguas residuales rurales descentralizadas en todo el mundo"	"Las tecnologías existentes [como humedales o infiltración rápida] enfrentan limitaciones como una eficiencia de eliminación de TN subóptima, requerimientos de tierra adicionales y altos costos"
55	(Kumwimba et al., 2026)	La aireación por micro y nanoburbujas permitiría tratar el nitrógeno de forma mucho más eficiente (vía nitrificación parcial), reduciendo la cuenta eléctrica en un 70 % y utilizando equipos compactos que no requieren la operación experta que exigen las plantas de tratamiento convencionales de lodos activados	"Integrar Mi/NaB-A en los procesos de lodos activados convencionales establece una configuración novedosa adecuada para modernizar (upgrade) los sistemas rurales existentes"	"Los diseños residenciales dispersos, la calidad fluctuante del influente, las tasas de flujo altamente variables y la eficiencia de tratamiento generalmente baja dificultan severamente el desempeño de los sistemas de tratamiento convencionales"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la Proyección	Otras Ideas
57	(Zhao et al., 2026)	"Diseñar con humedales de flujo intermitente (sifón): Esta tecnología permite que el sistema actúe como una barrera de bioseguridad ambiental, eliminando no solo la materia orgánica doméstica, sino también los herbicidas (glifosato) que el alcantarillado rural suele recolectar de las zonas de cultivo, entregando un agua de riego de alta calidad y libre de fitotoxicidad para la propia comunidad"	"El régimen de sifón impulsado por gravedad y la adición de sustrato biodegradable en los humedales pueden facilitar la implementación práctica"	"Los humedales artificiales (CW) a menudo sufren de una disponibilidad limitada de carbono/oxígeno, lo que restringe la eliminación de contaminantes... los S-CW [accionados por sifón] se optimizaron para la eliminación conjunta de glifosato y nutrientes"
58	(Sun et al., 2026)	"considerar el impacto del diseño del paisaje en el flujo de todos los gases de efecto invernadero (incluyendo CO2, CH4 y N2O), la eliminación de contaminantes y los problemas de colmatación"..."Seleccionar plantas eficientes en la eliminación de nitrógeno (como Cyperus papyrus y Acorus calamus) y optimizar su densidad de siembra es fundamental"	"se utilicen configuraciones de plantas que no solo limpien el agua para reúso agrícola con bajo costo energético, sino que transformen el sitio de tratamiento en un activo paisajístico para la comunidad, monitoreando proactivamente las emisiones de CO2 para asegurar un balance de carbono positivo en el territorio "	"Existe una necesidad urgente de desarrollar tecnologías de tratamiento de aguas residuales con bajo consumo de energía, fácil gestión y alta eficiencia basadas en las condiciones locales"

PALABRA CLAVE: REGULACIÓN				
N°	Autor /Lectura	Ideas para el marco normativo	Ideas de brechas presentes	Otras Ideas
3	(Coronel Picon & Seo, 2020)	"Definir instrumentos rectores para la planificación y desarrollo de procesos participativos"	"A menudo, los planificadores de proyectos pueden no estar explícitamente capacitados en la gestión de procesos participativos, lo que puede llevar a un uso limitado de las metodologías"	
4	(Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, 2023)	"el marco actual no considera la regulación y gestión de servidumbres de paso y de acueducto...debería incorporar directrices específicas sobre esta materia permitiría anticipar conflictos, otorgar mayor certeza técnica y legal al diseño de redes y facilitar una planificación sanitaria rural más eficiente y coordinada"	"El manual de proyectos de aguas servidas de la DOH, deberia contener lineamientos especificos para proyectos de sistemas interconectados entre servicios"	
5	(Ley N° 20.998, 2017)	"Sin un fortalecimiento masivo y continuo de las capacidades locales, las exigencias de la ley corren el riesgo de convertirse en letra muerta o en una fuente de frustración y abandono por parte de los líderes comunitarios”	"se establece el traspaso de servicios de agua potable o saneamiento desde las municipalidades hacia comités y cooperativas, la norma no desarrolla en detalle el procedimiento, los estándares técnicos mínimos, la situación patrimonial de la infraestructura, ni los mecanismos de acompañamiento técnico y financiero para concretar dicha transferencia"	

N°	Autor /Lectura	Ideas para el marco normativo	Ideas de brechas presentes	Otras Ideas
6	(Decreto N° 50, 2020)		"Existen limitaciones en el desarrollo de soluciones descentralizadas...exigencias técnicas y sanitarias poco ajustadas a la realidad rural"	
7	(Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2025)	"se requiere consolidación técnica antes que una fiscalización estrictamente sancionatoria"		"Enfatiza en un proceso colaborativo durante la transición, indicando recomendaciones operativas con finalidad pedagógica y de apoyo en la gestión"
8	(Aguila Inostroza, 2025)		“la implementación de este marco enfrenta desafíos críticos. El informe identifica una tensión fundamental entre el objetivo de profesionalización y la realidad de las organizaciones comunitarias de base voluntaria, cuya capacidad administrativa y financiera es a menudo limitada”	
32	(Millán Romero, 2025)	elaboración los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC), herramienta que busca generar y sistematizar información física, social y ecosistémica de cada cuenca		"Al decretar escasez hídrica, la DGA puede intervenir una cuenca, priorizando el consumo humano, el saneamiento y uso doméstico de subsistencia y la preservación ecosistémica"

N°	Autor /Lectura	Ideas para el marco normativo	Ideas de brechas presentes	Otras Ideas
39	(Rojas Choque, 2025)	"El Plan debe contener portafolio de opciones destinado a despejar la incertidumbre y dar al Ministerio la posibilidad real de redirigir, postergar, acelerar, sustituir o descartar obras"..."La sostenibilidad de las soluciones sanitarias no depende solo de la infraestructura, sino también de la relación con las comunidades, la transparencia y la generación de valor público"	"Una estrategia de desarrollo para la cuenca, establecida de común acuerdo entre los diferentes actores participantes, que considere los valores de la minería, la agricultura, el medio ambiente y los valores sociales"	"Sentar las bases para la formulación de un Plan de mediano y largo plazo en materia de infraestructura hídrica, considerando el abastecimiento del recurso hídrico en el país en condiciones de equidad territorial y social, de calidad y sostenibilidad; de continuidad de servicio y con infraestructura resiliente ante los desastres naturales, para los próximos años"
PALABRA CLAVE: ASPECTOS SOCIALES				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas para la participación Ciudadana**	**Ideas para la Aceptación Social**	**Otras Ideas**
3	(Coronel Picon & Seo, 2020)	"La participación comunitaria en la etapa de planificación... incluye aspectos como la ubicación de la infraestructura, la elección de la tecnología, el diseño de las tarifas y los requisitos de operación"	"El fortalecimiento de las comunidades locales en la organización y el desarrollo comunitario, la participación, la gestión y el liderazgo... influye en su sostenibilidad"	

N°	Autor /Lectura	Ideas para la participación Ciudadana	Ideas para la Aceptación Social	Otras Ideas
8	(Aguila Inostroza, 2025)	"se propone promover activamente la conformación de uniones comunales o asociaciones entre comités geográficamente cercanos, con el fin de compartir costos profesionales y fortalecer capacidades técnicas, legales y administrativas"		
11	(Müller et al., 2020)	"Adoptar modelos integrados que consideren la participación ciudadana, la capacidad institucional y la sostenibilidad a largo plazo...las soluciones descentralizadas son más adecuadas en territorios de baja densidad, pero advierte que su éxito depende de factores como la operación, mantenimiento y apropiación por parte de los usuarios"	"Aspectos sociales desafiantes como la percepción y la aceptación pueden abordarse a través del desarrollo de capacidades, el empoderamiento y la participación activa de la comunidad para ubicar las medidas donde sean más necesarias y aceptadas socialmente"	"...tal evaluación es idealmente apoyada involucrando a los tomadores de decisiones y a los diferentes interesados para fomentar una generación e intercambio de información organizado y transparente... esto puede ayudar a generar confianza y aumentar la colaboración"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la participación Ciudadana	Ideas para la Aceptación Social	Otras Ideas
39	(Rojas Choque, 2025)	"Se deben considerar líneas de Acción para comunicación de los trabajos con: universidades, colegios, cámara Chilena, Junta de Vecinos, redes sociales, etc"	"Entre las aplicaciones y estrategias para la gestión de clientes se destaca la implementación de canales digitales para la atención y seguimiento, y la comunicación empática con las comunidades beneficiarias y la formación continua del personal"	"Los principios del marketing, el diseño de servicios y la innovación constituyen una base sólida para construir organizaciones públicas más humanas, transparentes y efectivas"
41	(Chae et al., 2026)		"Mejorar la aceptación requerirá una comunicación de riesgos transparente y una educación centrada en la eficacia del tratamiento en lugar del origen del agua residual"	"Las comparaciones de costos convencionales a menudo no capturan los beneficios sociales más amplios del reúso, incluida la mejora en la confiabilidad del suministro y las pérdidas de cultivos evitadas durante la sequía"
44	(Chan et al., 2020)	"El desarrollo de modelos participativos puede demostrar las conexiones localmente matizadas entre el comportamiento y los sistemas de agua y saneamiento, y ayudar a priorizar soluciones adecuadas"	"El enfoque se centró en las preocupaciones de la comunidad sobre la calidad y cantidad del agua, a través de múltiples fuentes y las decisiones comunitarias resultantes"	"Estas dimensiones sociales y de comportamiento... son componentes vitales del sistema que, en última instancia, determinan el grado de éxito de las intervenciones"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la participación Ciudadana	Ideas para la Aceptación Social	Otras Ideas
60	(Li et al., 2024)	"La falta de capital social y la participación de los agricultores limitarán el tratamiento de las aguas residuales"		
PALABRA CLAVE: REUTILIZACIÓN DE AGUAS SERVIDAS				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas para la tecnología**	**Ideas para la gestión**	**Otras Ideas**
10	(Homsi Auchen & Alarcón Martínez, 2018)		"promoviendo el aprovechamiento de aguas servidas tratadas en usos como riego agrícola o áreas verdes"	"falta de un marco normativo específico, limitaciones técnicas en los sistemas de tratamiento y escasa incorporación del reúso en el diseño de proyectos, lo que dificulta su implementación"
11	(Müller et al., 2020)		"La representación de la situación de “Escasez – Reutilización” del agua como un sistema integrado facilita el análisis del riesgo al subrayar los elementos expuestos y vulnerables del sistema"	"Uno de estos desafíos es la falta de interconexión entre la evaluación de riesgos de escasez de agua y la evaluación de la sostenibilidad para la reutilización de esta"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la gestión	Otras Ideas
12	(Shiu et al., 2017)	"...integrar tecnologías más limpias y eficientes en la gestión del agua y los residuos"	"La reutilización del agua recuperada para aplicaciones agrícolas se consideró el enfoque más respetuoso con el medio ambiente"..."Se podrían lograr ventajas ambientales significativas al reutilizar el agua residual recuperada para aplicaciones agrícolas (reducción del 27,8% en el potencial de eutrofización)"	"Los beneficios económicos del reciclaje de lodos para aplicaciones agrícolas también lo convirtieron en una opción atractiva para la gestión de lodos"
13	(Almuktar et al., 2018)	"El reciclaje de las aguas residuales para riego utilizando humedales artificiales es una alternativa disponible para suplir la escasez de recursos hídricos al reincorporar nutrientes para la producción de plantas, por el gran potencial que tiene para eliminar contaminantes y por los bajos costos de mantenimiento y por la baja cantidad de energía requerida"	"La aplicación de aguas residuales tratadas para el riego agrícola tiene mucho potencial, especialmente cuando se incorpora la reutilización de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, que son esenciales para la producción vegetal"	
17	(Marangon et al., 2020)	"El biogás generado en el UASB podría suministrar la energía demandada... de modo que el sistema de tratamiento se vuelve independiente de las fluctuaciones de costos de la electricidad"	"Los criterios críticos a considerar al seleccionar un sistema de tratamiento son: costos de implementación, operación y mantenimiento, demanda de energía y simplicidad, en ese orden"	"La asociación entre saneamiento y agricultura forma un ciclo cerrado, donde se recuperan los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y se reutiliza el agua"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la gestión	Otras Ideas
20	(Yoonus & Al-Ghamdi, 2020)	"Las técnicas de tratamiento biológico son altamente eficientes en comparación con las físicas y químicas"		"Generalmente, las aguas grises constituyen entre el 50% y el 80% de las aguas residuales domésticas"
22	(Homsi Auchen, 2024)		"Las potenciales usos de las aguas residuales son: uso de sistemas naturales, irrigación de suelo agricola, riego de parque, uso industrial, recarga de acuíferos subterráneos, uso recreacional y generación de energía"	"Directrices para el uso de AST para proyecto de riego (P5): Las normas NCh 3456/1 (Base de un proyecto de reúso para riego), NCh 3456/2 (Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego), NCh 3456/3 (Componentes de un proyecto de reúso para riego) y NCh 3456/4 (Seguimiento)"
25	(Molina Paredes, 2024)	"Proponer soluciones técnicas para detener un potencial proceso de eutrofización en lagunas, y otros riesgos exógenos identificados: control carga externa, carga interna, biomanipulación y definir uso humedal"	"la reutilización de aguas servidas, la desalación o el uso de aguas grises, requiere evaluaciones integrales de calidad y riesgo"	"la prioridad es el consumo humano, generando armonía entre reserva de aguas para la preservación ecosistémica y la función productiva"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la gestión	Otras Ideas
38	(Domínguez Carmona, 2025)	“introducir una visión de economía circular en el tratamiento de aguas residuales. Promoviendo el aprovechamiento de subproductos (como biogás o lodos) y avanzando hacia sistemas más sostenibles, eficientes y resilientes en el contexto rural. Ejemplo nivel sanitario: son las Biofactoría"	"considerar sistema de protección de capas (SIL) permiten identificar, prevenir y mitigar fallas en sistemas mediante una lógica jerárquica (prevención, detección, control, contención y respuesta)"	
40	(Araya Mena, 2025)		"reutilización del agua para fines industriales y mineros"…"soluciones adaptativas frente a restricciones ambientales"	
41	(Chae et al., 2026)	"Los trenes de tratamiento híbridos e integrados —en lugar de procesos unitarios individuales— ofrecen el camino más prometedor para producir agua de riego de alta calidad y mejorar la comercialización del agua regenerada"	"El reúso de aguas residuales para la agricultura solo es práctico en áreas específicas debido a la competencia con otros sectores, los costos de tratamiento avanzado y transporte, y/o la falta de infraestructura que conecte las plantas de tratamiento con las áreas agrícolas"	"No existe una tecnología única que proporcione una solución universal; en su lugar, las estrategias de tratamiento deben adaptarse a los requisitos de uso final agrícola mediante enfoques de tratamiento integrados"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la gestión	Otras Ideas
43	(Shyu et al., 2025)	"Su éxito dependerá drásticamente de la integridad de las tuberías y de un monitoreo automatizado para asegurar que el agua reciclada sea segura para usos no potables en la zona rural"		"El reciclaje de agua in situ disminuye la demanda de agua potable al reutilizar el agua tratada para usos no potables, como la descarga de inodoros y el riego"
45	(Delanka-Pedige et al., 2020)	"El sistema A-WWR fue capaz de suprimir la propagación de la resistencia [antibiótica] y proporcionar agua reclamada más segura para el reúso agrícola"	"tecnologías de algas es factible porque reduce drásticamente los costos operativos de electricidad, simplifica el tratamiento a un solo paso y garantiza un efluente de alta seguridad biológica ideal para la actividad agrícola de la zona sin requerir procesos de desinfección química costosos"	"El sistema emergente A-WWR [Reclamación de Aguas Residuales por Algas], con su capacidad de inactivación innata, podría ser una tecnología de reclamación de agua asequible y más verde, más adecuada para instalaciones descentralizadas en comunidades periurbanas"
46	(Andreo-Martínez et al., 2017)	"Se propusieron soluciones como la aireación del lecho del humedal y la aireación del afluente para complementar los procesos de aireación natural"	"Dada la necesidad de un tratamiento adecuado... la lógica nos dice que estas aguas residuales regeneradas deberían utilizarse para diferentes aplicaciones como el riego de cultivos, descarga de baños o riego de zonas verdes"	"Dada la necesidad de un tratamiento adecuado... la lógica nos dice que estas aguas residuales regeneradas deberían utilizarse para diferentes aplicaciones como el riego de cultivos, descarga de baños o riego de zonas verdes"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la tecnología	Ideas para la gestión	Otras Ideas
50	(Li et al., 2026)	"el diseño debe incorporar un sistema de control dual: una configuración para "invierno/inundaciones" que priorice la limpieza total y otra para "verano/siembra" que priorice el envío de agua con carga de nitrógeno (nutrientes) directamente a los campos, optimizando en ambos casos el consumo de electricidad mediante modelos predictivos"	"Se identificaron dos configuraciones operativas óptimas: una para la descarga de efluentes de alto estándar y otra para la reutilización orientada al riego... las autoridades rurales pueden adoptar directamente estos ajustes según la temporada"	"Este enfoque de ciclo cerrado minimiza la dependencia de los fertilizantes sintéticos y promueve prácticas agrícolas sostenibles"
PALABRA CLAVE: TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas de sistemas descentralizados**	**Ideas para cobertura, escala y ventajas**	**Otras Ideas**
14	(Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, 2013)	"las zanjas de infiltración y sistemas biológicos simplificados, permiten mejorar significativamente la calidad del efluente, aprovechando procesos naturales como la actividad microbiológica del suelo"	"presentan ventajas en términos de sostenibilidad, integración paisajística y menor requerimiento operativo, posicionándose como alternativas viables para fortalecer el saneamiento rural y promover el reúso del agua"	“La capacidad de remoción… depende de la capacidad ecológica del suelo”

N°	Autor /Lectura	Ideas de sistemas descentralizados	Ideas para cobertura, escala y ventajas	Otras Ideas
15	(Wang et al., 2019)	"zanjas ecológicas como una alternativa de tratamiento, destacando su capacidad para remover nutrientes mediante procesos naturales como la nitrificación, desnitrificación y absorción por vegetación.	"las zanjas ecológicas representan una estrategia viable dentro del saneamiento rural, particularmente bajo un enfoque de infraestructura verde y tratamiento basado en la naturaleza, aunque su implementación debe considerar restricciones de espacio, operación y variabilidad en la eficiencia de remoción"	"su desempeño depende de variables operacionales como la carga hidráulica y condiciones ambientales, además de requerir una adecuada mantención para evitar problemas como la colmatación"
16	(Cheng et al., 2024)	"Una de las características más distintivas de los NSSS es que eliminan su materia fecal sin conectarse a alcantarillado"	"Los NSSS deben considerar los impactos del ruido y el olor en los residentes circundantes durante la construcción y la operación"	
17	(Marangon et al., 2020)	"...necesidad de avanzar hacia modelos descentralizados de saneamiento, particularmente en territorios dispersos y de baja densidad"	"se demuestra que los sistemas de saneamiento no conectados a alcantarillado (NSSS) constituyen una solución técnicamente viable y estratégicamente pertinente para contextos sin cobertura de redes tradicionales"	

N°	Autor /Lectura	Ideas de sistemas descentralizados	Ideas para cobertura, escala y ventajas	Otras Ideas
18	(Oishi et al., 2026)	A medida que las áreas residenciales se vuelven más dispersas, el costo total y las emisiones de GEI se acercan a los del escenario totalmente sin alcantarillado"	"El proceso de optimización asigna el alcantarillado centralizado solo a áreas densamente pobladas, reduciendo así a la mitad la longitud requerida de la red de tuberías y, simultáneamente, reduciendo el número de plantas de tratamiento in situ, que son las principales contribuyentes a las emisiones de GEI"	"se evidencia un trade-off ambiental, ya que el aumento de soluciones descentralizadas puede incrementar las emisiones de GEI, lo que obliga a incorporar criterios tecnológicos (ej. tratamiento eficiente, gestión de lodos)"
20	(Yoonus & Al-Ghamdi, 2020)	"destaca atributos fundamentales como la modularidad, la adaptabilidad territorial y la menor necesidad de inversión inicial"		"En un edificio, los inodoros por sí solos consumen alrededor del 25% del agua... Esto puede reducirse a un consumo casi nulo sustituyendo el agua dulce por agua gris tratada"
43	(Shyu et al., 2025)		"En respuesta [al cambio climático], han surgido los Sistemas de Saneamiento No Conectados a la Red (NSSS) para superar las limitaciones técnicas de los métodos de tratamiento tradicionales in situ y para reforzar la resiliencia de la infraestructura de saneamiento contra el cambio climático"	

N°	Autor /Lectura	Ideas de sistemas descentralizados	Ideas para cobertura, escala y ventajas	Otras Ideas
56	(Men et al., 2026)	"enfoque de tratamiento segregado en aguas grises (50-80% del consumo total) mediante dispositivos de bajo costo que utilizan residuos locales, abordando además el problema crítico de la colmatación (obstrucción)"	"la evaluación de factibilidad debe incluir obligatoriamente un plan de mantenimiento operativo que considere el volteo de los filtros cada 40 días y el recambio de materiales cada 3 meses para evitar el colapso del sistema por obstrucción inorgánica y biológica"	
PALABRA CLAVE: OBRAS MULTIPROPÓSITO				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas para el tipo de usos o funciones**	**Ideas para la eficiencia y optimización de recursos**	**Otras Ideas**
32	(Millán Romero, 2025)			"El Propósito del DFL 850, ART17 letra e): consiste en la producción u obtención de recursos hídricos que se destinen en forma prioritaria para subsistencia, que incluye el uso para el consumo humano, el saneamiento y el riego"

N°	Autor /Lectura	Ideas para el tipo de usos o funciones	Ideas para la eficiencia y optimización de recursos	Otras Ideas
39	(Rojas Choque, 2025)	"El enfoque multipropósito de los embalses (consumo humano, riego, control de crecidas, incendios y turismo) orienta a soluciones integrales que vinculen el saneamiento rural con la gestión a escala de cuenca"	"La solicitud de los usuarios afectados y beneficiados por el proyecto, orientaron la incorporación de actividades turísticas y deportivas..para promover un aprovechamiento multifuncional y sostenible del recurso hídrico"	
58	(Sun et al., 2026)	"la integración de la estética paisajística con el rendimiento técnico y la huella de carbono de los sistemas de saneamiento"		
PALABRA CLAVE: DESARROLLO RURAL				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas para la infraestructura y calidad de vida**	**Ideas para el desarrollo económico**	**Otras Ideas**
1	(Stańczuk-Gałwiaczek et al., 2018)	"la política agrícola y la gestión del agua —tanto sanitaria como de riego— se articulan bajo un enfoque integral de planificación territorial"	"La infraestructura sanitaria y de riego se planifica en función de una estructura territorial previamente ordenada, favoreciendo la economía de escala y una mayor eficiencia técnica como financiera"	"concienciar al público sobre el proceso y servir de ayuda para identificar las acciones y diseñar soluciones más convenientes o aquellas que conduzcan al compromiso más aceptable. Esto podría reducir el número de recursos judiciales”

N°	Autor /Lectura	Ideas para la infraestructura y calidad de vida	Ideas para el desarrollo económico	Otras Ideas
3	(Coronel Picon & Seo, 2020)	"El uso de estas metodologías en la planificación de los proyectos permite la selección de tecnologías que se adapten a las condiciones culturales, sociales y económicas de las comunidades beneficiarias; también genera un sentido de pertenencia y propiedad de los sistemas, lo que resulta en su sostenibilidad"	"Es necesario avanzar hacia la fase de implementación de políticas... para lograr resultados concretos que promuevan la planificación desde abajo (bottom-up)... Esto garantizará que las soluciones respondan a las condiciones socioeconómicas, ambientales y culturales de las comunidades"	
9	(Daniel et al., 2023)	"la sostenibilidad de los sistemas comunitarios de agua potable depende de una combinación sinérgica entre gestión sólida, estructura tarifaria efectiva y conexiones domiciliarias, más que únicamente del nivel de inversión inicial"	"el hallazgo de que una mayor inversión per cápita se asocia negativamente con la funcionalidad en zonas dispersas resulta comparable a la realidad de sistemas rurales aislados en Chile, donde los altos costos de operación y mantenimiento dificultan la sostenibilidad financiera"	
44	(Chan et al., 2020)	"Tener múltiples fuentes de agua disponibles para los hogares mejora la resiliencia de las comunidades rurales durante eventos extremos"		"La efectividad de las fuentes de agua comunitarias gestionadas localmente... puede variar desde un sistema de 'el primero en llegar es el primero en ser servido', hasta una gestión donde los líderes dictan los términos de su uso"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la infraestructura y calidad de vida	Ideas para el desarrollo económico	Otras Ideas
60	(Li et al., 2024)		"La ubicación geográfica ventajosa ha favorecido el desarrollo socioeconómico, así como ha llevado a la sensibilidad y vulnerabilidad del régimen ambiental regional"	
PALABRA CLAVE: CALIDAD DEL AGUA				
N°	**Autor /Lectura**	**Ideas para la gestión**	**Ideas Mejorar Calidad del Agua tratada**	**Otras Ideas**
25	(Molina Paredes, 2024)	"Monitoreo de seguimiento participativos, incrementar conocimiento local para conservación de ecosistemas"	"se identifican riesgos asociados a contaminantes emergentes —como agroquímicos y compuestos farmacéuticos— y a procesos de eutrofización en sistemas lacustres vinculados a descargas y contaminación difusa"	"Mejorar Información de principales impacto; Agroquímicos, Compuestos farmacéuticos, orgánicos"
36	(Carvallo González, 2025)	"Desistir de la dependencia en la inspección en masa para lograr calidad. En lugar de esto, mejorar el proceso e incluir calidad en el producto desde el comienzo"..."la planificación, coordinación y toma de decisiones basadas en datos fortalecen la gestión"		"Calidad no significa mejor sino lo mejor para el cliente en servicio"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la gestión	Ideas Mejorar Calidad del Agua tratada	Otras Ideas
37	(Ortega, 2025)		"...presencia de contaminantes como salinidad, metales pesados y nutrientes tanto en aguas superficiales como subterráneas, lo que impacta directamente la viabilidad de soluciones de saneamiento y reúso"	"gestión de calidad, eficiencia hídrica y planificación territorial son los pilares principales para lograr sistemas de saneamiento rural más resilientes y sustentables"
52	(Martinez De La Hoz et al., 2026)	"Ningún estudio ha implementado el pre-entrenamiento a escala de modelo de base en PTAR rurales, a pesar de su potencial para abordar la escasez de datos y los desafíos de generalización"	"La dinámica del OD exhibe variabilidad estacional debido a factores como la temperatura, la duración de la luz solar, la actividad microbiana y la retención hidráulica"	
54	(Li et al., 2026)	"La interconexión operativa permitiría recolectar los residuos alimentarios de la zona para alimentar la planta de tratamiento, logrando una remoción de nitrógeno 7 veces más eficiente y reduciendo los costos de limpieza de membranas, todo bajo un modelo de economía circular rural"	"El NS-FRFW [no esterilizado] mejoró las tasas de eliminación de TN y TP a 7,1 veces y 2,1 veces, respectivamente [en comparación con el control]"	"utilizar modelo de simbiosis industrial, economía circular urbana-rural utilizando residuos de la fermentación de desechos alimentarios (FRFW) como fuente externa de carbono para mejorar drásticamente la remoción de nitrógeno y fósforo en sistemas de tratamiento rurales (AAO-MBR), lo cual es una solución directa al problema de la baja relación C/N"

N°	Autor /Lectura	Ideas para la gestión	Ideas Mejorar Calidad del Agua tratada	Otras Ideas
57	(Zhao et al., 2026)	"Los sistemas demostraron una fuerte resiliencia, manteniendo una calidad de efluente estable y un crecimiento saludable de las plantas"	"El glifosato (PMG) es el herbicida más utilizado en todo el mundo... debido a su persistencia y movilidad, se detecta con frecuencia en la escorrentía agrícola y en la contaminación de fuentes no puntuales"	"Las concentraciones de nitratos disminuyeron constantemente... en el sistema con PBS, lo que indica una desnitrificación sostenida respaldada por la liberación continua de carbono"
58	(Sun et al., 2026)	"Durante el invierno, es necesario cosechar y cubrir las plantas en el humedal para garantizar el funcionamiento normal del equipo"	"La tasa de eliminación de nitrógeno total (TN) (51,64–85,59%) fue mayor en el humedal con diseño paisajístico que en el de diseño regular"	"En el futuro, se debe poner énfasis en considerar el impacto del diseño del paisaje en el flujo de todos los gases de efecto invernadero (incluyendo CO2, CH4 y N2O), la eliminación de contaminantes y los problemas de colmatación"

12.5 Diagnóstico Nacional de Saneamiento Rural – Federación Nacional APR'S Chile

El presente anexo reproduce el documento *"Diagnóstico Nacional de Saneamiento Rural en Chile: Brechas, Desafíos y el Derecho al Saneamiento Digno"* publicado en agosto de 2025 por la Federación Nacional APR's Chile, organización gremial que representa a los Servicios Sanitarios Rurales del país. Este documento ha sido citado en los capítulos 4, 6, 7, 8 y 9 de la presente tesis como referente institucional fundamental que aporta la visión del propio sector comunitario sobre la situación del saneamiento rural en Chile:

FEDERACIÓN NACIONAL APR'S CHILE
SIN AGUA NO HAY VIDA

Diagnóstico Nacional de Saneamiento Rural en Chile: Brechas, Desafíos y el Derecho al Saneamiento Digno

Introducción

En el corazón de los territorios rurales de Chile, miles de comunidades gestionan con esfuerzo y compromiso el acceso cotidiano al agua potable. Son organizaciones que emergen desde la solidaridad y la autogestión, enfrentando desafíos estructurales que muchas veces pasan inadvertidos en los grandes trazos de la política pública. Sin embargo, cuando se trata del tratamiento de aguas servidas, la deuda histórica es profunda: el derecho al saneamiento permanece fragmentado, postergado o invisibilizado para la mayoría del mundo rural.

Este documento recoge los principales hallazgos del **Diagnóstico Nacional de Saneamiento Rural,** elaborado por la **Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales**, evidenciando brechas críticas en cobertura, operación y sostenibilidad de los sistemas de tratamiento existentes. Lo hace con claridad técnica, pero también con vocación de justicia: el acceso al saneamiento no puede seguir siendo una excepción territorial ni una carga insostenible para las comunidades que gestionan sus propios servicios.

A través de este texto, se busca visibilizar no sólo la situación actual del saneamiento rural en cifras, sino también plantear las interrogantes estructurales que nos interpelan como país. **¿Qué tecnologías son realmente pertinentes para el mundo rural? ¿Cómo garantizamos sostenibilidad sin sobrecargar a las organizaciones comunitarias? ¿Cómo avanzamos hacia un modelo de saneamiento que reconozca el valor del territorio y la dignidad de quienes lo habitan?**

Porque el saneamiento es más que infraestructura. Es salud, es equidad, es dignidad compartida.

II. Estado General del Saneamiento Rural en Chile

El diagnóstico realizado por la Subdirección de SSR revela una situación preocupante en cuanto al acceso al saneamiento básico en comunidades rurales. De los **2.445** Servicios Sanitarios Rurales (SSR) que operan en el país, apenas el **13,7%** cuentan con algún tipo de sistema de tratamiento de aguas servidas. Esta cifra representa un rezago crítico respecto al derecho al saneamiento, considerado como parte esencial del derecho humano al agua, la salud y la vida digna.

A nivel de infraestructura, sólo **371 localidades** rurales disponen de redes de alcantarillado o plantas de tratamiento, lo que equivale al **15,2%** del total de SSR. Esta baja cobertura se distribuye de manera desigual en el territorio:

- En la macrozona centro se concentra el 40% de la infraestructura existente.
- El sur alberga el 36%.
- El norte apenas alcanza el 24%.

Por tamaño de comunidad, la mayoría de los SSR pertenecen al **segmento menor (69%),** lo que indica que la brecha afecta especialmente a localidades pequeñas y dispersas, donde las soluciones convencionales de urbanismo y saneamiento son más difíciles de implementar sin adaptaciones específicas.

Además, se identificaron localidades con más de una planta de tratamiento, evidenciando casos de sobrecarga o de intentos fallidos de resolver el saneamiento local mediante esfuerzos sucesivos sin coordinación técnica adecuada. Esto sucede en zonas como **Pan de Azúcar, El Romero o Lonquén**, donde la persistencia de problemas operacionales ha derivado en la construcción de múltiples infraestructuras, muchas de ellas deficientes.

Estos datos reflejan que el saneamiento rural no solo tiene baja cobertura, sino también graves problemas de funcionamiento, diseño y sostenibilidad. La intervención del Estado resulta urgente no solo desde la lógica de obra pública, sino desde un principio de equidad territorial: las familias rurales no pueden seguir enfrentando en solitario las consecuencias sanitarias, ambientales y económicas de la exclusión del saneamiento.

III. Tecnologías de Saneamiento en el Mundo Rural y su Estado Operativo

El diagnóstico nacional da cuenta de un uso concentrado de tecnologías que, si bien tienen alta capacidad de tratamiento, presentan serias dificultades para su operación en entornos rurales. A nivel país, la tecnología más utilizada en los Comités y Cooperativas es el sistema de **lodos activados**, presente en el **63%** de las plantas existentes. Este sistema, común en áreas urbanas, requiere condiciones técnicas exigentes y personal capacitado, lo que lo vuelve inadecuado para la mayoría de las comunidades rurales.

Otros sistemas utilizados incluyen **fosas sépticas, lombrifiltros, humedales artificiales y lagunas de estabilización**, aunque su presencia es mucho menor y también registran altos porcentajes de mal funcionamiento. Incluso existen casos de APRs sin ningún tipo de tratamiento o donde la información técnica no ha sido sistematizada.

El panorama operativo es preocupante:

- Apenas el **26%** de las plantas opera sin problemas significativos.
- Un 74% presentan deficiencias graves, falta de mantenimiento o simplemente no cuentan con información actualizada sobre su funcionamiento.
- Se identificaron al menos **113 plantas** en estado crítico que requieren **intervenciones urgentes.**

En cuanto a desempeño por tipo de tecnología:

• Los lodos activados presentan fallas en el **69%** de los casos, siendo responsables de casi la mitad de los sistemas con mal funcionamiento.

• Las fosas sépticas muestran problemas en el **85%** de los sistemas analizados.

• Los lombrifiltros, que en teoría son más adecuados para zonas rurales, registran dificultades en el **70%** de los casos, principalmente por falta de capacitación y mantenimiento.

• Los humedales y lagunas, aunque son tecnologías basadas en la naturaleza, también han sido mal diseñados o mal gestionados, lo que ha redundado en que el 100% de las lagunas y la mitad de los humedales presenten fallas.

Este diagnóstico no sólo muestra la limitada cobertura del saneamiento rural, sino que advierte sobre una política pública que ha replicado soluciones urbanas sin considerar las realidades territoriales, sociales y operativas de las comunidades rurales. La elección de tecnologías no ha sido guiada por criterios de pertinencia cultural, sostenibilidad económica ni autonomía operativa. Por el contrario, muchas de las tecnologías instaladas han terminado por sobrecargar a las organizaciones comunitarias, generando frustración, invisibilización del problema y desgaste institucional.

Las comunidades rurales necesitan soluciones adaptadas a su escala, capacidades y contexto. Tecnologías simples, robustas, de bajo consumo energético y fácil mantenimiento deben ser el punto de partida para cualquier esfuerzo serio por garantizar el derecho al saneamiento en estos territorios. La falta de diagnóstico continuo, la ausencia de contratistas especializados en zonas apartadas y los altos costos de operación están llevando a una situación de exclusión sanitaria que vulnera derechos básicos.

IV. Problemas Técnicos, Operacionales y Financieros del Saneamiento Rural

El análisis técnico revela que muchas plantas de tratamiento rurales fueron diseñadas sin considerar las complejidades del territorio. En numerosos casos, se trata de infraestructuras subdimensionadas, construidas sin previsión de crecimiento poblacional ni contemplación de condiciones locales como la estacionalidad, el tipo de afluente (grasas, arena, cocinerías) o el aumento de población en épocas festivas.

Problemas técnicos críticos incluyen:

• Falta de unidades esenciales para el tratamiento adecuado, como desgrasadoras, caudalímetros o sistemas de manejo de lodos.

• Ausencia de vertederos de tormenta o sistemas de by-pass para manejar infiltraciones de aguas lluvias, especialmente en las zonas centro y sur del país.

• Equipos e insumos técnicos que no están disponibles en las regiones, lo que dificulta las reparaciones y el reemplazo de componentes.

• Diseños estandarizados que no dialogan con la diversidad geográfica y social de las comunidades.

En el plano operacional, la fragilidad de los sistemas también se explica por la falta de capacidades instaladas:

• Ausencia de personal capacitado para operar tecnologías complejas como los lodos activados o los lombrifiltros.

• Obstrucciones frecuentes en redes de alcantarillado, falta de mantenimiento rutinario y negligencia en la gestión de residuos.

• Carencia de contratistas especializados en saneamiento rural disponibles en las regiones, lo que obliga a depender de equipos externos con altos costos o escasa disponibilidad.

Estos problemas operacionales impactan directamente la sostenibilidad de los sistemas. Plantas técnicamente funcionales quedan fuera de servicio por falta de conocimiento, desgaste o desconfianza institucional.

En términos financieros, el saneamiento rural enfrenta una paradoja: mientras más complejo es el sistema, más inviable se vuelve para las organizaciones comunitarias que lo gestionan. Los costos operacionales más altos se asocian precisamente a las tecnologías más utilizadas:

• Las plantas de lodos activados requieren altos consumos de energía, sobre todo aquellas con estaciones elevadoras que incrementan el gasto mensual.

• Muchos SSR no cuentan con presupuesto suficiente para contratar operadores capacitados ni cubrir los gastos fijos que exige la operación continua.

• La compra de insumos técnicos especializados —cuando están disponibles— muchas veces exige movilización interregional o importación, lo que eleva aún más los costos.

Como resultado, el saneamiento rural se convierte no sólo en un desafío técnico, sino en una carga financiera que pone en riesgo la continuidad de los servicios sanitarios comunitarios. Esta situación exige repensar los modelos de financiamiento, operación y asistencia técnica desde una perspectiva de justicia territorial, reconociendo que las soluciones no pueden seguir replicando esquemas urbanos en contextos que demandan adaptabilidad, autonomía y sostenibilidad.

V. Estrategias, Recomendaciones y Oportunidades

El diagnóstico plantea un conjunto de líneas estratégicas que responden al carácter multidimensional del problema del saneamiento rural. Se trata no sólo de ampliar cobertura, sino de hacerlo con pertinencia territorial, sostenibilidad técnica y justicia organizacional.

Entre las recomendaciones clave se encuentran:

• **Intervención y mejora de las plantas existentes:** Muchas requieren urgentes adecuaciones técnicas para operar de manera segura y efectiva.

• **Ampliación gradual de cobertura:** Se propone comenzar por asentamientos concentrados, avanzar hacia los semiconcentrados y adaptar soluciones flexibles para los más dispersos.

• **Implementación de tecnologías sostenibles:** Priorizar aquellas de bajo costo operacional, fácil mantenimiento y adecuadas para condiciones rurales, como los lombrifiltros, humedales artificiales o biodiscos.

• **Integración de energías renovables y economía circular:** Para reducir dependencia de insumos externos y mejorar la resiliencia de los sistemas comunitarios.

• **Fortalecimiento de la gestión comunitaria:** Capacitación constante, asistencia técnica y acompañamiento estatal deben ser parte de la política pública, no externalidades voluntarias.

• **Actualización y consolidación de la base de datos nacional:** Lo que permitirá tomar decisiones estratégicas con mejores criterios de priorización y seguimiento.

Estas estrategias no son sólo técnicas: implican reconocer el rol que juegan las organizaciones comunitarias como garantes de derechos fundamentales en ausencia del Estado, y construir sobre esa legitimidad una política pública solidaria, eficiente y justa.

VI. Costos de Inversión y Operación

El estudio realizado en coordinación con el BID entrega información crucial para orientar decisiones de política y diseño de proyectos.

• Para sistemas de **2.500 habitantes**, el **lombrifiltro** se presenta como la tecnología más económica, con costos aproximados de **UF 900/año.**

• Para **5.000 habitantes**, los **biodiscos rotatorios** ofrecen un equilibrio entre eficiencia técnica y bajo costo operativo, estimado en **UF 1.900/año.**

• En cambio, los **lodos activados convencionales** superan fácilmente las **UF 6.000/año**, lo que representa un desafío financiero muy significativo, especialmente para SSR con bajo poder adquisitivo.

Estos datos refuerzan la necesidad de diseñar soluciones que consideren **costo total de propiedad,** no sólo la inversión inicial. Operar un sistema implica años de gastos, mantenimientos, reemplazos y energía; si esos costos superan la capacidad de las comunidades, la infraestructura termina abandonada o sobrecargada.

VII. Reflexión Final: El Derecho al Saneamiento Rural

Más allá de los indicadores técnicos, el problema del saneamiento rural revela una realidad silenciosa y persistente: **la exclusión territorial del derecho al saneamiento**. En zonas urbanas, este derecho se ejerce casi de forma automática; en el mundo rural, las comunidades deben organizarse, autogestionar, buscar financiamiento, capacitarse y mantener sistemas que muchas veces fueron mal diseñados o mal asignados.

Esta situación no puede continuar. El derecho al saneamiento debe dejar de ser una promesa condicionada a la rentabilidad o la densidad poblacional. Debe convertirse en un **compromiso ético del Estado**, que reconozca el valor de las comunidades rurales, su rol estratégico en la sostenibilidad hídrica y su derecho a vivir sin miedo, sin insalubridad y sin abandono.

Los APRs han demostrado ser más que prestadores de agua: son **plataformas vivas de gobernanza territorial, dignidad compartida y cuidado comunitario**. La política pública tiene ante sí una oportunidad histórica: avanzar hacia un modelo de saneamiento rural que sea técnicamente sólido, organizativamente justo y humanamente irrenunciable.

Es hora de escuchar al territorio, no sólo en sus datos, sino en su voz. El saneamiento rural no puede seguir siendo un privilegio: debe ser, finalmente, un derecho **garantizado con equidad y respeto.**

Federación Nacional APR´s Chile.

Agosto del 2025.

12.6 Resultados Detallados

A continuación, se agregar secciones que detallan los resultados obtenidos en esta investigación.

12.6.1 Evaluación para Zonas Concentradas y Semiconcentradas (Extensión)

Tabla 12.1 Matriz de evaluación tecnológica para zonas concentradas y semiconcentradas.

Criterio	Pond.	Alcantarillado Convencional	Alcantarillado Condominial
Dimensión Técnica			
Compatibilidad morfología territorial	10%	4	4
Adaptación a topografía y pendiente	10%	3	4
Profundidad de excavación	8%	2	5
Complejidad de Operación y Mantenimiento	8%	2	4
Rendimiento en remoción de contaminantes	9%	5	4
Dimensión Económica			
Costo de inversión (CAPEX)	12%	2	4
Costo de operación (OPEX)	10%	2	4
Sostenibilidad financiera para SSR	8%	2	4
Dimensión Normativa			
Cumplimiento Ley N°20.998 y DS N°50	10%	5	4
Alineación criterios SISS	7%	5	3
Dimensión De Gestión			
Capacidad de administración SSR	4%	2	4
Requerimiento de personal especializado	4%	2	4
Puntaje Ponderado Total	**100%**	**3,1**	**4,0**

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: para ambos casos se considera la red primaria por camino público definida.

Tabla 12.2 Matriz de evaluación tecnológica para zonas dispersas.

Criterio	Pond.	Fosas Sépticas Comunitarias	Alcantarillado Condominial Pequeña Escala + Plantas Modulares
Dimensión Técnica			
Adaptación a baja densidad habitacional	12%	5	3
Independencia de red de alcantarillado	10%	5	3
Complejidad de instalación	8%	4	3
Complejidad de Operación y Mantenimiento	8%	4	3
Rendimiento en remoción de contaminantes	9%	3	4
Dimensión Económica			
Costo de inversión (CAPEX)	12%	4	3
Costo de operación (OPEX)	10%	4	3
Sostenibilidad financiera para SSR	8%	4	3
Dimensión Normativa			
Cumplimiento DS N°236 y normativa vigente	10%	4	4
Dimensión De Gestión			
Capacidad de gestión comunitaria	7%	5	3
Requerimiento de personal especializado	6%	4	3
Puntaje Ponderado Total	**100%**	**4,2**	**3,2**

Fuente: Elaboración Propia.

12.6.2 Análisis detallado del marco normativo y brechas legales

Este anexo desarrolla en extenso el análisis normativo cuya síntesis se presenta en la sección 7.5, incluyendo el contraste, brecha por brecha, con el proyecto de ley contenido en el Boletín N°17.877-33 y los antecedentes del debate legislativo.

A. Brechas de la Ley N°20.998

Brecha N°1 - Ausencia de regulación específica para el saneamiento interconectado entre SSR

Brecha identificada: la Ley N°20.998 en su versión vigente no contempla disposiciones específicas para la operación conjunta de sistemas de saneamiento entre SSR que comparten un mismo territorio. El modelo de San Pedro, que propone la interconexión operativa de cinco sectores bajo la administración de una cooperativa de segundo grado, carece de un respaldo normativo explícito en la ley que regula los SSR, lo que genera incertidumbre jurídica sobre la figura del operador conjunto y sus responsabilidades ante la SISS.

Análisis: la ausencia de un artículo que reconozca la gestión conjunta del saneamiento entre SSR deja sin respaldo jurídico explícito a la figura del operador interconectado, lo que constituye la brecha de mayor relevancia para el modelo de San Pedro y que el Boletín N°17.877-33 aborda solo de forma indirecta.

Comparación con el Boletín N°17.877-33: el proyecto de ley en tramitación aborda parcialmente esta brecha. El nuevo artículo 9° propuesto define el saneamiento rural incorporando explícitamente las soluciones colectivas e individuales, señalando que estas pueden incluir sistemas comunitarios que no estén conectados con una red de alcantarillado primario. Asimismo, el nuevo artículo 13° faculta a la Subdirección para contratar con terceros la operación de plantas de tratamiento que presten servicios a varios SSR simultáneamente, lo que abre una vía indirecta para la gestión compartida. Sin embargo, el proyecto no reconoce explícitamente la figura de la cooperativa de segundo grado como operador habilitado de saneamiento interconectado, ni establece un mecanismo de habilitación específico para organizaciones de esta naturaleza. Esta es la brecha más relevante que el proyecto no resuelve y que la experiencia de San Pedro permite fundamentar con precisión.

Brecha N°2 — Condicionamiento del saneamiento a la entrega de infraestructura por el MOP

Brecha identificada: el artículo 10° del proyecto de ley en tramitación establece que la prestación del servicio de saneamiento solo será exigible al comité o cooperativa una vez que la infraestructura sea entregada o traspasada por el MOP. Si bien esta disposición protege a los SSR de ser sancionados por no operar saneamiento sin infraestructura, también puede interpretarse como una limitación para que los SSR inicien proyectos de saneamiento con financiamiento propio o a través de otras fuentes distintas al MOP.

Análisis: incorporar una disposición complementaria que habilite expresamente a los SSR o a sus organizaciones de segundo grado a implementar y operar sistemas de saneamiento financiados mediante fuentes distintas al MOP, como el FNDR, el BID u otras, sin que la ausencia de traspaso formal de infraestructura por parte del MOP sea un impedimento para iniciar la prestación del servicio.

Comparación con el Boletín N°17.877-33: el artículo 9° nuevo del proyecto reconoce la posibilidad de soluciones individuales, colectivas o combinadas, y el artículo 10° condiciona la exigibilidad al traspaso por el MOP. La Ministra de Obras Públicas, señora Jessica López, señaló durante el debate en la Comisión que el saneamiento constituye una innovación del proyecto y representa un gran desafío, reconociendo que, según el censo 2024, un 90% de las viviendas rurales tiene soluciones individuales. Esta realidad hace especialmente relevante la recomendación formulada, pues el modelo de San Pedro propone precisamente una solución de iniciativa comunitaria financiada con fondos públicos distintos al presupuesto directo del MOP.

Brecha N°3 - Reconocimiento de la cooperativa de segundo grado como figura habilitada

Brecha identificada: la Ley N°20.998 vigente reconoce como licenciatarios únicamente a los comités y cooperativas de agua potable rural de manera individual. La figura de la cooperativa de segundo grado, propuesta en la sección 7.4 como instrumento de gestión conjunta, no está contemplada en la ley, lo que impide su habilitación formal como operador ante la SISS.

Análisis: incorporar en el Título I de la Ley N°20.998 una definición de cooperativa de SSR de segundo grado, estableciendo que las cooperativas de primer grado licenciatarias pueden constituir organizaciones de segundo grado para la administración conjunta de servicios de saneamiento, con personalidad jurídica propia y capacidad para ser habilitadas como operadores ante la SISS.

Comparación con el Boletín N°17.877-33: el artículo 3° propuesto define explícitamente la cooperativa de agua potable rural como persona jurídica constituida y regida por el DFL N°5/2003, lo que constituye un avance al vincular expresamente la Ley N°20.998 con la Ley General de Cooperativas. Sin embargo, esta definición se limita a las cooperativas de primer grado y no extiende el reconocimiento a las de segundo grado. El Coordinador del Área Hídrica del MOP, señor Carlos Estévez, señaló durante el debate que la fusión parcial de servicios podría ser adecuada para acometer el saneamiento aprovechando economías de escala entre sistemas cercanos, lo que indica una apertura conceptual del Ejecutivo hacia modelos de gestión conjunta que podría ser profundizada mediante la inclusión de la figura de segundo grado en el articulado.

Brecha N°4 - Estructura tarifaria que incorpore el componente de saneamiento
Brecha identificada: la estructura tarifaria actual de los SSR contempla exclusivamente el cobro por el servicio de agua potable. La incorporación del saneamiento como servicio adicional requiere una estructura tarifaria que permita a los SSR cobrar por este nuevo componente de manera transparente y diferenciada, sin que ello implique modificar los procedimientos de fijación tarifaria existentes de manera desproporcionada para organizaciones de pequeño tamaño.

Análisis: establecer en el Título V de la Ley N°20.998 una disposición específica que regule la incorporación del cargo de saneamiento a la estructura tarifaria de los SSR, definiendo un procedimiento simplificado para su fijación en el caso de organizaciones de tamaño menor y mediano, y estableciendo que el cargo de saneamiento podrá ser administrado por una organización de segundo grado cuando la infraestructura sea gestionada de manera conjunta.

Comparación con el Boletín N°17.877-33: el Título V del proyecto mantiene la estructura de cargo fijo más cargo variable progresivo, y habilita un procedimiento simplificado para servicios menores y algunos medianos. El artículo 8° nuevo establece que el licenciatario cobrará en una cuenta única el valor de las prestaciones de agua potable y saneamiento, lo que constituye un avance hacia la

integración tarifaria. Sin embargo, no se establece un mecanismo específico para la fijación del cargo de saneamiento cuando este es administrado por una entidad distinta al licenciatario individual, vacío que el modelo de San Pedro hace explícito.

B. Brechas del Decreto Ley N°3.516 de 1980

Brecha N°1 - Ausencia de exigencia de dotación de servicios sanitarios en subdivisiones rurales.

Brecha identificada: el DL N°3.516 permite la libre subdivisión de predios rústicos en lotes no inferiores a 5.000 m² sin exigir ningún estándar de dotación de servicios sanitarios como condición para la aprobación de la subdivisión. Esta omisión genera asentamientos habitacionales dispersos en zonas rurales sin solución de saneamiento, trasladando a los SSR la responsabilidad de atender viviendas cuya localización fue determinada por un marco normativo ajeno a cualquier consideración de gestión del agua.

Análisis: modificar el artículo 1° del DL N°3.516 incorporando como requisito para la aprobación de subdivisiones en zonas con SSR existentes un informe previo favorable de la Subdirección de SSR que certifique la capacidad del SSR para dar cobertura de saneamiento a las nuevas viviendas proyectadas o, en su defecto, la obligación del propietario subdividente de costear la solución de saneamiento individual para cada lote resultante de la subdivisión.

Brecha N°2 - Desconexión entre la planificación de subdivisiones y la planificación del saneamiento

Brecha identificada: no existe ningún mecanismo de coordinación entre el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), que aprueba las subdivisiones bajo el DL N°3.516, y la Subdirección de SSR del MOP, que planifica y financia la infraestructura de saneamiento rural. Esta desconexión permite que se aprueben subdivisiones en territorios donde los SSR no tienen capacidad de dar cobertura de saneamiento, generando una demanda insatisfecha que el Estado deberá financiar posteriormente a mayor costo.

Recomendación: establecer un mecanismo de consulta previa entre el SAG y la Subdirección de SSR para la aprobación de subdivisiones en zonas con cobertura de SSR, de manera que la planificación territorial incorpore la variable de capacidad de saneamiento como criterio de evaluación de los proyectos de subdivisión, en línea con el enfoque integrado de gestión del agua y ordenamiento territorial documentado por Stańczuk-Gałwiaczek et al. (2018) para los casos de Polonia y los Países Bajos.

Comparación con iniciativas legislativas en curso: el Boletín N°15.214-14 propone derogar el DL N°3.516 y reemplazarlo por una nueva normativa que eleve la superficie mínima de subdivisión a 1 hectárea e incorpore requisitos de uso

agrícola del suelo. Si bien esta propuesta reduciría la dispersión habitacional al disminuir el número de lotes posibles por predio, no incorpora la variable de saneamiento como criterio de evaluación, por lo que las recomendaciones formuladas mantienen su pertinencia independientemente del destino de esa iniciativa legislativa.

C. Brechas del DFL N°5 de 2003 — Ley General de Cooperativas

Brecha N°1 - Ausencia de disposiciones específicas para cooperativas de SSR

Brecha identificada: el DFL N°5 de 2003 regula las cooperativas de manera general, sin disposiciones específicas para las cooperativas que prestan servicios sanitarios rurales ni para las cooperativas de segundo grado que administran infraestructura de saneamiento compartida. Si bien el marco general es aplicable, la ausencia de disposiciones específicas genera incertidumbre en aspectos como la distribución de responsabilidades ante la SISS, el tratamiento de los bienes indispensables del servicio dentro del patrimonio cooperativo y los mecanismos de resolución de conflictos entre cooperativas socias de una organización de segundo grado.

Análisis: incorporar en el DFL N°5 un Título específico para cooperativas de SSR o, alternativamente, incorporar estas disposiciones en la Ley N°20.998 mediante una remisión explícita al DFL N°5, que regule los aspectos particulares de la gestión cooperativa en el sector sanitario rural, incluyendo el tratamiento de los bienes indispensables del servicio, los mecanismos de coordinación entre cooperativas de primer y segundo grado y los procedimientos de resolución de conflictos internos.

Brecha N°2 - Proceso de transformación de comités APR en cooperativas

Brecha identificada: el proceso de transformación de comités APR en cooperativas de servicios, condición habilitante del modelo de San Pedro, requiere cumplir con los requisitos generales de constitución establecidos en el Título II del DFL N°5, proceso que puede resultar complejo y costoso para organizaciones pequeñas con capacidades administrativas limitadas. No existe un procedimiento simplificado que reconozca la continuidad jurídica de la organización y facilite la transición.

Análisis: establecer en el DFL N°5, o mediante una disposición transitoria en la Ley N°20.998, un procedimiento simplificado de transformación de comités APR en cooperativas de SSR, que reconozca la continuidad de la personalidad jurídica, los derechos adquiridos ante la SISS y los bienes del comité como patrimonio inicial de la cooperativa, reduciendo los costos y plazos del proceso para facilitar la adopción del modelo de gestión cooperativa en el sector rural.

Comparación con el Boletín N°17.877-33: el proyecto de ley reconoce explícitamente tanto a los comités como a las cooperativas como licenciatarios del servicio sanitario rural, y el artículo 3° nuevo vincula la figura de la cooperativa de

agua potable rural al DFL N°5/2003. Durante el debate en la Comisión, el presidente de FENAPRU, señor José Rivera, destacó que los comités APR constituidos como organizaciones funcionales bajo la Ley N°19.418 tienen restricciones para acceder a recursos estatales que las cooperativas no tienen, sugiriendo la necesidad de asimilar su estatuto al de las cooperativas. Esta observación es coherente con la recomendación formulada y sugiere que existe voluntad política para avanzar en esta dirección durante la tramitación del proyecto.

D. Recomendaciones al Manual DOH

A partir de las brechas técnicas identificadas (FCE-E3, Anexo 12.6.3), se recomienda al Ministerio de Obras Públicas, a través de la Subdirección de SSR, la revisión y actualización del Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural de la DOH considerando las siguientes incorporaciones:

- **Profundidades mínimas diferenciadas según uso del suelo:** establecer profundidades mínimas reducidas (entre 0,4 y 0,9 m) para tramos instalados en zonas sin tráfico vehicular pesado (aceras, jardines, espacios comunes), reservando la profundidad de 1,60 m exclusivamente para tramos bajo calzadas con tráfico significativo.
- **Diámetros mínimos según función del tramo:** habilitar el uso de diámetros nominales de entre 100 y 160 mm para tramos iniciales y ramales condominiales con caudales acotados, manteniendo el diámetro mínimo de 180 mm únicamente para colectores principales.
- **Criterios técnicos para sistemas interconectados entre SSR:** incorporar una sección específica que regule el dimensionamiento de colectores compartidos entre múltiples SSR, los requisitos de puntos de interconexión entre redes y los lineamientos para disposición compartida de lodos.
- **Reconocimiento del alcantarillado condominial como tecnología regulada:** incluir el alcantarillado condominial dentro de las tecnologías reconocidas por el Manual, estableciendo criterios de diseño hidráulico, parámetros de pendientes, materiales aceptados y condiciones de implementación, en línea con la experiencia documentada en Brasil, Bolivia y Paraguay.

E. Reflexión final sobre el marco normativo

El análisis comparativo entre las brechas detectadas en el caso de San Pedro y el contenido del Boletín N°17.877-33 revela que el proyecto de ley en tramitación constituye un avance significativo en la modernización del marco jurídico de los SSR, especialmente en la incorporación del saneamiento como componente del servicio, la simplificación de las licencias y el fortalecimiento del rol de la Subdirección. Sin embargo, desde la perspectiva del modelo de saneamiento interconectado propuesto en esta investigación, persisten vacíos relevantes que el

proyecto no resuelve, particularmente en lo referido al reconocimiento de la cooperativa de segundo grado como operador habilitado y a la habilitación del saneamiento financiado con fuentes distintas al MOP.

La experiencia de San Pedro sugiere que la sostenibilidad del saneamiento rural en Chile requiere no solo la modernización de la Ley N°20.998, sino también la integración de las políticas de ordenamiento territorial con la planificación del saneamiento, ajuste que ningún proyecto legislativo en tramitación aborda de manera integral. Esta integración, documentada como práctica exitosa en contextos europeos de Polonia y los Países Bajos (Sobolewska-Mikulska, Loon-Steensma, Stańczuk-Gałwiaczek, & Ritzema, 2018), constituye el desafío normativo de mayor alcance que esta investigación identifica y que trasciende el ámbito de cualquiera de los tres cuerpos legales analizados por separado.

La urgencia de los ajustes normativos propuestos se ve reforzada por la reflexión que la Federación Nacional APR's Chile (agosto 2025) plantea en su diagnóstico nacional: el saneamiento rural no puede seguir siendo una excepción territorial ni una carga insostenible para las organizaciones comunitarias, sino que debe constituirse como un derecho garantizado con equidad. Esta visión, articulada desde el propio sector gremial, coincide con el enfoque de gestión integral y gobernanza cooperativa que orienta esta investigación, y otorga legitimidad social a las recomendaciones normativas formuladas. El reconocimiento de los SSR como plataformas vivas de gobernanza territorial, y no solo como prestadores de un servicio básico, debe ser el principio rector de cualquier modificación legislativa orientada a fortalecer el saneamiento rural en Chile.

12.6.3 de los factores críticos externos de carácter normativo-territorial (FCE-E3 a FCE-E9)

Este anexo desarrolla en extenso los siete factores críticos externos de carácter normativo-territorial cuya síntesis se presenta en la sección 7.6.2 y en la matriz de la Tabla 7.13.

FCE-E3: Brechas técnicas del Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural de la DOH

El Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural publicado por la Dirección de Obras Hidráulicas en octubre de 2023 constituye la referencia normativa técnica de mayor relevancia para el diseño de sistemas de saneamiento rural en Chile, en cumplimiento de lo dispuesto por el artículo 117 del Reglamento de la Ley N°20.998. Sin embargo, su revisión a la luz de los requerimientos de la propuesta de interconexión de los cinco SSR de San Pedro evidencia un conjunto de brechas y limitaciones que constituyen obstáculos significativos para la implementación de

soluciones innovadoras en el contexto rural chileno. Estas brechas se sintetizan en cuatro dimensiones técnicas críticas.

Brecha técnica 1 — Profundidad mínima de instalación poco realista para contextos rurales la sección 6.5.8 del Manual establece una profundidad mínima de 1,60 m medida sobre la clave de la tubería para la instalación de colectores de alcantarillado. Esta exigencia, heredada de las normas urbanas, resulta especialmente onerosa y de difícil aplicación en contextos rurales por tres razones. En primer lugar, los costos de excavación se incrementan exponencialmente con la profundidad, pudiendo representar entre el 40 y el 60% del costo total de la red en terrenos con suelos duros o con presencia de roca. En segundo lugar, esta profundidad no se corresponde con las cargas reales de tráfico vehicular existentes en caminos rurales, donde no transitan vehículos pesados que justifiquen una protección estructural tan exigente. En tercer lugar, en territorios con topografía irregular como el de San Pedro, mantener la profundidad mínima implica que las cámaras de inspección lleguen a alturas inviables: obligando en la práctica a la incorporación de plantas elevadoras intermedias o de plantas de tratamiento parciales que encarecen y complejizan el sistema. La experiencia internacional de alcantarillado condominial en Brasil, Bolivia y Paraguay opera con profundidades de entre 0,2 y 0,6 metros, demostrando la viabilidad técnica de menores profundidades cuando el sistema se diseña al interior de bloques de viviendas y bajo aceras o jardines donde no existen cargas de tráfico significativas.

Brecha técnica 2 - Diámetro mínimo de 180 mm excesivo para tramos iniciales rurales

la sección 6.5.5 del Manual establece un diámetro nominal mínimo de 180 mm para tuberías laterales y cañerías, con excepción acotada de 160 mm únicamente para pasajes sin posibilidad de extensiones futuras con tramos que no superen los 200 metros. Esta exigencia resulta sobredimensionada para los caudales reales esperados en tramos iniciales rurales, donde se atienden agrupaciones pequeñas de viviendas con caudales mínimos. El alcantarillado condominial utiliza habitualmente diámetros de entre 100 y 150 mm en sus ramales internos, lo que permite reducciones de costo de hasta un 40% en obra civil. La aplicación estricta del Manual DOH impediría implementar las soluciones de menor escala que la experiencia internacional valida como apropiadas para contextos rurales, generando una contradicción entre la búsqueda declarada de soluciones sostenibles para el mundo rural y la exigencia de estándares dimensionales propios del ámbito urbano.

Brecha técnica 3 - Ausencia de regulación específica para sistemas interconectados entre SSR

El Manual aborda los proyectos de saneamiento desde la perspectiva de un único SSR como titular del sistema, sin contemplar la posibilidad de que dos o más SSR compartan infraestructura de recolección, tratamiento o disposición final. No existen criterios técnicos para el dimensionamiento de colectores principales que atraviesen territorios de varios SSR, ni se definen requisitos para puntos de interconexión entre redes de distintos servicios, ni se regula la disposición compartida de lodos provenientes de plantas operadas por organizaciones diferentes. Esta omisión normativa genera incertidumbre técnica y administrativa para cualquier propuesta que, como la analizada en esta investigación, busque articular operativamente múltiples SSR bajo un esquema compartido. La sección 6.5.13 del Manual reconoce únicamente las soluciones particulares domiciliarias para casos de baja concentración de viviendas, pero no aborda la situación opuesta de coordinación intercomunitaria de infraestructura, que es precisamente el aporte innovador que esta investigación busca documentar.

Brecha técnica 4 — Ausencia de criterios de diseño para alcantarillado condominial el Manual no contempla el alcantarillado condominial como una alternativa tecnológica regulada, pese a ser una de las soluciones más eficaces y económicamente viables para contextos rurales de densidad media documentadas en la literatura internacional. La única referencia a soluciones de menor escala aparece en la sección 6.5.16, que admite alcantarillados al vacío con aprobación especial de la Subdirección de SSR, pero no establece criterios técnicos para sistemas condominiales gravitacionales de baja profundidad. Esta omisión significa que cualquier proyecto que opte por esta tecnología debe iniciarse necesariamente con un proceso de aprobación caso a caso, sin parámetros de diseño preestablecidos, lo que aumenta los plazos, costos y riesgos de la iniciativa. La incorporación del alcantarillado condominial como tecnología regulada en el Manual DOH constituiría un avance significativo para destrabar las soluciones de saneamiento rural en localidades de morfología similar a San Pedro.

La síntesis de estas cuatro brechas se presenta en la Tabla 12.3, que las relaciona con las disposiciones específicas del Manual y sus implicancias directas para el sistema analizado.

Tabla 12.3 Síntesis de brechas técnicas del Manual DOH para el caso de San Pedro.

Brecha	Disposición Manual DOH	Limitación identificada	Implicancia para San Pedro
Profundidad mínima	1,60 m sobre clave (sección 6.5.8)	Heredada de norma urbana, sobredimensionada para cargas rurales	Cámaras finales de hasta 25,72 m según perfil topográfico

Diámetro mínimo	180 mm en laterales (sección 6.5.5)	Sobredimensionado para caudales rurales reales	Impide soluciones condominiales (100–150 mm)
Interconexión de SSR	No contemplada en ninguna sección	Ausencia total de criterios técnicos	Inviabilidad normativa de propuesta multi-SSR
Alcantarillado condominial	Solo soluciones convencionales o al vacío (sección 6.5.16)	No regulado como tecnología	Aprobación caso a caso sin parámetros

Fuente: Elaboración propia basada en el Manual DOH del año 2023.

El conjunto de estas brechas técnicas constituye un factor crítico externo de alta relevancia para la implementación del sistema propuesto, ya que su no resolución obligaría a cualquier iniciativa futura a transitar procesos de aprobación especial caso a caso, sin parámetros de diseño preestablecidos, incrementando significativamente los plazos, costos y riesgos del proyecto. Existiendo la necesidad de una revisión del Manual de Proyectos de Aguas Servidas Rural de la DOH que incorpore explícitamente las soluciones de saneamiento de baja profundidad, los criterios de diseño para alcantarillado condominial y los lineamientos técnicos para la operación interconectada entre múltiples SSR.

FCE-E4: El Decreto Ley N°3.516 como factor territorial adverso

Un factor crítico externo de carácter estructural, frecuentemente omitido en los análisis de saneamiento rural, es el impacto del Decreto Ley N°3.516 de 1980 del Ministerio de Agricultura sobre la morfología territorial y la viabilidad de los sistemas colectivos de saneamiento. Este decreto establece que los predios rurales emplazados fuera de los límites urbanos pueden ser subdivididos libremente siempre que los lotes resultantes tengan una superficie no inferior a 5.000 m². Esta norma, concebida originalmente para regular la subdivisión agrícola, ha generado en la práctica un patrón de ocupación territorial disperso y fragmentado en las zonas rurales de Chile, con consecuencias directas sobre la viabilidad técnica y económica del saneamiento colectivo.

El mecanismo por el cual el DL N°3.516 afecta negativamente el saneamiento rural opera en dos dimensiones complementarias. En primer lugar, en los últimos años diversas zonas del país han experimentado un aumento importante en los registros de subdivisiones y en la comercialización de parcelas de 5.000 m² o más, proceso que genera asentamientos habitacionales en terrenos rurales con densidades bajas y distribución espacial irregular, incompatibles con la lógica de red colectiva que requiere el alcantarillado condominial. Una parcela de 5.000 m², equivalente a 0,5

hectáreas, implica que entre cada vivienda puede existir una distancia de hasta 70 metros lineales, valor que encarece exponencialmente el costo por vivienda conectada de cualquier sistema de recolección colectivo. En segundo lugar, el DL N°3.516 no evitó la expansión fuera de los límites urbanos ni aumentó la productividad agrícola, generando en cambio una suburbanización rural difusa que combina la dispersión propia de la ruralidad con densidades insuficientes para justificar inversiones en infraestructura sanitaria urbana, situando a estas zonas en un limbo normativo y técnico que las excluye tanto de las soluciones urbanas como de las rurales tradicionales.

Para el territorio de San Pedro este fenómeno es especialmente relevante, porque la categoría de zonas dispersas identificada en la sección 7.1, que concentra el 22% de las viviendas del área de estudio, corresponde precisamente al patrón de ocupación generado por subdivisiones amparadas en el DL N°3.516. La dispersión de estas viviendas no es una condición natural del territorio, sino el resultado de un marco normativo que permite y estimula la ocupación fragmentada del suelo rural sin exigir ningún estándar de dotación de servicios sanitarios, trasladando a los futuros propietarios y a los SSR el costo de resolver una situación que la normativa de subdivisión contribuyó a crear.

FCE-E5: La brecha entre ordenamiento territorial y gestión del agua en Chile

La situación descrita en el factor anterior refleja una brecha estructural del sistema normativo chileno: la ausencia de integración entre las políticas de ordenamiento territorial y la planificación de la gestión del agua y el saneamiento en zonas rurales. Esta brecha ha sido ampliamente documentada en la literatura internacional como uno de los principales obstáculos para la implementación sostenible de sistemas de saneamiento rural.

Stańczuk-Gałwiaczek et al. (2018), en su investigación sobre la integración de la gestión del agua y la consolidación de tierras en Polonia y los Países Bajos, demuestran que la planificación conjunta del uso del suelo y la infraestructura hídrica no solo mejora la eficiencia de los sistemas de saneamiento, sino que reduce los costos de inversión y aumenta la resiliencia de las comunidades rurales frente al cambio climático. Los autores documentan cómo en ambos países europeos los procesos de consolidación y reordenamiento de tierras rurales fueron utilizados como oportunidades para rediseñar simultáneamente los sistemas de drenaje, saneamiento y gestión de aguas lluvias, integrando la planificación territorial con la infraestructura hídrica desde el nivel de cuenca hasta el nivel predial. Esta integración permitió optimizar el trazado de las redes de saneamiento en función de la morfología territorial resultante del reordenamiento predial, reduciendo las distancias entre viviendas y los costos de conexión de manera significativa.

El contraste con la realidad chilena es elocuente. Mientras en Polonia y los Países Bajos la consolidación de tierras y la gestión del agua se planifican de manera coordinada como política de Estado, en Chile el DL N°3.516 permite la subdivisión rural sin ningún requisito de dotación de servicios sanitarios ni de compatibilidad con los sistemas de agua potable y saneamiento existentes o proyectados en la zona. Los SSR que operan en territorios afectados por subdivisiones bajo esta norma se ven obligados a dar cobertura a viviendas dispersas cuya localización fue determinada por un marco normativo ajeno a cualquier consideración de gestión del agua, asumiendo costos de infraestructura que se multiplican con cada nuevo lote que se incorpora al territorio en condiciones de dispersión creciente.

Para San Pedro, la aplicación del enfoque integrado propuesto por Stańczuk-Gałwiaczek et al. (2018) implica reconocer que la solución al problema del saneamiento en las zonas dispersas no puede abordarse exclusivamente desde la ingeniería sanitaria, sino que requiere una política territorial que vincule la aprobación de nuevas subdivisiones bajo el DL N°3.516 con la existencia y capacidad de los sistemas de saneamiento disponibles en la zona. Esta vinculación constituye un factor crítico de éxito de largo plazo para la sostenibilidad del sistema propuesto: sin ella, cada nueva subdivisión aprobada en el territorio añadirá viviendas dispersas que los SSR deberán atender con soluciones individuales de mayor costo, erosionando progresivamente la economía de escala que hace viable el sistema colectivo.

FCE-E6: Ausencia de Plan Regulador Comunal aprobado en San Pedro

Según el PLADECO 2022-2025 de San Pedro (I. Municipalidad San Pedro, 2022), el Plan Regulador Comunal se adjudicó para su elaboración en el año 2009, pero diversas situaciones, como cambios en la legislación ambiental, han impedido su aprobación y publicación oficial hasta la fecha. Esta ausencia constituye un factor crítico externo para cualquier proyecto de infraestructura sanitaria en el territorio, ya que los procesos de crecimiento y extensión urbana se rigen exclusivamente por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), instrumento de escala regional que define para San Pedro la existencia de un Área Urbanizada y un Área Urbanizable de Desarrollo Prioritario. La inexistencia de un PRC vigente genera incertidumbre territorial sobre la localización futura de la demanda por saneamiento, dificultando la planificación de redes y plantas de tratamiento que deben dimensionarse considerando horizontes de 20 años. Para el sistema propuesto, esta brecha implica que el dimensionamiento de la Etapa 3 y la proyección de fosas sépticas comunitarias en zonas dispersas se desarrolla sin un marco territorial de referencia que permita anticipar dónde se materializará el crecimiento poblacional, debilitando la base técnica de cualquier proyección de demanda.

FCE-E7: El PRMS y la definición de zonas urbanizables sobre San Pedro

El Plan Regulador Metropolitano de Santiago establece para San Pedro la existencia de un Área Urbanizable de Desarrollo Prioritario, condición que habilita procesos de urbanización formal en sectores específicos del territorio. Esta definición tiene dos implicancias contradictorias para el saneamiento. Por una parte, en las áreas urbanizables el PRMS exige a los desarrolladores aportar infraestructura sanitaria como condición de urbanización, generando una potencial fuente de financiamiento privado que podría complementar los recursos públicos disponibles para los SSR. Por otra parte, la definición de zonas urbanizables sin coordinación con la capacidad técnica y operacional de los SSR existentes podría generar nuevas demandas de saneamiento en territorios donde la infraestructura proyectada no tiene capacidad de respuesta, generando presiones adicionales sobre organizaciones comunitarias que ya enfrentan brechas operacionales significativas. Esta tensión entre el ordenamiento territorial regional y la capacidad institucional local refleja la brecha estructural identificada en el FCE-E5.

FCE-E8: Conflicto entre el DL N°3.516 y la realidad territorial de San Pedro

El PLADECO 2022-2025 de San Pedro identifica explícitamente al Decreto Ley N°3.516 de 1980 como uno de los instrumentos normativos que rigen el ordenamiento territorial de la comuna, al permitir la subdivisión predial mínima de suelo agrícola en lotes de 5.000 m² con posibilidad de construir viviendas. El reconocimiento de esta normativa en el instrumento de planificación comunal evidencia que la dispersión territorial generada por subdivisiones bajo el DL N°3.516 no es un fenómeno ajeno o externo al territorio de San Pedro, sino una característica estructural reconocida por el propio municipio en su documento de planificación oficial. Este reconocimiento valida la pertinencia del análisis del FCE-E4 sobre el impacto adverso del DL N°3.516 en la viabilidad del saneamiento colectivo, y sugiere que cualquier proyecto futuro deberá considerar como variable estructural la continuidad del proceso de subdivisión predial amparado en esta norma. El PLADECO señala además que la población rural de la comuna creció de 3.633 a 4.300 viviendas entre 2011 y 2016, dinámica que se explica en parte por la activa subdivisión predial bajo el DL N°3.516, y que, de mantenerse, continuará incrementando la demanda por soluciones individuales de saneamiento en sectores cada vez más dispersos.

FCE-E9: Estado actual del saneamiento según el PLADECO

El PLADECO 2022-2025 documenta que actualmente solo el centro de la comuna y los villorrios La Mina y Nuevo Amanecer (ambos en El Yali) cuentan con red de alcantarillado, mientras que las demás localidades dependen de fosas sépticas individuales que requieren constante mantención. El instrumento de planificación comunal reconoce explícitamente que la planta de tratamiento de El Prado es muy

antigua y se rebalsa, provocando malos olores y escurrimiento de aguas servidas por el camino, incrementando la problemática de contaminación ambiental y la mala calidad de vida de los habitantes de la localidad. Este reconocimiento institucional confirma la urgencia de avanzar en soluciones integrales de saneamiento para los cinco sectores analizados, y valida la pertinencia del enfoque de interconexión propuesto como alternativa a la operación aislada de plantas pequeñas cuyo desempeño operacional ha demostrado ser deficiente.

12.6.4 Guía detallada de fases metodológicas para la replicación del modelo

Este anexo detalla las actividades, productos y responsables de las cinco fases metodológicas cuya síntesis se presenta en la

Tabla 7.16 de la sección 7.6.3.

Fase 1 - Diagnóstico territorial y organizacional

Esta fase equivale al trabajo desarrollado en los capítulos 1 al 6 de esta investigación y constituye la base de información sobre la cual se sustenta todo el proceso posterior. Su propósito es caracterizar el territorio, los SSR y las comunidades en las dimensiones relevantes para el diseño del sistema de saneamiento.

Tabla 12.4 Actividades de la Fase 1 - Diagnóstico territorial y organizacional.

Actividad	Descripción	Producto	Responsable
1.1 Catastro de SSR	Identificar todos los SSR presentes en el territorio, su figura jurídica, número de usuarios y situación de concesión	Registro de SSR candidatos	Equipo técnico + SISS
1.2 Caracterización territorial	Clasificar el territorio según morfología (concentrada, semiconcentrada, dispersa) mediante cartografía y trabajo de campo	Mapa de morfología territorial	Equipo técnico
1.3 Diagnóstico organizacional	Evaluar la capacidad técnica, administrativa y financiera de cada SSR mediante encuesta y entrevistas	Informe de brechas por SSR	Equipo técnico + SSR
1.4 Percepción comunitaria	Consultar a las comunidades sobre su disposición al saneamiento y capacidad de pago mediante instrumento validado	Informe de percepción	Equipo técnico + comunidades
1.5 Revisión normativa	Identificar la regulación vigente aplicable al territorio específico, incluyendo el impacto del DL N°3.516	Marco normativo territorial	Equipo técnico

Fuente: Elaboración propia.

Fase 2 — Selección tecnológica

Esta fase replica la metodología desarrollada en la sección 7.2, adaptando los criterios de evaluación a las condiciones específicas del territorio en análisis. Su propósito es identificar la tecnología más adecuada para cada morfología territorial, asegurando coherencia con la normativa vigente y la capacidad de gestión de los SSR locales.

Tabla 12.5 Actividades de la Fase 2 - Selección tecnológica.

Actividad	Descripción	Producto	Responsable
2.1 Definición de criterios	Adaptar los criterios técnicos, económicos, normativos y de gestión al contexto territorial específico	Matriz de criterios ponderados	Equipo técnico + panel de expertos local
2.2 Evaluación de alternativas	Aplicar la matriz multicriterio a las tecnologías preseleccionadas para cada morfología	Matriz de evaluación tecnológica	Equipo técnico
2.3 Validación con SSR	Someter los resultados de la evaluación a revisión de los SSR y las comunidades	Acta de validación	SSR + comunidades
2.4 Selección tecnológica	Formalizar la decisión tecnológica diferenciada por morfología territorial	Informe de selección tecnológica	SSR + equipo técnico

Fuente: Elaboración propia.

Fase 3 - Diseño del sistema

Esta fase replica la metodología de las secciones 7.1 y 7.2, adaptando el diseño conceptual a la morfología territorial y las tecnologías seleccionadas en la fase anterior. Su producto central es la propuesta de sistema de saneamiento diferenciado e interconectado para el territorio específico.

Tabla 12.6 Actividades de la Fase 3 - Diseño del sistema.

Actividad	Descripción	Producto	Responsable
3.1 Diseño componente de red	Definir el esquema troncal y las redes de recolección para zonas concentradas y semiconcentradas, definiendo etapas de implementación	Esquema de red por etapas	Equipo de ingeniería
3.2 Diseño componente no convencional	Definir ubicación y capacidad de fosas sépticas comunitarias para zonas dispersas	Distribución de unidades	Equipo de ingeniería
3.3 Diseño plantas de tratamiento	Dimensionar y ubicar las plantas de tratamiento según caudales proyectados	Esquema de plantas de tratamiento	Equipo de ingeniería
3.4 Esquema de interconexión	Definir los puntos de integración entre componentes y los flujos de coordinación operativa entre SSR	Esquema de interconexión	Equipo técnico

Fuente: Elaboración propia.

Fase 4 - Evaluación de factibilidad y modelo de gestión

Esta fase integra las metodologías de las secciones 7.3 y 7.4, evaluando la viabilidad del sistema diseñado y proponiendo el modelo de gobernanza adecuado para su operación conjunta.

Tabla 12.7 Actividades de la Fase 4 - Evaluación de factibilidad y modelo de gestión.

Actividad	Descripción	Producto	Responsable
4.1 Evaluación de factibilidad técnica	Verificar compatibilidad del diseño con condiciones territoriales y normativas	Informe de factibilidad técnica	Equipo técnico
4.2 Evaluación de factibilidad económica	Estimar CAPEX y OPEX, identificar fuentes de financiamiento y estimar tarifa de sostenibilidad	Informe de factibilidad económica	Equipo técnico + SSR
4.3 Evaluación de factibilidad de gestión	Identificar brechas organizacionales y definir plan de fortalecimiento institucional	Informe de brechas y plan de fortalecimiento	Equipo técnico + SSR
4.4 Diseño del modelo de gestión	Proponer la estructura de gobernanza cooperativa adaptada al contexto local, sustentada en el DFL N°5/2003	Propuesta de modelo de gestión	Equipo técnico + SSR + asesoría jurídica
4.5 Postulación a financiamiento	Preparar y presentar proyectos de inversión ante MOP, SUBDERE y GORE	Proyectos de inversión presentados	SSR + cooperativa de segundo grado

Fuente: Elaboración propia.

Fase 5 - Implementación y puesta en marcha

Esta fase corresponde a la ejecución del modelo, cuya planificación detallada excede el alcance de esta investigación, pero cuyos hitos principales pueden anticiparse a partir de los resultados del caso de San Pedro.

Tabla 12.8 Actividades de la Fase 5 - Implementación y puesta en marcha.

Actividad	Descripción	Producto	Responsable
5.1 Transformación jurídica SSR	Transformar los comités APR en cooperativas de primer grado	Cooperativas de primer grado constituidas	SSR + Depto. Cooperativas
5.2 Constitución cooperativa de segundo grado	Constituir la cooperativa de segundo grado e inscribirla en el Registro de Cooperativas	Cooperativa de segundo grado operativa	SSR + asesoría jurídica
5.3 Habilitación ante SISS	Obtener habilitación de la cooperativa de segundo grado como operador de saneamiento	Resolución de habilitación SISS	Cooperativa de segundo grado + SISS
5.4 Ejecución de obras	Construir el sistema de saneamiento por etapas según el diseño aprobado	Sistema de saneamiento construido	Empresa constructora + supervisión técnica
5.5 Capacitación de operadores	Capacitar al personal de los SSR en la operación y mantención del sistema	Operadores certificados	SUBDERE + MOP + SSR
5.6 Puesta en marcha	Iniciar la operación del sistema y la facturación del servicio de saneamiento	Sistema operativo y tarifa vigente	Cooperativa de segundo grado

Fuente: Elaboración propia.

12.7 Imágenes ilustrativas de ejemplo creadas con IA

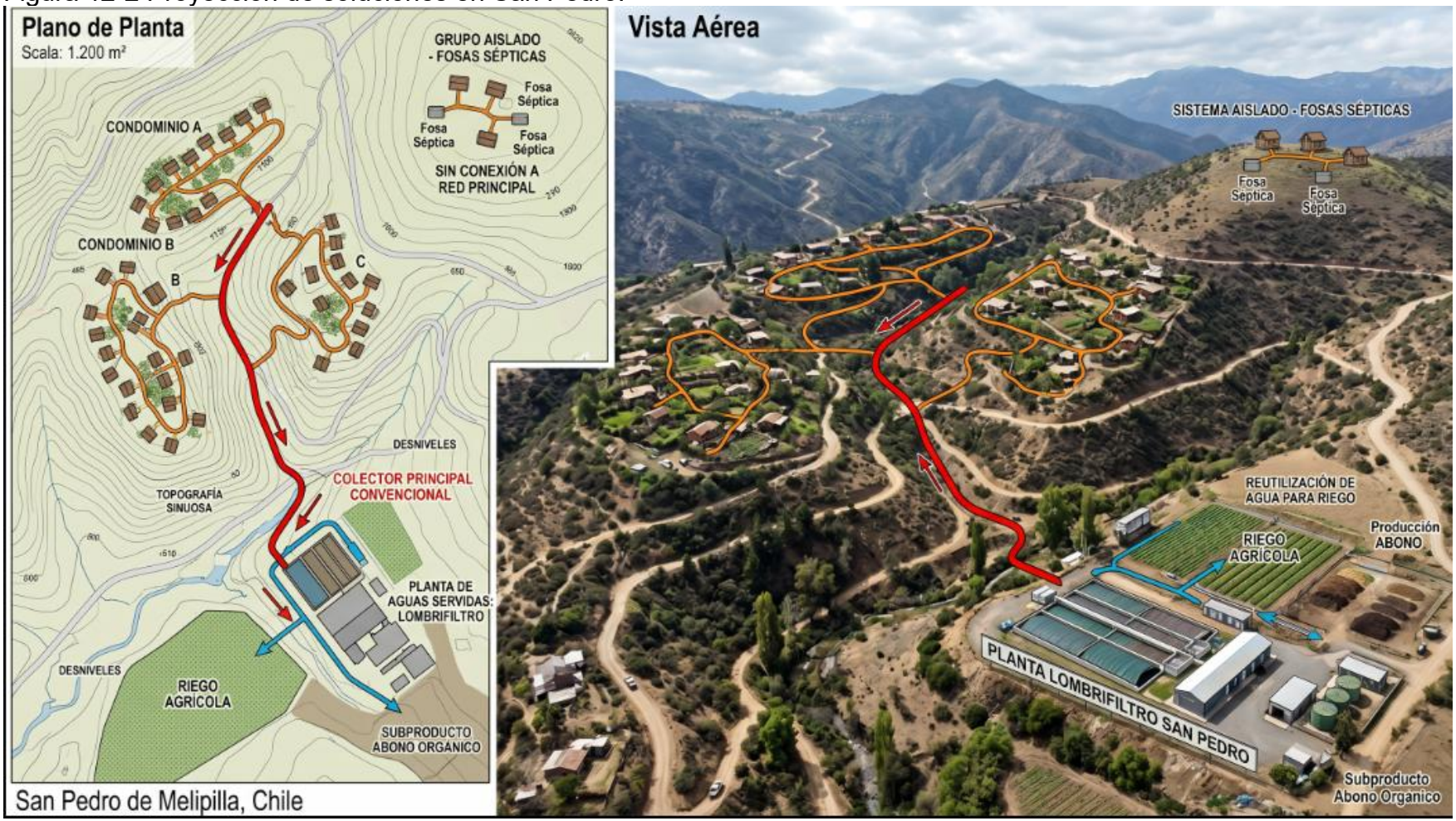
A continuación, se presentan figuras creadas con IA para ejemplificar las proyecciones.

Figura 12-1 Ejemplo Colectores condominiales conectados a colector convencional.



Fuente: Generado con el programa de IA Gemini de Google, el 5 de julio de 2026 por Miguel Cisternas. (Cisternas, 2026).

Figura 12-2 Proyección de soluciones en San Pedro.



Fuente: Generado con el programa de IA Gemini de Google, el 5 de julio de 2026 por Miguel Cisternas. (Cisternas, 2026).

12.8 Figuras complementarias del modelo

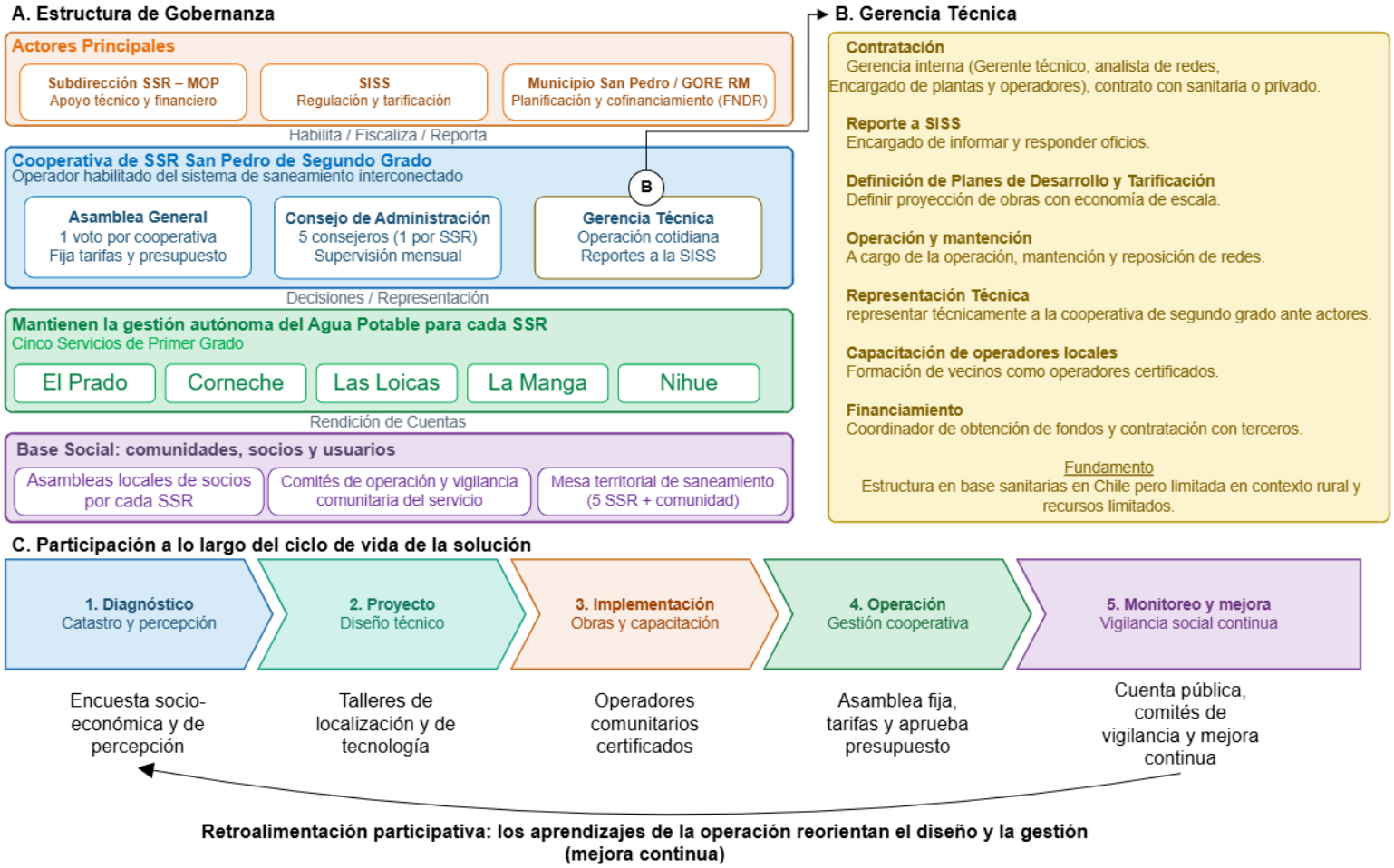
En este anexo se indican las tres figuras de síntesis del modelo propuesto, citadas en la sección 7.7.1 del capítulo de resultados.

La Figura 12.3 integra tres planos: (a) la estructura de gobernanza en cuatro niveles —actores habilitantes externos, cooperativa de segundo grado, cinco cooperativas de primer grado y base social—; (b) los mecanismos de participación comunitaria; y (c) el despliegue de la participación a lo largo del ciclo de vida de la solución, con un lazo de retroalimentación que conecta el monitoreo con el rediseño (citada en la sección 7.8.1).

La Figura 12.4 sintetiza el modelo replicable en tres planos: las condiciones de entrada (criterios de elegibilidad obligatorios y complementarios), el proceso metodológico en cinco fases y la arquitectura de la solución diferenciada por morfología territorial (citada en la sección 7.6.5).

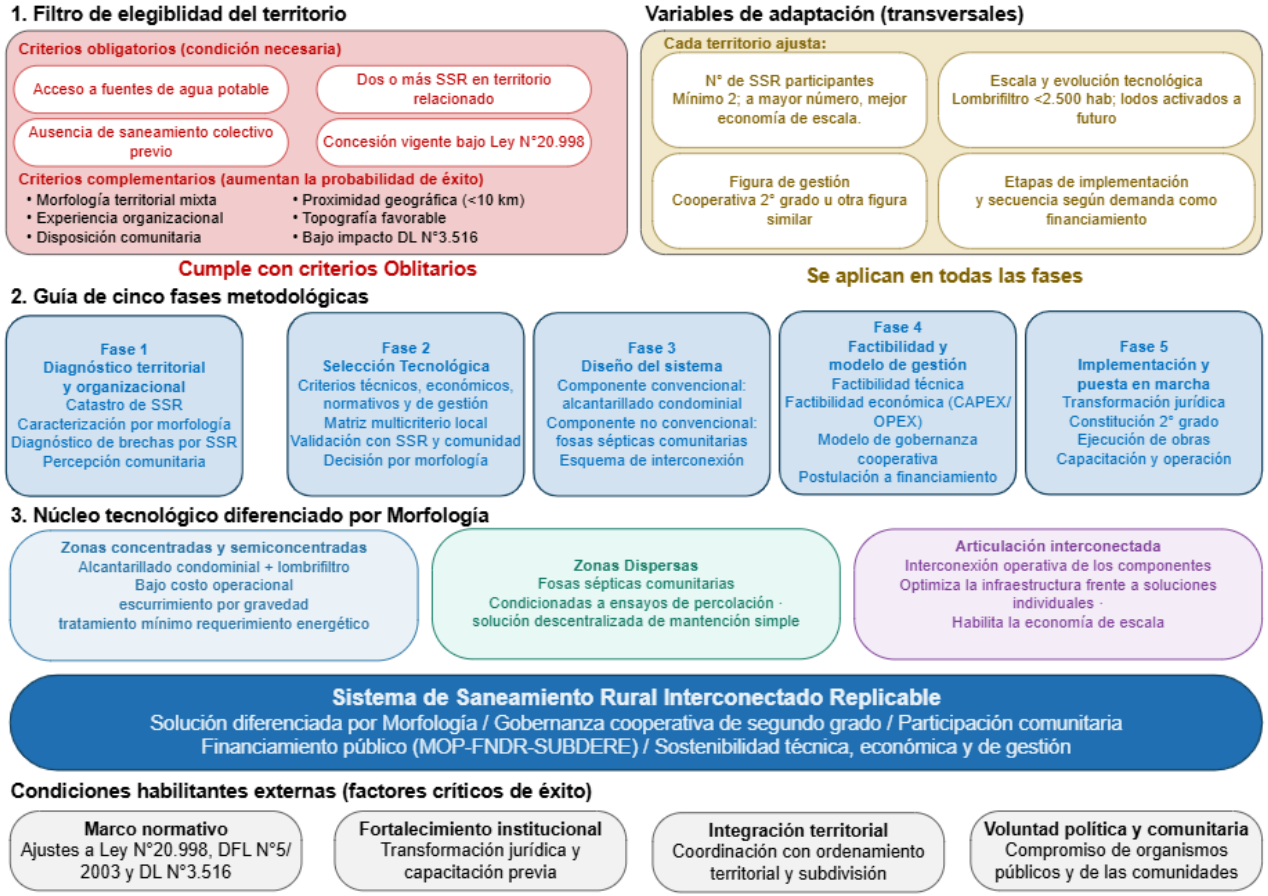
La Figura 12.5 sitúa la propuesta en la trayectoria de desarrollo de la gestión del agua rural, en la que el paso desde el saneamiento individual hacia el saneamiento colectivo interconectado constituye el quinto de seis estados de transición del territorio (citada en recomendaciones).

Figura 12-3 Modelo de gobernanza participativa del saneamiento rural interconectado.



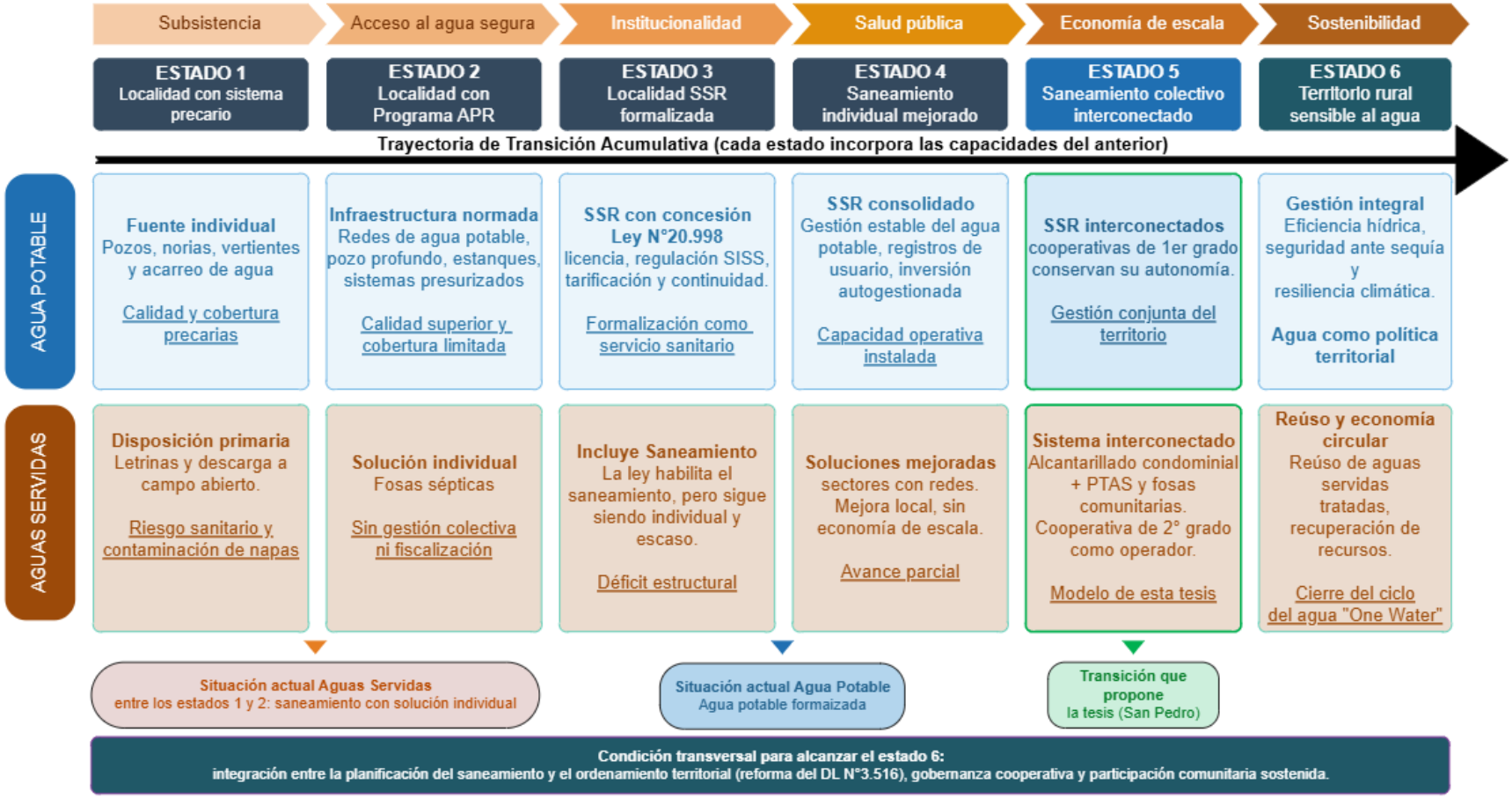
Fuente: Elaboración propia.

Figura 12-4 Esquema del modelo replicable de saneamiento rural interconectado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12-5 Transiciones de la gestión del agua rural: del abastecimiento individual al saneamiento interconectado.



Fuente: Elaboración propia.