



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DEL INTERIOR
SUBDERE

MANUAL DE SOLUCIONES DE SANEAMIENTO SANITARIO PARA ZONAS RURALES

DIVISIÓN DE DESARROLLO REGIONAL

Departamento de Gestión de Inversiones
Manual de Trabajo

1
OCTUBRE



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DEL INTERIOR
SUBDERE

MANUAL DE SOLUCIONES DE SANEAMIENTO SANITARIO PARA ZONAS RURALES

DIVISIÓN DE DESARROLLO REGIONAL

Departamento de Gestión de Inversiones
Manual de Trabajo





© 2009, Subsecretaría de Desarrollo
Regional y Administrativo

Coordinación y Edición Textos

División Desarrollo Regional
Departamento de Gestión de Inversiones
Programa PIRDT

Asesoría en Producción Gráfica

Centro de Documentación y Publicación
CEDOC

Diseño y Diagramación

Simple! Comunicación
www.simplecomunicacion.cl

Impresión

Maval Impresores

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines no comerciales, por cualquier medio o procedimiento, siempre que se incluya la cita bibliográfica del documento.



ÍNDICE

<i>Presentación</i>	6
<i>Ficha PIRDT</i>	8

Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales

<i>1. Introducción</i>	12
<i>2. Legislación, reglamentación, normativa y exigencias</i>	13
2.1 / Agua potable rural	13
2.2 / Saneamiento rural	17
2.2.1 / Instituciones involucradas	17
2.2.2 / Marco regulatorio legal aplicable al sector urbano y rural	19
2.2.3 / Normativa vigente	20
<i>3. Catastro institucional</i>	23
<i>4. Determinación de la población objetivo de soluciones de abastecimiento de agua potable y saneamiento rural</i>	24
4.1 / Introducción	24
4.2 / Determinación de la población objetivo de saneamiento	26
4.2.1 / Información básica	26
4.2.2 / Estructuración de la población objetivo	29
<i>5. Alternativas de solución de abastecimiento de agua potable en comunidades rurales con Población concentrada, semiconcentrada o dispersa</i>	31
5.1 / Generalidades	31
5.2 / Fuentes de abastecimiento de agua potable y componentes unitarias requeridas de tratamiento	31
5.3 / Bases de cálculo generales	33
5.4 / Características y tamaño de la solución de los sistemas de abastecimiento de agua potable	33
5.5 / Generación de alternativas de solución	34
<i>6. Recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas</i>	36
6.1 / Introducción	36
6.2 / Evaluación de alternativas de recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas	36
6.2.1 / Sistemas rurales descentralizados	36
6.2.1.1 / Análisis de condiciones de borde en sistemas rurales descentralizados	36
6.2.1.2 / Variables asociadas al tratamiento en sistemas descentralizados de aguas residuales	37
6.2.1.3 / Principales características de las alternativas de tratamiento en sistemas descentralizados de aguas residuales	40



6.2.1.3.1 / Fosas sépticas	40
6.2.1.3.2 / Otras soluciones individuales	45
6.3 / Análisis crítico de las alternativas de tratamiento y su aplicabilidad a sistemas descentralizados	47
6.4 / Sistemas rurales centralizados	50
6.4.1 / Análisis de alternativas de tratamiento y adopción de las mismas	51
6.4.2 / Costos de inversión, operación y mantenimiento	65
6.5 / Principales conclusiones	71
7. Definición ámbito rural.....	72
7.1 / Servicios de agua potable rural	74
7.2 / Aspectos relevantes a considerar en el ámbito social	75
8. Determinación de tarifa mínima para agua potable y aguas servidas.....	79
8.1 / Introducción	79
8.2 / Metodología de cálculo Ap y As	80
8.3 / Cálculo de tarifas mínimas agua potable rural (ap)	81
8.4 / Cálculo de tarifas mínimas tratamiento de aguas servidas	83
9. Conclusiones y recomendaciones generales.....	87
9.1 / Introducción	87
9.2 / Definición de la organización	89
9.3 / Responsabilidad del estado en garantizar que las cooperativas cumplan su labor	93
Apéndice 1 – Soluciones de agua potable	95
Apéndice 2 – Inversión promedio de soluciones de agua potable.....	99
Apéndice 3 – Lay Out de las soluciones.....	109
Apéndice 4 – Detalle de costos de inversión, operación y mantenimiento.....	115
Apéndice 5 – Sistemas de tratamiento de aguas servidas en base a la tecnología "Sistemas Toha".....	119

Guía de Diseño Sistemas de Agua Potable Rural

1. Introducción.....	126
2. Actividades de terreno a realizar. Antecedentes generales.....	127
2.1 Antecedentes generales de la localidad	127
2.2 Fuente de abastecimiento	128
2.3 Levantamiento topográfico	129



2.4	Nivelaciones	130
2.5	Materialización de puntos de referencia	130
2.6	Pozos de reconocimiento	130
3. Bases de cálculo.....		131
3.1	Proyección de población	131
3.2	Dotación de consumo de agua potable	131
3.3	Período de previsión	131
3.4	Coefficientes de consumo. Tiempo de bombeo	132
3.5	Desinfección	132
3.6	Volumen de regulación	132
3.7	Presiones de servicio en la red de distribución	133
3.8	Válvulas	133
3.9	Conexiones domiciliarias	133
3.10	Materiales a emplear	134
3.11	Trazados generales	134
4. Aspectos económicas.....		134
4.1	Costos de operación	134
5. Estructuración y contenidos del diseño.....		136
5.1	Anteproyecto	136
5.2	Proyecto	143

Guía de Criterio de Diseño Aguas Servidas

1. Introducción.....	150
2. Evaluación de alternativas de recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas.....	151
2.1 / Sistemas rurales descentralizados	151
2.2 / Sistemas rurales centralizados	162
2.2.1 / Alternativas de tratamiento de aguas servidas	163
2.2.1.1 / Sistemas de tratamiento fisicoquímico	163
2.2.1.2 / Sistemas biológicos no convencionales	166
2.2.1.3 / Sistemas biológicos en base a cultivo fijo	166
2.2.1.4 / Sistemas biológicos en base a cultivo suspendido	168
2.2.2 / Análisis crítico de las alternativas de tratamiento de aguas servidas aplicables a comunidades rurales	177
2.2.3 / Alternativas de tratamiento de aguas servidas aplicables a comunidades rurales	178
2.2.4 / Criterios de diseño de las soluciones de tratamiento adoptadas	185
3. Recomendación final.....	199

Presentación libro “Manual de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales”



Apoyar el crecimiento de las localidades rurales, potenciando el desarrollo de la capacidades productivas de los territorios en post de hacerlos sustentables en el tiempo, es el objetivo con que el Programa de Infraestructura Rural para el Desarrollo Territorial (PIRDT) partió en el 2004.

Junto al histórico diagnóstico de que Chile presenta un retraso en la provisión de infraestructura en las zonas rurales, surge la necesidad de generar instancias y coordinar esfuerzos para reducir esta brecha. Es por ello que el Gobierno de Chile en conjunto con el Banco Mundial acordó un plan de trabajo, el cual se tradujo en un crédito gestionado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) para enfrentar este problema.

Cuando nació este proyecto en el sector público no existía una mirada común para enfrentar las necesidades de infraestructura de saneamiento en el territorio no urbano de Chile. La lejanía de esta población de los principales centros de servicio en cada región impedía llegar con soluciones de calidad, a bajo costo, sostenibles en el tiempo, que permitieran el desarrollo de las comunidades.

El Departamento de Gestión de Inversiones por medio de la consultora Kristal Ingeniería Ambiental, efectuó un estudio para reconocer las principales carencias de la provisión de servicios básicos de agua y saneamiento explorando las tecnologías más factibles dependiendo de la ubicación y las necesidades de la zona a intervenir. En pro de vincular este requerimiento con un eje productivo que permitiera aportar no sólo infraestructura básica sino que también crecimiento a las localidades rurales.

El resultado de este estudio culminó en la recopilación de una nueva metodología. Hoy el departamento de gestión de inversiones en conjunto con el Banco Mundial puede afirmar que ha construido un sistema que ha permitido integrar la demanda y la oferta de soluciones apropiadas de saneamiento sanitario y agua potable rural.

Esta experiencia metodológica se plasma en este documento que no sólo analiza la normativa vigente para las soluciones sanitarias rurales, sino que aporta un modelo para estimar la demanda, lograr la aprobación técnica de los organismos responsables, y culminar desde el punto de vista social y económico con una obra sostenible en el tiempo.

Esperamos que sea utilizado como una herramienta de trabajo por la extensa red de agentes públicos y comunitarios que hoy participan del diseño y gestión de soluciones de saneamiento sanitario.

Mahmud Aleuy Peña y Lillo
Subsecretario de Desarrollo Regional y Administrativo



Ficha PIRDT

El objetivo del Programa de Infraestructura Rural para el Desarrollo Territorial (PIRDT) es apoyar a comunidades de productores rurales de escasos recursos, que tengan déficit de infraestructura en las regiones de Coquimbo, Maule, Bío Bío, La Araucanía, Los Lagos y Los Ríos.

Para ello el PIRDT identifica a comunidades de productores rurales y apoya a estos emprendimientos, financiando la preinversión y la ejecución de infraestructura que mejore las posibilidades de la producción local.

Adicionalmente el Programa apoya la coordinación de otras inversiones públicas y privadas que cooperen al fortalecimiento de la competitividad de dichos productores.

El Programa dirige su trabajo hacia comunidades de productores rurales, cuyas limitaciones o carencias de infraestructura generan un obstáculo para su productividad o la rentabilidad de sus emprendimientos.

Los componentes del programa son:

- *La Planificación Territorial Participativa a través de la formulación de Planes Marco de Desarrollo Territorial (PMDT).*
- *La Inversión en Infraestructura Rural y los estudios de preinversión.*
- *El Fortalecimiento de la Institucionalidad involucrada en el desarrollo del Programa.*

La planificación territorial participativa implica la detección de usos y potencialidades productivas sustentables para el territorio, preparación de catastros, mapeos de recursos, programas de servicios públicos, demandas de las comunidades, identificación del déficit de infraestructura rural, elaboración de Planes Estratégicos Territoriales de inversiones priorizadas y, finalmente, suscripción de convenios entre los territorios y los gobiernos regionales.

La inversión en Infraestructura Rural comprende gestión de proyectos de agua potable, saneamiento, electrificación, caminos, obras portuarias y telecomunicaciones.

El desarrollo de la Institucionalidad implica instalar capacidades y un modelo de gestión local de las inversiones y servicios, proveyendo una base para implementar reformas institucionales de largo plazo sobre los procedimientos en que los servicios de infraestructura rural son planificados, financiados y entregados a su operación regular en el país.

En agua potable:

- Rehabilitación de sistemas existentes de Agua Potable Rural.
- Construcción de sistemas de provisión de agua potable.
- Construcción de sistemas aislados de provisión de agua potable (pozos o captación de agua).
- Fortalecimiento de mecanismos de gestión de los Comités de Agua Potable Rural a través de asistencia técnica.

En saneamiento:

- Sistemas de saneamiento: recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas para soluciones individuales y colectivas.
- Fortalecimiento de mecanismos de gestión a través de asistencia técnica.

En electrificación:

- Mejora de la calidad de los servicios actuales (servicio continuo, o incremento de línea monofásica a trifásica).
- Construcción de sistemas aislados como generadores, paneles solares, energía eólica, entre otros.
- Fortalecimiento de mecanismos de gestión de sistemas aislados a través de asistencia técnica.

En conectividad:

- Rehabilitación de caminos secundarios o vecinales existentes.
- Obras Portuarias.

En telecomunicaciones y tecnologías de información:

- Expansión de la red de acceso secundaria de telecomunicaciones
- Fondos regionales para el apoyo a la construcción de telecentros, conexión de escuelas a Internet, etc.
- Fortalecimiento, a través de asistencia técnica, de sistemas de mecanismos gestión de telecentros, y uso de las Tecnología de Información y Comunicación (TIC).





"Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales"

Puente

1. Introducción

La División de Desarrollo Regional de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, en el marco del Programa de Infraestructura Rural para el Desarrollo Territorial (PIRDT), ha impulsado el desarrollo del estudio “Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales”¹, el que tiene como objetivo principal normalizar las soluciones de carácter sanitario en asentamientos rurales (poblaciones con menos de 1.000 habitantes).

La normalización de las alternativas técnicas de solución encontradas para su aplicación a los distintos escenarios del ámbito rural, contempla soluciones sostenibles en el tiempo, en principio operadas y administradas por los mismos beneficiarios. Al respecto, se debe destacar que las soluciones que deban dar cuenta de poblaciones no dispersas, exigirán que la operación y administración por parte de la población beneficiada se efectúe bajo un sistema definido (Comité, Cooperativa) que cuente con Regulación Orgánica establecida y adecuada a sus objetivos.

Los objetivos específicos más importantes del estudio son los siguientes:

- Analizar la legislación, reglamentación, normativa y exigencias existentes respecto a las soluciones sanitarias para el ámbito rural atingentes al presente estudio.
- Estimar la demanda de soluciones de agua potable y saneamiento rural en términos territoriales y diversos escenarios de población involucrada.
- Analizar y Seleccionar las alternativas más adecuadas de solución de abastecimiento de agua potable y tratamiento y disposición de aguas servidas en comunidades rurales semiconcentradas o dispersas, considerando aspectos técnicos, financieros, sociales y ambientales.
- Identificar las obras necesarias y definición de diseños tipo para los sistemas de saneamiento en el ámbito rural para ser sometidos a la aprobación técnica de los organismos responsables.
- Proponer, desde el punto de vista social-técnico-económico, los requisitos necesarios para dar a las soluciones planteadas sostenibilidad en el tiempo, caracterizando a la organización que debiera recibir la infraestructura construida.

¹ Este estudio se encuentra disponible como documento técnico de trabajo en la página www.subdere.gov.cl
La presente edición contiene el manual actualizado a agosto 2009.

2. Legislación, Reglamentación, Normativa y Exigencias

En este punto se describe la legislación, reglamentación, normativa y exigencias existentes respecto a las soluciones sanitarias para el ámbito rural que se encuentran vigentes a la fecha, tanto en lo referido a la producción, tratamiento y distribución de agua potable como recolección, disposición y tratamiento de las aguas servidas.



2.1 / Agua Potable Rural

En lo referido al Agua Potable del Sector Rural, la primera conclusión global que se puede extraer una vez efectuado el desarrollo de las principales actividades del estudio, es que no existe ninguna Institución del Estado con competencia exclusiva en materia de servicios sanitarios en el sector.

Después de 40 años en que se suministra agua potable en el sector rural, dicho Programa se sigue llevando adelante solamente con la voluntad política del Gobierno y parlamentarios de los distritos rurales. Al respecto, cabe destacar que las localidades rurales no fueron incluidas en la Ley Sanitaria que fijó la institucionalidad del Sector Sanitario, debido probablemente a que los servicios rurales no tendrían capacidad de autofinanciamiento. De hecho, las Empresas Sanitarias actualmente atienden sólo el sector Urbano (donde vive el 85% de la población) y se rigen por la Ley Sanitaria y una institución reguladora (Superintendencia de Servicios Sanitarios).

En el sector Rural, el sistema funciona mediante Comités y Cooperativas, los que son fiscalizados por el Ministerio de Salud en lo referido a la calidad de servicio y también por el Departamento de Cooperativas del Ministerio de Economía en el caso de las Cooperativas. El funcionamiento de las Cooperativas y Comités de Agua Potable Rural ha ayudado fuertemente a mejorar la organización social de la población rural en términos de solidaridad, participación y fomento del desarrollo de otras organizaciones. Sin embargo, se pudo apreciar que cuando las localidades crecen por encima de cierto tamaño, la relación de los usuarios con el Comité tiende a asemejarse más a la que se tiene en el área Urbana con una empresa sanitaria.

Otra debilidad del Sistema Rural es su alta dependencia del Estado, puesto que si bien está previsto que éste invierta en la infraestructura, tiene que disponer adicionalmente recursos por los siguientes conceptos.

- Asesoría a los Comités prácticamente en forma permanente.
- Rehabilitaciones y mejoramientos (generados por problemas de mantenimiento de las obras ante un inadecuado cuidado por parte del Comité).
- Falta de pago del servicio sea por nivel de pobreza de la población rural o por el hecho que la asamblea de la Cooperativa no acepta subir las tarifas en beneficio de los usuarios por debajo del valor de un mínimo aceptable para el buen funcionamiento del sistema.

A la luz de lo anterior, y a objeto de asegurar continuidad en el funcionamiento y desarrollo de los servicios sanitarios del sector rural, el país requiere a juicio de este estudio una “Institucionalidad del Sector” (tal como en otro momento de la historia se desarrolló exitosamente para el sector urbano), donde esté claramente separado el rol de la explotación y prestación de los servicios con respecto al rol regulador del Estado.

El mejor ejemplo ilustrativo lo constituyen las empresas sanitarias concesionarias del servicio de agua potable y de la recolección y disposición de aguas servidas en el sector urbano, las que son fiscalizadas y controladas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), que es el organismo encargado de establecer normas, otorgar las concesiones (asociadas a un determinado territorio operacional), aprobar los planes de desarrollo de las empresas sanitarias y fijar las tarifas del sector. Las empresas deben dar cumplimiento a su Plan de Desarrollo y tienen la obligatoriedad de dar servicio en su área de concesión y la tarifa que cobran se fija con el criterio de Costo Marginal de Largo Plazo. El marco legal del sector sanitario está principalmente constituido por los siguientes cuerpos legales: Ley General de Servicios Sanitarios (DFL N° 382/88), Ley de Tarifas de Servicios Sanitarios (DFL MOP N° 70/88), Ley de Subsidio al pago de consumo de agua potable y servicio de alcantarillado (Ley N° 18.778) y Ley que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios (Ley 18.902).

A los servicios de Agua Potable Rural (APR) se les aplica parcialmente la normativa contenida en el DFL N° 382, de 1988, del MOP, Ley General de Servicios Sanitarios; estando excluidos del régimen de explotación bajo concesión y del régimen tarifario aplicado a los servicios públicos que entregan el servicio a través de las redes exigidas por la urbanización (empresas sanitarias concesionarias).

Los proyectos de Agua Potable Rural surgen del Programa de Inversiones elaborado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), sin perjuicio de que a lo largo de su desarrollo la participación de otras

instituciones en el desarrollo de los APR es cada vez mayor. La propiedad de los sistemas de APR es estatal y la administración y operación de los mismos está a cargo principalmente de sistemas de administración comunitaria, constituidos en Comités o Cooperativas asociados a cada sistema o servicio de APR. Una componente clave en la estructura organizacional del Programa de APR es la Unidad Técnica, la que actúa a nivel regional y que básicamente en la mayoría de los casos es delegada en la Empresa Sanitaria de la región y en algunas regiones a la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), aún cuando en algunas localidades, los municipios se responsabilizan de esta tarea. Estos organismos técnicos son contratados para prestar asesoría técnica y en su calidad de tales, son responsables de la ejecución del proyecto (desde su fase de preinversión hasta la recepción de la obra) y de la Asistencia Técnica al Comité de APR durante la operación del proyecto ejecutado.



Instalación Sistema de Agua Potable Rural. Curanue, Región de Los Lagos.



Instalación Sistema de Agua Potable Rural de Oruro Alto. Ovalle, Región de Coquimbo.





2.2 / Saneamiento Rural

Actualmente, algunas localidades rurales organizadas que tienen resuelto su servicio de abastecimiento de agua potable y cuyo comité de administración funciona adecuadamente, han avanzado por iniciativas municipales en la solución de los sistemas de alcantarillado, con algún tipo de solución de tratamiento y disposición de las aguas servidas (fosa séptica y pozo de infiltración) para las localidades pequeñas y sistema de tratamiento más convencional en aquellas donde es posible técnica y económicamente.

La inexistencia de una entidad pública responsable ha provocando problemas especialmente en la administración y asistencia técnica a los servicios. Según la ley, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) solo tiene competencia para regular el sector urbano, quedando inhabilitada en la actualidad para regular este aspecto en todo el territorio.²



2.2.1 / Instituciones Involucradas

Una vez delimitado el entorno del Sector Rural tanto en lo que dice relación con el Agua Potable como el Saneamiento, se presenta a continuación un resumen ordenado alfabéticamente de las principales instituciones relacionadas directa o indirectamente con dichos aspectos.

- **Comisión Nacional del Medio Ambiente.** Vela por el cumplimiento de la normativa medioambiental.
- **Comités de Agua Potable Rural.** Los Comités de Agua Potable Rural se rigen por la Ley N° 19.418, de 1995, Ley sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado, fue fijado por D.S. N° 58, del 9 de enero de 1997.
- **Consumidores.** No tienen una directa participación en el esquema de regulación, pero tratándose del sistema de Agua Potable Rural intervienen organizados mediante Comités o Cooperativas como destinatarios finales o beneficiarios de los respectivos sistemas de agua potable rural.
- **Cooperativas de Agua Potable Rural.** Son cooperativas aquellas empresas que de conformidad con los principios de la autoayuda, autoadministración y autorresponsabilidad, tienen por objeto mejorar las condiciones económicas de sus socios. Las cooperativas disponen de un marco

² Ponencia La Comunidad Como Agente de Cambio: Programa Nacional De Agua Potable En Chile; Denise Charpentier Castro, María Angélica Alegría Calvo.





regulatorio propio, constituido por la ley del ramo (DFL N°5 de 2004 Ministerio de Economía) y un reglamento, además de normas e instrucciones de carácter contable y administrativo, dictadas por el Departamento de Cooperativas para perfeccionar el funcionamiento de las cooperativas.

- **Empresas Sanitarias.** Conforme lo dispone el Art. 52 Bis del DFL 382, ellas podrán establecer, construir, mantener y explotar sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en el ámbito rural, bajo la condición de no afectar o comprometer la calidad y continuidad del servicio público sanitario.
- **MIDEPLAN.** Tiene como rol el Análisis de Inversiones contenido en la metodología de formulación y evaluación de proyectos de agua potable y en el Manual SEBI (referido a la formulación de proyectos de agua potable rural y saneamiento rural) y su evaluación en el Sistema nacional de Inversiones.
- **Ministerio de Economía.** Dentro de sus funciones le corresponde la fijación de las tarifas del sector urbano, a proposición de la Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- **Ministerio de Obras Públicas.** Le corresponde la administración de la legislación en materia de recursos hídricos, la asignación de los derechos de agua y la aprobación de los derechos de concesión para establecer, construir y explotar servicios sanitarios. El Ministerio de Obras Públicas, sin perjuicio de la participación de otras entidades estatales y privadas, es también responsable de la planificación, ejecución y desarrollo del programa de Agua Potable Rural, cuyo objetivo es otorgar el servicio de agua potable a la población rural concentrada y no concentrada.
- **Ministerio de Salud.** Aprueba los diseños de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas, además de autorizar su funcionamiento una vez construidos.
- **Superintendencia de Servicios Sanitarios.** Tiene competencia en el sector urbano, donde realiza funciones relativas al otorgamiento de Concesiones Sanitarias, Fiscalización de los prestadores sanitarios, Cálculo de Tarifas y control de Riles.

A continuación se enunciará el conjunto normativo relacionado con Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Rural, debiendo destacar que en estricto rigor, la mayor parte de esta normativa ha sido elaborada para el Sector Urbano, pero que en la práctica ha ido implementándose en el Sector Rural frente a la escasa regulación disponible.





2.2.2 / Marco Regulatorio Legal Aplicable al Sector Urbano y Rural

En el siguiente cuadro se resumen las normas atinentes separadas por sector Urbano, Rural y ambos Sectores:

SECTOR URBANO	SECTOR RURAL	SECTOR URBANO Y RURAL
Ley 18.902 1990 Superintendencia de Servicios Sanitarios.	Ley N° 18.777 1989 Autoriza al Estado para desarrollar actividades empresariales en materia de agua potable y alcantarillado	D.F.L. 382 1988 Ley General de Servicios Sanitarios Ministerio de Obras Públicas
DS N° 121 1991 Aprueba el Reglamento de la Ley General de Servicios Sanitarios.	Ley N° 18.778 1989 Establece Subsidio al Pago de Consumo de Agua Potable y Servicio de Alcantarillado de Aguas Servidas	Ley 19.300 1994 Bases Generales del Medio Ambiente
Ley N° 18.885 1989 Autoriza al Estado para desarrollar actividades empresariales en materia de agua potable y alcantarillado.	Ley N° 19.338 de 1994, que modifica la Ley N° 18.778, además su reglamento que fue aprobado por el D.S. N° 195 del 19/02/99 y que incorpora el subsidio a la inversión.	DFL 1122 1981 Código de Águas.
D.F.L. N° 70 1988 Ley de tarifas de Servicios Sanitarios	Ley N° 19.418, de 1995, Ley sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias	D.F.L. 725 1968 Código Sanitario.
	DFL N°5 de 2004 Ministerio de Economía	Nch 1.333 1978 Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos.
		D.S. 90/00. Norma de emisión para la regulación de contaminantes
		DS N° 50 2002 Aprueba el reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado
		DS N° 609/98. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes
		DS N° 46/02. Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas
		Decreto N°996 Nch 777 1971 Agua potable, fuentes de abastecimiento y obras de captación, terminología, clasificación y requisitos
		D.S. 735 1.969 Requisitos del Agua para Consumo Humano.
		Circular N° 27 1979 Actualización de normas sobre el control de cloro residual en las redes de agua potable.



2.2.3 / Normativa Vigente

- **Nch 1.333 Of. 78 (1978) Instituto Nacional de Normalización. Requisitos de Calidad de Agua Para Diferentes Usos**

Corresponde a la principal norma de requisitos de calidad de agua para usos determinados existente en Chile, y establece requisitos de calidad para el uso de las aguas en riego, recreación (con y sin contacto directo), protección de la vida acuática y estética.

- **D.S. 90 (2000). Norma de Emisión para La Regulación de Contaminantes Asociados a Las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.**

Tiene como objetivo prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. Se otorga mediante este decreto a la Superintendencia de Servicios Sanitarios, a la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante y a los Servicios de Salud, según corresponda, la facultad de fiscalizar y velar por el cumplimiento de esta norma.

- **DS N° 46 (2002). Ministerio Secretaría General de la Presidencia Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas**

Tiene como objetivo prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, mediante el control de la disposición de los residuos líquidos que se infiltran a través del subsuelo al acuífero.

- **Nch 409 Norma sobre calidad del agua potable**

Establece los requisitos físicos, químicos y bacteriológicos que debe cumplir el agua potable destinada a la bebida (proveniente de cualquier sistema de abastecimiento), junto con los procedimientos de inspección y muestreo para verificar el cumplimiento de lo anterior.

- **Nch 777 Agua potable, fuentes de abastecimiento y obras de captación, terminología, clasificación y requisitos**

Establece una clasificación de las fuentes de agua potable según diferentes parámetros de calidad establecidos en la misma.

- **Decreto 735 Reglamento de los Servicios de Agua destinados al Consumo Humano**

Contiene disposiciones para los servicios de agua potable a fin de garantizar una purificación eficiente, y evitar contaminaciones en la distribución.

- **Reglamento General de Alcantarillados Particulares**

En lo sustancial, se refiere a la manera de disponer de las aguas servidas caseras, en las ciudades, aldeas, pueblos, caseríos u otros lugares poblados en la que no exista una red de alcantarillado público y de todas las casas habitación u otros edificios públicos o particulares, urbanos o rurales, destinados o destinables a la habitación o a ser ocupados para vivir o permanecer, transitoria o indefinidamente, que no pueden descargar sus aguas residuales a alguna red pública existente.

- **Reglamento para Tratamiento de Aguas Servidas Mediante Estanques Sépticos**

Reglamento aprobado mediante DS N° 288 de 1969, del Ministerio de Salud, en que se autoriza el uso del sistema de tratamiento primario de aguas servidas mediante la utilización de estanques sépticos prefabricados y elementos accesorios de asbesto-cemento en ciudades y sectores urbanos sin alcantarillado público, y en las zonas suburbanas y rurales, en la forma y condiciones que se señalan.

En el caso de las ciudades y sectores urbanos sin alcantarillado público, la aprobación de los proyectos de instalación de fosas sépticas prefabricadas se ajustará al DS N° 267 de 1980 Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y de Alcantarillado Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Se aplican además las normas y disposiciones citadas anteriormente del Código Sanitario, vale decir, la Circular N° 4/B de 1995 Reglamento de Alcantarillados Particulares y la normativa de emisión vigente.



Construcción Sistema de Alcantarillado de Hurtado. Río Hurtado, Región de Coquimbo.



3. Catastro Institucional

Durante el desarrollo del estudio, se realizaron una serie de reuniones con diversas instituciones relacionadas con aspectos ambientales, técnicos, económicos y/o normativos de abastecimiento de agua potable y saneamiento rural.

Las instituciones con que se sostuvieron Reuniones de Coordinación fueron las siguientes.

- Ministerio de Obras Públicas, MOP.
- Ministerio de Planificación y Cooperación, MIDEPLAN.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional, SUBDERE.
- Ministerio de Salud, MINSAL.
- Corporación de Fomento a la Producción, CORFO.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS.
- Programa Chile-Barrio.
- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, Capítulo Chileno.

Los aspectos analizados y las consecuentes conclusiones obtenidas de las Reuniones sostenidas con las Instituciones mencionadas fueron múltiples, y a nivel de lineamientos generales, la mayoría de las instituciones coinciden en los siguientes aspectos:

- Las principales diferencias existentes entre los comités y las cooperativas radican en las mayores exigencias administrativas que las Cooperativas deben cumplir para administrar sus recursos y bienes, lo que se traduce en una mejor gestión.
- Los sistemas de Aguas Servidas construidas en sectores rurales donde opera un comité o cooperativa, debieran ser gestionadas por estas mismas, debiendo para ello recibir previamente la correspondiente capacitación tanto en términos técnicos como de gestión. Entre las razones que justifican dicho planteamiento, se encuentran las siguientes:
 - Se aprovecharía la experiencia de las organizaciones que llevan administrando exitosamente por años los sistemas de agua potable para efectuar gestión integral de saneamiento.
 - Frente a la instalación de un sistema de aguas servidas en una localidad, se debe intervenir previamente el sistema de agua potable.



- En los servicios sanitarios, ambos sistemas (AP y AS) se encuentran naturalmente unidos a través de la cuenta, lo cual sería extensivo al ámbito Rural.
- La SUBDERE compone una mesa con MINSAL, MINVU, Hacienda, MIDEPLAN, y el MOP, cuyo objetivo es proponer una institucionalidad política establecidos que se conviertan en una Ley que regule el Sector Rural.

Durante la segunda etapa del proyecto, se programaron visitas a Comités y Municipios que efectúan Gestión de Servicios de Agua Potable y/o Saneamiento, donde se verificó la información recabada anteriormente. Los casos catastrados, fueron los siguientes:

- Comuna de San Pedro, Provincia de Melipilla, Región Metropolitana: Se visitaron las Instalaciones del Sistema de Aguas Servidas a manos de la Ilustre Municipalidad de San Pedro y se entrevistó a personal del Comité que administra el Servicio APR de San Pedro El Yali.
- Comuna de Pichidegua, Provincia de Cachapoal, VI Región: Se entrevistó a la Gerente de Pataguacop Ltda., cooperativa a cargo del Sistema de AP y de AS. Se visitaron las instalaciones de ambos Servicios.
- Comuna de Cholchol (Ex Comuna de Nueva Imperial), Provincia de Cautín, Región Metropolitana: Se visitó la Comunidad Pedro Cayuqueo, Sector Dollinco, sector donde el año 2002 se realizó la ejecución de pozos de pequeño diámetro mediante perforación manual.
- Comunas de Olmué y Limache, Provincia de Quillota, V Región. Se visitaron las instalaciones de AP a cargo de la Cooperativa de Servicios Sanitarios Los Maitenes y el sistema de AS administrado por la Ilustre Municipalidad de Limache.

Los casos catastrados representan distintas realidades y por lo tanto, enfrentan necesidades y problemáticas diferentes dependiendo de sus características. Sin embargo, existen conclusiones que parecen ser comunes al ámbito rural:

- Es necesario superar limitaciones culturales que impiden que la recaudación por conceptos de Servicios de AS sea la óptima.
- Los sistemas de Aguas Servidas construidas en sectores rurales donde opera un comité o cooperativa, debieran ser gestionadas por estas mismas.
- A mayor tamaño del Comité o Cooperativa, mayor es su capacidad de gestión. En este sentido, se debiese promover la agrupación de comités que presenten cercanía geográfica con el objeto de alcanzar economías de escala.
- Es necesario proveer de apoyo y soporte técnico permanente, así como asesoría continua en la gestión administrativa y financiera del proyecto.



4. Determinación de la Población Objetivo de Soluciones de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Rural



4.1 / Introducción

Se ha estimado la demanda (déficit) sanitaria rural existente en el país, entendiendo por ésta la población rural que habita en comunidades concentradas, semi-concentradas o dispersas, distribuidas por región y territorio, que requieren soluciones de abastecimiento de Agua Potable y solución al Tratamiento y Disposición de las aguas servidas.

El análisis identificó el escenario en que el déficit es abastecimiento de agua potable y saneamiento de aguas servidas y aquel que contando con suministro y abastecimiento de Agua Potable, requiere solamente tratamiento y disposición de aguas servidas. La población así estimada, distribuida a nivel nacional y regional, corresponde a la población objetivo del presente Estudio.

La información se obtuvo de antecedentes y Bases de Datos existentes en la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, en el Departamento de Programas Sanitarios de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y en el Instituto Nacional de Estadísticas, INE.

De entre ellas, la última entidad cuenta con información correspondiente al censo 2002, la cual considerando la amplitud de la información, el grado de detalle que es posible obtener y la confiabilidad de la misma, se ha adoptado como la base de la estadística de población y sus principales características.

Relacionado con los objetivos del presente Estudio, se debe destacar que el INE segrega la composición de la población a nivel nacional según la siguiente clasificación.

Cuadro N° 4.1
Composición de la Población a Nivel Nacional, según el INE.

TIPO	CLASIFICACIÓN	RANGO DE POBLACIÓN
Urbana	Ciudad	> 5.000 Habitantes
	Pueblo	5.000 – 1.000 Habitantes
Rural	Aldea	1.000 – 300 Habitantes
	Caserío	< 300 Hab Y > 3 Viviendas Cercanas Entre Si
	Otros	



4.2 / Determinación de la Población Objetivo de Saneamiento



4.2.1 / Información Básica

La información disponible del Censo 2002 del INE en relación al tipo de abastecimiento de agua y disposición de las aguas servidas a nivel nacional, tanto urbano como rural, puede resumirse del siguiente modo.

Cuadro N° 4.2
Resumen de Viviendas Según Abastecimiento de Agua. Año 2002

	VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS					
	CON AGUA POR CAÑERÍAS		SIN AGUA POR CAÑERÍAS		VIVIENDAS TOTALES	
	N°	Habitantes	N°	Habitantes	N°	Habitantes
URBANA	3.347.095	12.799.856	12.639	41.257	3.359.734	12.841.113
RURAL	420.086	1.551.124	119.628	407.889	539.714	1.959.013
TOTAL	3.767.181	14.350.980	132.267	449.146	3.899.448	14.800.126

Fuente : INE. Censo 2002

Cuadro N° 4.3
Resumen de Viviendas Según Disposición de Aguas Servidas. Año 2002

	VIVIENDAS PARTICULARES OCUPADAS					
	CONECTADO A ALCANTARILLADO		SIN CONEXIÓN A ALCANTARILLADO		VIVIENDAS TOTALES	
	N°	Habitantes	N°	Habitantes	N°	Habitantes
URBANA	3.251.715	12.451.162	108.019	389.951	3.359.734	12.841.113
RURAL	273.337	1.015.195	266.377	943.818	539.714	1.959.013
TOTAL	3.525.052	13.466.357	374.396	1.333.769	3.899.448	14.800.126

Fuente : INE. Censo 2002



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural. Curanue, Región de Los Lagos.

La información anterior se encuentra radicada en el segmento de **viviendas particulares ocupadas** que al momento del Censo se encontraban con moradores, lo que implica que aquellas viviendas del tipo colectivas (Hoteles – Hospitales – Residenciales – Regimientos – Cárceles – Iglesias, etc.) no fueron consideradas, permitiendo explicar en parte las diferencias obtenidas con respecto al total nacional.

De esta forma, el déficit existente en cuanto a soluciones de agua potable en el Sector Urbano es de un 0,32 % y en cuanto a disposición de aguas servidas de un 3,03 %, lo que se puede atribuir mayoritariamente a un problema de cobertura, toda vez que en las proximidades de la población afectada existen sistemas de agua potable y/o alcantarillado de aguas servidas que pueden absorber dichas necesidades, pero que potencialmente aun no se concretan.

En el ámbito Rural, el déficit existente en cuanto a soluciones de Agua Potable alcanza a un 20 % y en Alcantarillado a un 48,1%, lo que debe su origen entre otros a la inexistencia de sistemas de agua potable o alcantarillado de aguas servidas en las proximidades de la población objetivo. Adicionalmente, se debe considerar que el escenario de la población actual con déficit, está estructurado mayoritariamente en base a población semi concentrada o dispersa.

Finalmente, resulta importante destacar dos aspectos, relativos a la localización de la población rural a lo largo del territorio nacional:

- Aproximadamente el 92% de la población Rural sin abastecimiento de Agua Potable se ubica entre la IV y X Regiones del país.
- Las regiones con mayor proporción de población Rural sin abastecimiento corresponden a la VIII, IX y X., en las cuales la proporción del sector rural sin abastecimiento sobrepasa el 50%.

Se debe considerar que los índices que se obtienen en las regiones VIII, IX y X pueden explicarse en gran parte por la mayor presencia de asentamientos Semidispersos o Dispersos, debido a las mejores condiciones de vida que presentan estas regiones (mayor disponibilidad de recursos, condiciones climáticas más benignas, vías de comunicación y desarrollo de la actividad económica) frente a las más extremas del país.



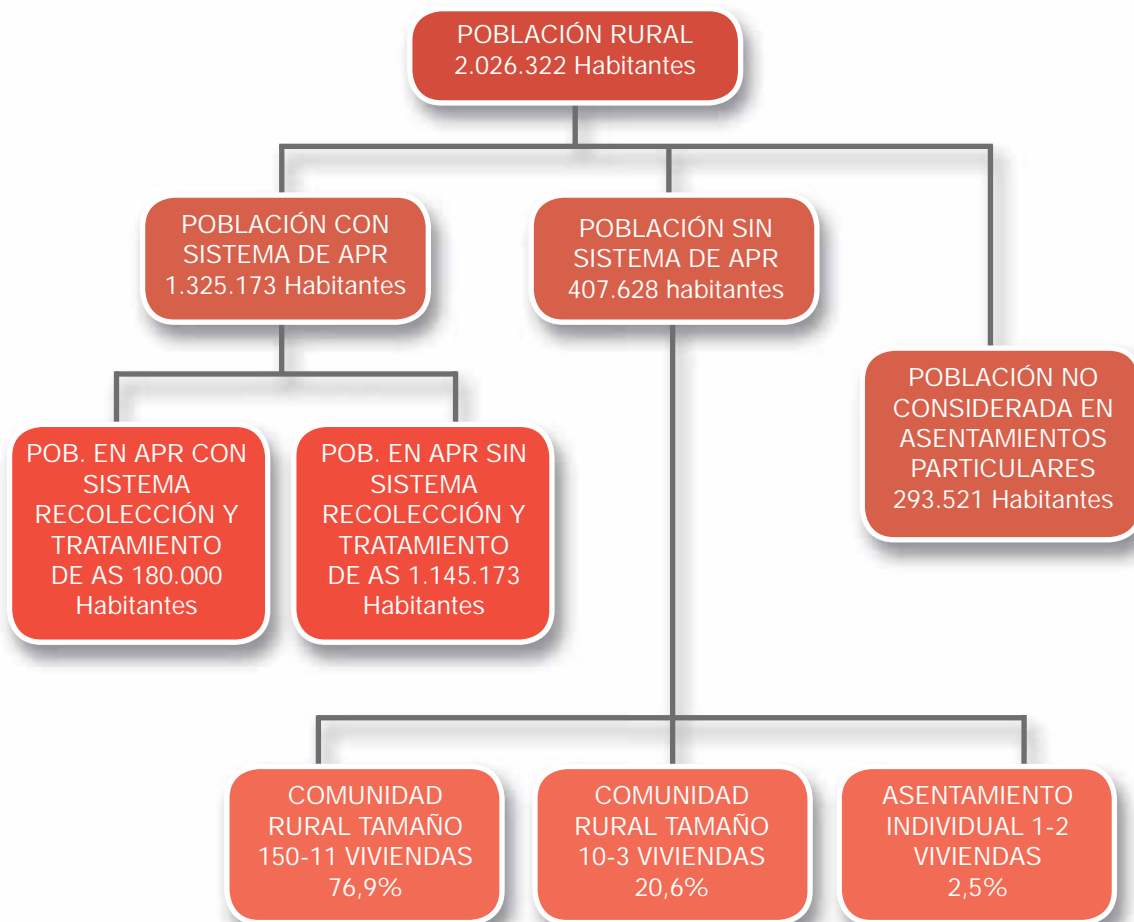
4.2.2 / Estructuración de la Población Objetivo

En relación a la estructuración de la población objetivo, se puede concluir lo siguiente:

- a) La población rural total del país alcanza aproximadamente a los 2.026.322 habitantes, de los cuales 407.628 corresponden al universo total de población con demanda por sistemas de Agua Potable Rural y 1.552.801 a la población con demanda por Saneamiento Rural.
- b) El tamaño máximo de agrupaciones de vivienda con necesidad de solución de abastecimiento de Agua Potable resulta ser en forma mayoritaria menor a 100 viviendas (tan sólo existen 3 caseríos, con 102, 121 y 157 viviendas, que no cuentan con abastecimiento de Agua por red).
- c) Un segmento importante de la población Rural objetivo del estudio se congrega bajo la denominación **Otros Asentamientos**, y está conformado por Asentamientos Mineros, Fundo, Estancia, Hacienda, Parcela, Hijueta, Comunidad Indígena, Comunidad Agrícola, Campamento de Trabajadores, Veranada, Majada y Aguada.
- d) Existe un segmento de aproximadamente 293.521 habitantes, ubicados principalmente en el segmento **Otros Asentamientos** que quedan excluidos de la población objetivo del estudio por cuanto subclasificaciones como asentamientos mineros, fundos, estancias, haciendas y campamentos de trabajadores tienen actividades económicas que llevan asociado en general el requerimiento de suministro de agua potable y disposición de aguas servidas.
- e) Estadísticas de los servicios de agua Potable Rural hoy día en operación, sitúan la población beneficiada por estos en aproximadamente 1.325.173 hab, de los cuales aproximadamente 180.000 disponen de soluciones de Alcantarillado de Aguas Servidas (correspondientes a 105 servicios).

Considerando que uno de los principales objetivos del presente estudio, consiste en disponer de un conjunto de soluciones sencillas y de costo reducido para satisfacer de la demanda por solución de Agua Potable y Saneamiento en el ámbito rural, y que las soluciones tipo cuyo tamaño se debe adecuar a la demanda sin variar sustancialmente su concepción, este estudio propone adoptar la siguiente estructuración de la demanda:

Gráfico N°1
Esquema de Solución para el Saneamiento Rural



5. Alternativas de Solución de Abastecimiento de Agua Potable en Comunidades Rurales con Población Concentrada, Semiconcentrada o Dispersa



5.1 / Generalidades

A continuación se abordan los diseños que darán solución a la demanda por abastecimiento de Agua Potable en el ámbito Rural.

Para ello, resulta necesario resaltar dos premisas básicas que debe considerar cualquier tipo de solución para proveer un servicio normalizado de Captación, Tratamiento y Distribución de Agua Potable.

- a) Continuidad del abastecimiento.
- b) Calidad del Agua producida.

Estas dos premisas son el distintivo universal de un sistema de Agua Potable, y si se considera adicionalmente el grado de avance que tiene hasta el momento en abastecimiento de Agua Potable en el sector Rural del país, cualquier solución, por económica que sea, deberá considerar en su estructuración los elementos necesarios que permitan cumplir con ambos requisitos.

Lo anterior lleva a que si bien en general existen formas alternativas de abastecimiento de agua en el sector Rural, no podrán considerarse aquellas que ofrezcan continuidad de servicio o una calidad del agua que califique como potable a todo evento.



5.2 / Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable y Componentes Unitarias Requeridas de Tratamiento

La Fuente de Abastecimiento constituye uno de los factores más determinantes de un sistema de Agua Potable, por lo cual se deben evaluar las distintas posibilidades de fuentes de abastecimiento que correspondan a las características específicas del sector en el que se emplazará la población a abastecer de Agua Potable.

En general, la elección del tipo de fuente deberá considerar entre otras condiciones, el respaldo que ella posee (Informe Hidrogeológico) para poder dar cuenta de una explotación de la fuente durante todo el año y por el periodo de previsión definido.

Básicamente, las fuentes son del tipo Superficial o Subterránea, y los sistemas de abastecimiento de agua y su consecuente explotación, considerando el origen de las mismas, puede resumirse del siguiente modo.

- **Fuentes Subterráneas** Pozo, Noria, Dren, Sondaje, Punteras.
- **Fuentes Superficiales** Vertiente, Estero, Río.

Para cada fuente se deberá realizar la evaluación de los parámetros presentes en el agua y el grado de cumplimiento de la Norma de calidad de agua, definiéndose finalmente con ello el tipo de Fuente, el grado requerido de tratamiento y las alternativas viables de aplicar.

Otro componente de importancia a considerar cuando se trata de aguas superficiales, es la necesidad de incorporar un proceso de Filtración, lo que de ocurrir obligará necesariamente a incurrir en mayores costos de Inversión y Operación de los sistemas.



Construcción Sistema de Alcantarillado. Río Hurtado, Región de Coquimbo.





5.3 / Bases de Cálculo Generales

En relación a Bases de Cálculo y Criterios Generales de Diseño de los sistemas de Agua Potable Rural, esta Consultora propone adoptar referencialmente las siguientes, muchas de las cuales poseen el respaldo de haber sido consideradas con resultados exitosos en el Programa Nacional de Agua Potable Rural desarrollado en el País.

Dotación media de consumo	100 l/hab/día
Densidad habitacional	4 hab/viv
Tasa de crecimiento de la población	1,2 % anual

No obstante, se debe considerar que las Bases de Cálculo deberán adoptarse primordialmente en base a las características propias de cada solución más que al estricto tamaño de la población beneficiada. Dicho de otra forma, el diseño propuesto para una solución individual deberá cumplir las mismas exigencias que aquel definido para una población concentrada.



5.4 / Características y Tamaño de la Solución de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable

De acuerdo a los antecedentes obtenidos del Censo 2002 del INE analizando el tamaño máximo esperado para nuevas soluciones de Agua Potable se encuentra concentrado en conjuntos de menos de 100 viviendas (tan solo 10 asentamientos aproximadamente sobrepasan este tamaño).

Considerando lo anterior, en el presente punto se desarrollarán soluciones tipo para tres niveles de demanda, a partir de cuyos Costos de Inversión y Operación y Mantenimiento se podrán visualizar los asociados a todo el rango de interés del estudio.

Los 3 niveles de demanda a analizar, obedecen al siguiente detalle.

Solución Concentrada	:	Tamaño medio de 100 Viviendas (150 – 11 Viv.)
Solución Semiconcentrada	:	Tamaño medio de 10 Viviendas (10 – 3 Viv.)
Solución Individual	:	1 Vivienda (2 – 1 Viv.)



De acuerdo con lo anterior, los requerimientos para cada caso considerando las Bases de Cálculo adoptadas, obedecen al siguiente detalle:

Cuadro N° 5.1

Demanda de Agua Potable Según Tamaño de la Población

ITEM	CASOS		
	Caso 1 : 100 Viv	Caso 2 : 10 Viv	Caso 3 : 1 Viv
Q medio (l/s)	0,59	0,06	0,006
Q max. Diario (l/s)	0,88	0,09	0,009
Q max. Horario (l/s)	1,32	0,13	0,013
Q bombeo (l/s)	1,76	0,18	0,02
Capacidad de la Fuente (l/s)	1,76	0,18	0,02
Volumen de Regulación (m3)	15	1,6	0,15

Fuente: Elaboración propia.



5.5 / Generación de Alternativas de Solución

Las alternativas factibles de implementar en servicios de Agua Potable, se desarrollaron poniendo énfasis en que la estructuración de soluciones tipo deberán tener la debida flexibilidad frente al numero de usuarios. Asimismo, el análisis técnico-económico de la fuente y tipo de tratamiento a adoptar por cada solución, considerará las diferentes alternativas tecnológicas factibles de implementar.

A partir de los resultados de cada alternativa, se procedió a definir la solución de agua potable para las condiciones de demanda calculadas, la que para mejor visualización se vertió a un esquema con la disposición de los distintos elementos constituyentes de la solución.

Asimismo, para la definición y selección de alternativas del equipamiento eléctrico de cada solución propuesta, se consideraron en forma relevante los siguientes aspectos.

- Facilidad de operación.
- Facilidad de mantención.
- Confiabilidad del sistema.
- Suministro de repuestos.
- Factibilidad de ampliación futura.



Una vez efectuado el análisis de las alternativas factibles de desarrollar, se presenta a continuación un conjunto de 6 (seis) Soluciones Tipo de abastecimiento de Agua Potable, las que dan cuenta de los aspectos más relevantes que controlan el diseño e independizan del tamaño de la solución, de manera de poder realizar ajustes de tamaños de la solución sin variar sustancialmente su concepción básica.

En apéndice N° 1 de esta presentación se indican los prototipos de solución definidos para cada caso.

En apéndice N° 2 de esta presentación se indican los costos promedio de inversión de los distintos tipos de solución definidos para cada caso.



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Putemun. Castro, Región de Los Lagos.

6. Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Servidas



6.1 / Introducción

El objetivo principal de esta parte del estudio consiste en normalizar las soluciones de carácter sanitario en asentamientos rurales, entendiéndose por este concepto, poblaciones con menos de 1.000 habitantes, y que se configuran como Aldeas, Caseríos, Asentamientos Mineros, Fundos, Estancias, Haciendas, Parcelas, Hijuelas, Comunidades Indígenas, Comunidades Agrícolas, Campamentos de Trabajadores, Veranadas, Majadas, Aguadas o Viviendas Aisladas.

Asimismo, es importante destacar que los asentamientos rurales pueden corresponder a localidades concentradas o dispersas, lo que incidirá significativamente en el tipo de soluciones de saneamiento a implementar.



6.2 / Evaluación de Alternativas de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Servidas

A objeto de delimitar el marco conceptual bajo los objetivos del estudio, se decidió segregar los sistemas de tratamiento en Centralizados y Descentralizados, vale decir, los que cuentan y no cuentan con redes de alcantarillado, sean sistemas de tratamiento colectivos o individuales.



6.2.1 / Sistemas Rurales Descentralizados



6.2.1.1. Análisis de Condiciones de Borde en Sistemas Rurales Descentralizados

Los sistemas de recolección y tratamiento de las aguas servidas provenientes de sistemas rurales del tipo centralizado, vale decir, que cuentan con redes de alcantarillado, pueden ser homologables a los de pequeñas comunidades urbanas.

Distinto es el caso de sistemas rurales descentralizados (que no cuentan con redes de alcantarillado), cuya recolección, tratamiento y vertimiento o reutilización de sus aguas residuales obedecen a otros criterios.

Los sistemas rurales descentralizados son aplicados cuando se dan entre otras, las siguientes condiciones.

- Baja densidad habitacional.
- Distancia de la comunidad o las instalaciones con otros alcantarillados existentes.
- Imposibilidad de la comunidad para afrontar el costo de un sistema convencional de manejo de aguas residuales.

Por otro lado, desde el punto de vista del orden de magnitud de la población a tratar, los sistemas descentralizados involucran en general alguno de los siguientes escenarios.

- Residencias Individuales.
- Conjuntos Residenciales.
- Sistemas Comunitarios.

El manejo descentralizado de aguas residuales en sistemas comunitarios consta en general de Fosas Sépticas (para la retención de sólidos) y la utilización de tuberías de diámetro pequeño para transportar el efluente clarificado.

Las plantas compactas y de diseño individual son usadas para grandes caudales donde existe personal disponible para la operación.



6.2.1.2. Variables Asociadas al Tratamiento en Sistemas Descentralizados de Aguas Residuales

En general, los elementos o componentes que comprende un sistema descentralizado de las aguas residuales corresponden a los siguientes.

- Tratamiento Preliminar.
- Recolección de Aguas Residuales.
- Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Disposición o Reutilización del efluente tratado.
- Manejo de Lodos.

A pesar de que las componentes son las mismas que las de los sistemas centralizados, la diferencia radica en la tecnología utilizada, por lo cual se presenta a continuación un resumen de los aspectos más relevantes asociados a cada ítem.



- **Tratamiento Preliminar de las Aguas Residuales**

El objetivo del Tratamiento Preliminar de las aguas residuales es remover Sólidos gruesos, Aceites y Grasas, Arenas y otros materiales flotantes o sedimentables, de modo que el agua residual pueda ser tratada eficientemente y reutilizada o vertida sin ningún riesgo.

En muchos casos, el uso de Fosas Sépticas individuales en el punto de origen puede considerarse como una parte integral de un sistema descentralizado, ya que en dicha componente los sólidos se independizan del efluente de la Fosa Séptica.

- **Recolección de las Aguas Residuales**

En zonas donde el incremento en la densidad residencial ha llegado al punto en que deja de ser factible el uso de sistemas individuales locales para el tratamiento y disposición de los efluentes, con frecuencia es necesaria alguna forma de recolección de las aguas residuales. En algunos lugares, el uso de alcantarillados convencionales por gravedad es contraproducente, ya que se incrementa el uso de dispositivos para la conservación del agua. El caudal mínimo requerido para la operación de redes de alcantarillado de flujo por gravedad es un inconveniente en grandes proyectos con lento desarrollo o en zonas donde la conservación del agua reduce significativamente los caudales de agua residual.

En muchos casos, el agua requerida para el funcionamiento apropiado de los sistemas convencionales de flujo por gravedad supera el agua ahorrada mediante medidas de conservación.



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Putemun.
Castro, Región de Los Lagos.

- **Alternativas de Tratamiento de las Aguas Residuales**

A objeto de delimitar el espectro de alternativas, se puede establecer en primer lugar que todo sistema descentralizado posee algún sistema de evacuación de sus aguas servidas, generalmente de baja calidad sanitaria del efluente, como pozos negros o letrinas.

Las alternativas de tratamiento más comúnmente adoptadas corresponden a las siguientes.

- Pozo Negro.
- Letrina (Standard o mejorada con pozo ventilado).
- Letrina Abonera Seca.
- Caseta Sanitaria con Fosa Séptica y Red de Drenaje o Pozo Absorbente.

El Pozo Negro prácticamente no realiza tratamiento y su efluente no muestra características que hagan recomendable su adopción.

Las Letrinas tienen en general una vida útil corta y requieren ser trasladadas una vez que se copó su capacidad (aproximadamente cada 5 años). Adicionalmente, no pueden ser adaptadas a sistemas de disposición más efectivos.

En cuanto a las Fosas Sépticas, corresponden conceptualmente a un Tratamiento Primario, alcanzando eficiencias de remoción del orden de 75 – 80 y 25 – 40 % 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 permiten 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).

En consecuencia, y considerando el actual estado del arte en lo que a tratamiento y disposición de aguas servidas se refiere, se considerará el análisis de alternativas viables de tratamiento a partir de los sistemas en base a Fosas Sépticas.

A la luz de lo anterior, las componentes unitarias más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en sistemas pequeños y descentralizados (sujetos en general a limitaciones económicas) obedecen al siguiente detalle:

Cuadro N° 6.1
Alternativas Típicas de Tratamiento de Aguas Residuales en Sistemas Pequeños Descentralizados

TIPO DE TRATAMIENTO	ALTERNATIVA
Primario	Fosas Sépticas
	Tanques Imhoff
Primario Avanzado	Fosa Séptica – Cámara de Filtración
	Fosa Séptica – Reactor de Cultivo Fijo
Secundario	Tratamiento Biológico Aeróbico
	Tratamiento Aeróbico / Anaeróbico
	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



6.2.1.3 / Principales Características de las Alternativas de Tratamiento en Sistemas Descentralizados de Aguas Residuales



6.2.1.3.1 / Fosas Sépticas

Dentro del espectro de alternativas de tratamiento de Aguas Servidas mostrado en el numeral anterior, una de las soluciones de más amplia difusión en sistemas pequeños y descentralizados lo constituyen las Fosas Sépticas, por lo que se presenta a continuación un análisis de las principales características y criterios de diseño utilizados.

Una Fosa Séptica se usa para recibir la descarga de agua residual proveniente de residencias individuales y de otras instalaciones sin red de alcantarillado. Las Fosas Sépticas son tanques prefabricados que ofician como tanque combinado de sedimentación y desgrasado y como tanque de almacenamiento de lodos que se digieren en el fondo por digestión anaeróbica sin mezcla ni calentamiento, constando en general de las siguientes componentes:

- Un tanque o contenedor hermético para recolectar y licuar las excretas.
- Un recipiente cubierto para recolectar el efluente.
- Una tubería del orden de 2,5 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de longitud, provista de una T abierta en uno de sus extremos.
- Una tubería de ventilación, similar a la usada en estufas que emplean gas o madera como combustible, que conecta la Fosa con el aire exterior.



Construcción sistema de alcantarillado. Rio Hurtado, Región de Coquimbo.



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural de Castro. Chonchi, Región de Los Lagos.



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).

No obstante, el volumen dependerá en gran medida del caudal afluente al sistema, el que estará compuesto por las aguas servidas propiamente tales, Aguas de Infiltración y Aguas Lluvia, aporte de RILES, etc.

En consecuencia, más que adoptar volúmenes mínimos o recomendados, el dimensionamiento de la Fosa Séptica debe considerar fundamentalmente como criterio de diseño el Período de Retención de la masa líquida, considerado generalmente como de 1 (un) día.

Adicionalmente, los restantes Criterios de Diseño a adoptar dicen relación con las siguientes variables y sus valores comúnmente adoptados:

Cuadro N° 6.2

PARÁMETRO DE DISEÑO	Unidad	Valor
Coef. Reducción Volumen Lodo Digerido		0,25
Contribución Lodo	l/hab/día	1
Periodo de Almacenamiento Lodo	Días	365
Coef. Reducción Volumen Lodo en Digestión		0,5
Periodo de Digestión	Días	60

A modo ilustrativo, se presenta a continuación un ejemplo en que se efectúa el dimensionamiento de una Fosa Séptica para las siguientes Bases de Cálculo:

Referencia 1

Población	Viviendas	Dotación	CAUDAL (l/s)			
			Medio ASD (1)	Infiltración	A. Lluvia	Medio Total
Habitantes	(N°)	(l/h/d)				
6	1	100,0	0,007	0,000	0,000	0,000

Los Criterios de Diseño adoptados para el dimensionamiento de la Fosa Séptica obedecen al siguiente detalle.

PARÁMETRO DE DISEÑO	Unidad	Valor
Número de Compartimentos		2
Período Retención masa líquida	Días	1
Coef. Reducción Volumen Lodo Digerido		0,25
Contribución Lodo	l/hab/día	1
Periodo Almacenamiento Lodo	Días	365
Coef. Reducción Volumen Lodo en Digestión		0,5
Periodo Digestión	días	60

El dimensionamiento de la Fosa Séptica aplicando los Criterios de Diseño adoptados a las Bases de Cálculo, entrega los siguientes resultados.

DIMENSIONES	Unidad	Valor
Largo		
Primer compartimento	m.	1,23
Segundo compartimento	m.	0,62
TOTAL	m.	1,85
Ancho	m.	0,62
Profundidad Útil	m.	1,2
Volumen Útil	m ³	1,36
Area Útil	m ²	1,14
Revancha	m.	0,3
Altura Sup. Líquido bajo Tubería Afluente	m.	0,1

Analizando los resultados mostrados en la tabla anterior, se puede apreciar que para las condiciones de borde adoptadas, el mínimo volumen requerido de la Fosa Séptica es de 1,36 m³.

Por otro lado, las variaciones diarias y horarias de determinados parámetros de las Bases de Cálculo exigirán considerar un volumen adicional de Fosa Séptica.

De igual modo, determinados criterios de diseño adoptados, pueden mostrar alguna variación producto de las características específicas de la población a servir (Contribución Lodo, etc.) y de las aguas residuales que generen (Coeficientes de Reducción del Volumen Lodo Digerido y del Lodo en Digestión, etc.).

Considerando lo señalado anteriormente, se adoptará un 20 % de volumen adicional, con lo cual el volumen mínimo de fosa a considerar será del orden de 1,63 m³.

Por otro lado, los proveedores del mercado ofertan en general volúmenes estandarizados de Fosa Séptica. En el caso del ejemplo (densidad adoptada 6 hab/vivienda), los distintos proveedores ofrecen volúmenes que varían entre 1,2 y 2,0 m³ de capacidad, recomendando un volumen mínimo de 1.5 m³ en atención a la seguridad del diseño, frecuencia real de limpieza, etc.

Considerando el volumen mínimo de 1,6 m³ de capacidad obtenido a partir del diseño, se adoptará un volumen comercial de Fosa Séptica de 2,0 m³ de capacidad.

Finalmente, el dimensionamiento de la Fosa Séptica deberá considerar lo establecido en el DS 236/26 (Reglamento de Alcantarillados Particulares) donde sea pertinente.



6.2.1.3.2 / Otras Soluciones Individuales

A objeto de poder contar con información técnica de alternativas de tratamiento distintas a las Fosas Sépticas, se presenta un resumen de los tipos de tratamiento individuales disponibles en el mercado local.

Considerando que las diversas tecnologías están asociadas en muchos casos al Know How de los proveedores, se presenta a continuación en forma referencial, un resumen de las tecnologías y los proveedores asociados.

- **Tratamiento en Base a Lodos Activados**

El mercado ofrece soluciones individuales de tratamiento en base a lodos activados, pudiendo incluir Tratamiento Preliminar (retención de sólidos y/o separación de Aceites y Grasas), Secundario (Aeración y

Sedimentación) y Desinfección de efluente, el que puede ser utilizado para riego o infiltración subsuperficial. Asimismo, el circuito de lodos puede incluir Espesador y/o Digestor.

- **Tratamiento en Base a Cultivo Suspendido**

El sistema de tratamiento en base a cultivo suspendido puede incluir tratamiento preliminar (Desgrasador), Fosa Séptica (cuya función es la Sedimentación de Sólidos y Digestión Anaeróbica de lodos), Filtro Biológico Activado (cuyas funciones son: oxidación de la materia orgánica e impulsión del efluente hacia una cancha de filtración en elevación o un drenaje a distancia de las fosas), Clorador/Repartidor a Drenes (cuyas funciones son: desinfección de las aguas servidas tratadas y repartición en tubos de drenaje (2 ó 3) de las aguas servidas tratadas para infiltración).

- **Otros Tipos de Tratamiento**

- **Hidroplanta Domiciliaria (Ganter & Errázuriz)**

El tratamiento comienza con una Fosa Séptica, cuyo objetivo es lograr una decantación de los sólidos presentes. Seguidamente, el efluente es ingresado a un tratamiento biológico que funciona en forma natural, llamado Hidroplanta, que es una laguna con plantas acuáticas flotantes incorporadas.

Finalmente, el efluente del sistema Hidroplanta es sometido a Desinfección por Cloración y posterior Decloración (de requerirse).

El proveedor establece que para un adecuado funcionamiento del sistema se deberán evacuar anualmente los lodos de la fosa séptica, pues un paso de sólidos al sistema Hidroplanta puede estropear su funcionamiento.

- **Baño Ecológico (Territorio Sur)**

El baño ecológico es un sistema de disposición de excretas, que separa la orina y las excretas in situ, por medio de una taza separadora, sin usar agua para su operación.

El sistema se basa en la alternancia de dos cámaras, de manera que mientras una está en uso, la otra permanece en reposo.

La materia fecal queda separada de las aguas servidas, orina y suelo, permitiendo así su descomposición en una de las cámaras aisladas del ambiente, que adquiere temperatura y ventilación gracias a la captación de energía solar.

El baño puede ser integrado a viviendas existentes y constituye una solución completa que incluye lavamanos, ducha y tina.



6.3 / Análisis Crítico de las Alternativas de Tratamiento y su Aplicabilidad a Sistemas Descentralizados

Al igual que en el caso del Agua Potable, no es posible definir la tecnología de tratamiento a implementar solamente en función de la población, toda vez que también dependerá de otros factores como la calidad requerida por la normativa de emisión en función del escenario de descarga, la altura de la napa, etc., pudiendo darse casos en que en una misma localidad se deban contemplar diferentes soluciones debido a la presencia de napa subterránea en distintos niveles.

Para ilustrar lo anterior, se presenta a continuación un ejemplo de aplicación de Fosas Sépticas en una localidad (cuyo análisis técnico económico no permitió la instalación de una red de alcantarillado), donde se debieron definir 3 soluciones individuales para dar cuenta de distintos niveles de napa subterránea presente.

Las Bases de Cálculo que permitieron el dimensionamiento de las soluciones obedecen al siguiente detalle:

Densidad (hab/viv)	Dotación (l/hab/día)	Coficiente Recuperación
6	100	0,95

DBO (gr/hab/día)
30

Parámetro	Razón Parámetro/DBO
Sólidos Suspendidos Totales	1,00
Nitrógeno Kjeldahl Total	0,25
Fósforo Total	0,05
Aceites y Grasas	0,20

Por otro lado, para la implementación de las alternativas de tratamiento y disposición de las aguas servidas tratadas, se consideró satisfacer las siguientes condiciones de borde:

- Instalación del sistema a no menos de 20 metros de cualquier fuente destinada al suministro de agua de bebida, a excepción de las norias que tengan los beneficiarios, las que quedarán fuera de servicio.
- Excluir la incorporación de Aguas Lluvia al sistema.

Analizada la viabilidad conceptual de emplazamiento de las alternativas de tratamiento y las consecuentes componentes unitarias asociadas, se llegó a las siguientes definiciones:

Nivel Napa Subterránea	Solución Contemplada
$X > 2$ m.	Fosa Séptica + Infiltración por Drenes
$1 < x < 2$ m.	Fosa Séptica + Sedimentación Secundaria + Desinfección (por cloro) + Infiltración por Drenes
$X < 1$ m.	Fosa Séptica + Sedimentación Secundaria + Desinfección (por cloro) + Bombeo (a Riego o Infiltración por Drenes)

A modo de referencia en el recuadro superior, donde la napa subterránea se encuentra a más de 2 m. por debajo del nivel del terreno, se pudo aplicar la solución tradicional, consistente en instalar Fosas Sépticas seguidas de una Red de Drenaje.

Donde la napa subterránea se encontraba entre 1 y 2 m. por debajo del nivel de terreno, se hizo necesario considerar tratamiento complementario incluyendo Desinfección, y donde se encontraba a menos de 1 m. del nivel de terreno, se consideró la misma solución anterior pero incorporando elevación de las aguas servidas tratadas para poder disponerlas a Riego o Infiltración.

Efectuado el dimensionamiento de las soluciones arriba definidas, las componentes unitarias asociadas a cada escenario (excluyendo todos los implementos adicionales requeridos como Geotextiles, etc.), obedecen al siguiente detalle:

Napa Freática a más de 2 Metros de la Cota de Terreno

- Fosa Séptica Vertical de 2.000 litros.
- Drenes de Infiltración (mínimo 25 metros, absorción 36 l/m²/día).

Napa Freática entre 1 y 2 Metros de la Cota de Terreno

- Fosa Séptica Vertical de 2.000 litros.
- Cámara de Decantación de 1.000 litros.
- Cloración.
- Drenes de Repartición (mínimo 25 metros, absorción 36 l/m²/día).

Napa Freática a menos de 1 Metro de la Cota de Terreno

- Fosa Séptica Vertical de 2.000 litros.
- Cámara de Decantación de 1.000 litros.
- Cloración.
- Elevación (bombeo).
- Sistema de Disposición.
- Drenes de Infiltración (mínimo 25 metros, absorción 36 l/m²/día).
- Red de Riego.

En el Apéndice 3 del presente resumen, se presenta el Lay Out de las soluciones delineadas anteriormente

Asimismo, en el Apéndice 4 del presente Estudio se presenta el Detalle de los Costos de Inversión, Operación y Mantenimiento, cuyo resumen obedece al siguiente detalle:

Nivel Napa Subterránea	Solución Contemplada	COSTOS		
		Inversión (UF)	Operación y Mantenimiento	
			(UF/año)	(UF/mes)
X > 2 m.	Fosa Séptica + Infiltración por Drenes	24,8	0,867	0,0723
1 < x < 2 m.	Fosa Séptica + Sedim. Secundaria + Desinf. + Infiltr. por Drenes	40,5	1,994	0,1662
X < 1 m.	Fosa Séptica + Sedim. Secundaria + Desinf. + Bombeo (a Riego o Infiltr)	58,6	3,194	0,2660

Los resultados expresados en el recuadro anterior, permiten concluir que las soluciones adoptadas en función de los requerimientos específicos ante la presencia de napa subterránea, hacen variar significativamente los costos tanto de Inversión como de Operación y Mantenimiento.

A la luz de lo anterior, las principales conclusiones a que se puede arribar son las siguientes:

- Al igual que en el caso del Agua Potable, no es posible definir la tecnología de tratamiento a implementar solamente en función de la población, toda vez que también dependerá de otros factores como la calidad requerida por la normativa de emisión en función del escenario de descarga, la altura de la napa, etc.
- Los costos del tratamiento individual crecen significativamente en la medida que se requiere mayor grado de tratamiento (60% incorporando Sedimentación Complementaria y Desinfección y 140 % incorporando adicionalmente elevación)



6.4 / Sistemas Rurales Centralizados

A diferencia de los sistemas Descentralizados analizados en el numeral anterior, las tecnologías aplicables a los sistemas Centralizados (vale decir, aquellos que cuentan con Red de Alcantarillado) Rurales son homologables a las aplicadas en localidades Urbanas.



Construcción Sistema de Alcantarillado. Río Hurtado, Región de Coquimbo.





6.4.1 / *Análisis de Alternativas de Tratamiento y Adopción de las Mismas*

- **Análisis de Alternativas de Tratamiento**

Con respecto a las alternativas propiamente tales, el tratamiento biológico de las aguas residuales puede clasificarse en Convencionales y No Convencionales. Los procesos convencionales abarcan aquellos que involucran mecanización de los sistemas, en tanto que los sistemas no convencionales no involucran mecanización y requieren grandes áreas de terreno (p.e. Lagunas de Estabilización).

Las alternativas de tratamiento propiamente tales pueden englobarse en dos áreas, constituidas por tratamientos del tipo **Biológico y Fisicoquímico**. A su vez, las primeras pueden clasificarse en Tratamientos Biológicos del Tipo **Convencional y No Convencional**.

Los sistemas No Convencionales prescinden de mecanización, pero requieren grandes áreas de terreno (Lagunas de Estabilización Facultativas, Lagunas Anaeróbicas, “Wetlands”, etc.), en tanto que los sistemas Convencionales involucran mecanización de los sistemas y se dividen, a su vez, según el tipo de cultivo que se trate, en Cultivo Fijo y Suspendido.

En lo referido a los sistemas en base a Cultivo Fijo (biomasa adherida en forma de película a un medio de soporte) denominados genéricamente Lechos Bacterianos, las versiones más difundidas la constituyen los Biofiltros o Filtros Percoladores y los Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios (CBR).

Entre las alternativas en base a Cultivo Fijo, se encuentra también el denominado “Sistema Tohá®” (o Lombrifiltro) de origen nacional, el que consiste en un estanque relleno por diferentes capas filtrantes, con lombrices en la capa superficial, las que en conjunto con la microbiología ahí generada degradan la materia orgánica y la transforman en humus, agua, CO₂ y otros gases.

Actualmente, en el país existen del orden de 90 plantas instaladas en base a esta tecnología y considerando que los costos de Inversión y fundamentalmente de Operación son más convenientes que los de otras tecnologías y que tienen una simplicidad operativa muy adecuada para su aplicación en el Sector Rural, en el Apéndice 5 del presente Informe se presenta una descripción más detallada del sistema.

En cuanto a los sistemas en base a Cultivo Suspendido (biomasa llamada licor mezclado en suspensión en un estanque), denominado genéricamente como Lodos Activados, las versiones más difundidas la constituyen los Lodos Activados por Aeración Extendida, a Media Carga y Convencionales.

Por otro lado, una alternativa que también puede considerarse también como Convencional en base a Cultivo Suspendido, la constituyen las Lagunas Aeradas (o aireadas), cuyas versiones más difundidas corresponden a Lagunas Aeradas a Mezcla Completa, Lagunas Aeradas Multicelulares y Lagunas Aeradas Facultativas.

Finalmente, y a diferencia de las alternativas biológicas, el Tratamiento Físicoquímico no involucra el mejoramiento de la calidad de las aguas servidas por medio de un proceso biológico, sino fundamentalmente por reacción física y química sobre la base de adición de reactivos específicos.

Estos sistemas cuentan con componentes unitarias de tratamiento de tipo físico (sedimentación, flotación, filtración, etc.) donde tienen lugar reacciones estequiométricas ante la adición de ciertos reactivos dados (coagulantes, polielectrolitos, polímeros etc.).

Considerando lo anteriormente establecido, el espectro de alternativas de sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas del tipo Centralizado puede sistematizarse del siguiente modo:

- BIOLÓGICOS.
 - Sistemas No Convencionales.
 - Lagunas de Estabilización Facultativas.
 - Lagunas Anaeróbicas.
 - Wetlands.
 - Sistemas Convencionales.
 - Cultivo Fijo.
 - Biofiltros o Filtros Percoladores.
 - Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios.
 - Cultivo Suspendido.
 - Aeración Extendida.
 - A Media Carga.
 - Convencionales.
 - Lagunas Aeradas.
 - A Mezcla Completa.
 - Multicelulares.
 - Facultativas.
- FISICOQUÍMICO.

Las alternativas del tipo No Convencional son en general sistemas naturales, y en la mayoría de ellos no se cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema, no pudiendo en consecuencia

asegurar la calidad exigida por la normativa vigente como promedio diario en forma estable. En el actual estado del arte en el país, ello las torna inviables como solución, especialmente considerando el número mínimo de muestras mensuales de control exigidas. Adicionalmente, ante cualquier desestabilización del sistema la calidad del efluente puede deteriorarse por largos periodos de tiempo.

Las alternativas de tratamiento del tipo Convencional presentan también un amplio espectro de posibilidades, dentro de las cuales, las de tecnología establecida más importantes son las siguientes:

- **Cultivo Suspendido Aeróbico (Lodos Activados)**

En estos sistemas, la biomasa se mantiene en agitación en un Estanque de Aeración desde donde pasa a una unidad de Sedimentación. La biomasa sedimentada es devuelta parcialmente al tratamiento biológico para mantener una población microbiana adecuada, y una parte se purga del sistema como lodo en exceso.

- **Cultivo Fijo (Lechos Bacterianos)**

Los Lechos Bacterianos son reactores de Cultivo Fijo, donde los microorganismos se desarrollan adheridos a un lecho o medio de soporte (el cual puede ser fijo o móvil) en forma de superficies de cultivo, asemejando una carpeta biológica (mucilago o capa mucilaginoso). El material del medio de soporte puede ser roca, madera o plástico, teniéndose entre 45 y 200 m² de superficie específica por cada metro cúbico para el desarrollo de la carpeta biológica.

El sustrato es aplicado en forma intermitente y alternado con periodos de aeración en los cuales se produce la fase de respiración de los microorganismos.

- **Tratamiento Físicoquímico**

A diferencia de las alternativas Biológicas (por cultivo fijo o suspendido) detalladas anteriormente, el tratamiento Físicoquímico no involucra el mejoramiento de la calidad de las aguas servidas por medio de un proceso biológico, sino fundamentalmente por reacción física y química sobre la base de adición de reactivos específicos.

El dimensionamiento de este sistema responde fundamentalmente al comportamiento de los aguas servidas frente a ciertas componentes unitarias de tratamiento de tipo físico (sedimentación, flotación, filtración, etc.) y a reacciones estequiométricas ante la adición de ciertos reactivos dados (coagulantes, polielectrolitos, polímeros etc.).



Construcción de Sistema de Agua Potable Rural en Isla de Rey. Corral, Región de Los Ríos.

La adición de coagulantes permite la aglomeración de las partículas presentes en las aguas servidas, formándose partículas de mayor tamaño, llamadas flóculos, que son más fáciles de remover que las partículas de las aguas servidas crudas. La mayor o menor formación de flóculos, así como su tamaño y peso, dependerá del tipo y cantidad de floculante empleado.

- **Adopción de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas en el Sector Rural**

A la luz de lo descrito en los numerales anteriores, se puede concluir que los sistemas Centralizados de tratamiento de aguas servidas del sector Rural, que pueden dar cuenta de la normativa vigente, presentan las siguientes características:

- Las alternativas de tratamiento de aguas servidas del tipo Biológico Convencional en las versiones de Lodos Activados por Aeración Extendida son las que mejor se adecuan, puesto que son las que cuentan con mayores variables operativas de control y pueden alcanzar el grado de tratamiento más restrictivo exigido por la normativa vigente.
- Las alternativas de tratamiento en base a Lagunas Aeradas, deben corresponder a la configuración definida anteriormente (Laguna Aerada a Mezcla Completa con un Tiempo de Retención no inferior a 3 [días], seguida de dos Lagunas de Sedimentación parcialmente aeradas en serie, cada una con un Tiempo de Retención entre 1 y 2 días descontando el volumen ocupado por el lodo en las Lagunas de Sedimentación). Dicha configuración tiene mayor simplicidad operativa que la alternativa en base a Lodos Activados por Aeración Extendida y permite la deshidratación discontinua de lodos (p.e. una vez al año durante la época de verano), pero exige de un estricto seguimiento operacional si debe dar cuenta de la calidad más restrictiva exigida por la normativa vigente.
- Las alternativas de Cultivo Fijo (Biofiltros y Biodiscos) tienen menor costo de operación que las de Cultivo Suspendido, pero no alcanzan el grado de remoción de estas últimas, lo que implica que si se debe dar cuenta de la calidad más restrictiva exigida por la normativa vigente, no pueden asegurar su cumplimiento a todo evento. Adicionalmente, al considerar los Biodiscos, determinados tipos de aguas servidas deben estar sujetos a pretratamiento obligado (especialmente cuando contienen una cantidad apreciable de grasas y aceites), puesto que de no hacerlo los biodiscos se pueden desequilibrar cuando los esfuerzos al eje no están simétricamente distribuidos a lo largo de la componente. Adicionalmente, presentan un alto costo de Mantenimiento, debido principalmente a fallas en los motorreductores y los ejes. De hecho la experiencia a escala nacional en localidades con esta tecnología no muestra operación adecuada, estando la mayoría de ellos fuera de servicio.



En cuanto al tratamiento denominado “Sistema Tohá®” (o Lombrifiltro) de origen nacional, actualmente existen en el país del orden de 90 plantas en operación, y considerando las ventajas en término de Costos de Inversión y fundamentalmente de Operación con respecto a otras tecnologías y que tienen una simplicidad operativa muy adecuada para su aplicación en el Sector rural, en el Apéndice 5 del presente Informe se presenta una descripción más detallada del Sistema

- Las alternativas en base a Tratamiento Físicoquímico no alcanzan el grado de remoción de las demás alternativas, implican una operación intensa (manipulación y dosificación constante de reactivos), generan lodos menos aptos para disposición que las demás alternativas y llevan asociados potenciales riesgos ambientales y de salud que no tornan viable su adopción como planta adecuada.

Considerando lo anterior, las alternativas de tratamiento Centralizado aplicables en el sector Rural cuando se debe dar cuenta de la normativa vigente, son a juicio de esta Consultora las del tipo Biológico Convencional en las versiones de **Lodos Activado por Aeración Extendida y Lagunas Aeradas Multicelulares**.

- **Lodos Activados por Aeración Extendida**

En términos generales, los Lodos Activados constituyen un sistema en que se mantiene determinada biomasa en agitación en un estanque de aeración, donde tiene lugar el tratamiento biológico. Siguiendo el circuito de la fase líquida, el agua servida cruda llega a la planta ingresando al tratamiento preliminar (rejas, desgrasado y desarenación), luego de lo cual se mezcla con los lodos activados de recirculación y se distribuye a los tanques de aeración. El licor mezclado formado en los tanques de aeración se separa del efluente tratado en las componentes unitarias de sedimentación secundaria para retornarlo parcialmente al tratamiento biológico de modo de mantener una población que permita una adecuada razón alimento /microorganismos (F/M), y purgar el resto del sistema como lodo en exceso. El efluente final se desinfecta mediante cloración y se descarga al curso receptor.

En cuanto al circuito de la fase sólida, el material resultante del tratamiento preliminar (material cribado y arenas) se transporta periódicamente fuera de la planta para su disposición final.

Los lodos activados de exceso provenientes de un proceso por Aeración Extendida estarán estabilizados, por lo cual no necesitarán estabilización adicional y serán espesados para posteriormente ser secados mecánicamente antes de ser conducidos a canchas de acopio, desde donde se transportan a su disposición final.



El comportamiento esperado del sistema en términos de remoción de los parámetros de interés, obedece al detalle del siguiente recuadro:

PARÁMETRO	% REMOCIÓN	
DBO	90 – 35	
Nitrógeno Total	15 – 30 70 – 95	Tratamiento Secundario Convencional Incluyendo Desnitrificación
Fósforo Total	10 – 25 70 – 90	Tratamiento Secundario Convencional Incluyendo Remoción adicional de N y P o Remoción Química de Fósforo
Coliformes Fecales	60 – 90	

En términos bacteriológicos, la remoción alcanzada no es suficiente para dar cuenta de lo establecido por la normativa vigente, por lo cual esta configuración debe incorporar Desinfección al final del sistema de tratamiento.

- **Lagunas Aeradas**
 - **Lagunas Aeradas a Mezcla Completa**

En las Lagunas Aeradas a Mezcla Completa, se provee aeración artificial a un nivel tal que satisfaga los requerimientos necesarios de oxígeno, y a una potencia tal que todos los sólidos se mantengan en suspensión. Esto hace que este proceso pueda ser asimilado a un lodo activado sin recirculación.

Los sólidos en suspensión salen con el efluente, por lo que se requieren componentes unitarias complementarias para la Sedimentación de lodos, los que se digerirán anaeróbicamente en las unidades, permitiendo adicionalmente obtener una baja producción de lodos.

Desde el punto de vista de los criterios de dimensionamiento, y considerando que las Lagunas Aeradas a Mezcla Completa pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación, se cuenta con Criterios de Diseño claramente definidos, exponiéndose a continuación los más relevantes, de acuerdo a la metodología presentada por Pedro Alem en el Seminario “Tecnologías de Tratamiento de bajo Costo”, Santiago 1993.

- Profundidad usual 2,5 – 5 [m]
- Período de Retención 2 – 5 días
- Demanda de Oxígeno 1,25 [KgO2/KgDBO]

Por otro lado, la laguna posterior de Sedimentación tiene por objetivo acumular y digerir anaeróbicamente los sólidos. Se estima una reducción de volumen por digestión anaeróbica de un 50-60 % el primer año y del orden de 40% el segundo año. El lodo debe ser purgado en forma continua o semicontinua para no acumular más que lo que se dispone para tales efectos.

El comportamiento esperado del sistema en términos de remoción de los parámetros de interés, obedece al detalle del siguiente recuadro:

PARÁMETRO	% REMOCIÓN
DBO	50 – 60 80 – 90 incluyendo Laguna Sedimentación
Nitrógeno Total	No Nitrifica
Fósforo Total	No Remueve
Coliformes Fecales	90 – 99

En términos bacteriológicos, la remoción alcanzada no es suficiente para dar cuenta de lo establecido por la normativa vigente, por lo cual esta configuración debe incorporar Desinfección al final del sistema de tratamiento.

- **Lagunas Aeradas Multicelulares**

El sistema en base a Lagunas Aeradas Multicelulares está configurado en base a 2 etapas secuenciales, la primera de las cuales está destinada a remover la materia orgánica biodegradable de las aguas servidas (en una primera laguna) y la segunda para la sedimentación, estabilización y almacenamiento de los sólidos sedimentados (en dos o más lagunas en serie).

En la primera etapa, se requiere mantener todo los Sólidos en suspensión, por lo que se exige una potencia de mezcla (W/m³) que asegure la mezcla completa, en tanto que en la segunda etapa se debe alcanzar suspensión parcial de los sólidos a una potencia de aeración adecuada.



Inspección de Obras del Sistema de Agua Potable Rural en Isla de Rey. Corral, Región de Los Ríos.

Desde el punto de vista de los criterios de dimensionamiento, y considerando que las Lagunas Aeradas Multicelulares también pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación, se cuenta con Criterios de Diseño claramente definidos, siendo los más relevantes los siguientes.

- Laguna Aerada a Mezcla Completa.
 - Tiempo Retención 2 a 3 días
 - Demanda de Oxígeno 1,25 [KgO₂/KgDBO]
 - Capacidad Mezcla 5 – 6 W/m³.

- Lagunas Parcialmente Aeradas
 - Tiempo Retención 0,7 – 1,0 día
 - Capacidad de Mezcla 1 – 2 W/m³

El comportamiento esperado del sistema en términos de remoción de los parámetros de interés, obedece al detalle del siguiente recuadro:

PARÁMETRO	% REMOCIÓN
DBO	50 – 60 80 – 90 incluyendo Laguna Parcialmente Aeradas
Nitrógeno Total	No Nitrifica
Fósforo Total	No Remueve
Coliformes Fecales	90 – 99

- **Análisis del Grado de Remoción de las Lagunas Aeradas y el Cumplimiento del DS 90/00**

Analizando los numerales anteriores, se puede apreciar que el grado de remoción de DBO de las Lagunas Aeradas Facultativas es menor al que alcanzan las Lagunas Aeradas a Mezcla Completa y Lagunas Aeradas Multicelulares, lo que sumado a las características de su propia configuración no permite asegurar que se alcance la calidad establecida al efluente a todo evento.

En cuanto al resto de las Lagunas Aeradas (Mezcla Completa y Multicelulares), cualquiera de las configuraciones entregará una calidad de efluente en el rango de 30 a 40 mg/l, pudiendo algunas

muestras llegar a valores más elevados cuando ocurran eventos como ascenso de sólidos de la zona de lodo de las lagunas de sedimentación donde tiene lugar la estabilización anaeróbica, por lo que es difícil producir un efluente final inferior a 35 mg/l de DBO a todo evento.

En relación a la remoción de Nitrógeno y Fósforo, ninguna de las alternativas de lagunas aeradas remueve más de un 10% ya que básicamente todo el lodo volátil biodegradable será destruido en el sistema, liberando el Nitrógeno y Fósforo removidos en el agua servida en el proceso de síntesis.

Considerando lo anteriormente establecido, el análisis comparativo del grado de remoción alcanzado por las diferentes alternativas en término de los parámetros de interés mostrado anteriormente, puede resumirse del siguiente modo:

PARÁMETRO	L Activado	LAMComp	LAMultic	LAF
DBO	90 – 95	80 – 85	80 – 85	70 – 80
Sólidos Suspendedos Totales	90 – 95	80 – 90	80 – 90	80 – 90
Nitrogeno Kjeldahl Total	Nitrif Completa	No Nitrifica	No Nitrifica	Nitrif Parcial
Fósforo Total	10 – 25	No remueve	No remueve	Mínima

Finalmente, cabe destacar que para el escenario de descarga a cuerpos de agua con dilución, pueden considerarse otras alternativas de tratamiento como Tratamiento Biológico por Cultivo Fijo, pero cuyos costos de inversión y operación no serán inferiores a las de Lagunas Aeradas Multicelulares.

Otros tipos de tratamiento como Primario solo o Químicamente Asistido (CEPT) aún pudiendo tener costos de Inversión y/u Operación más bajos, llevan asociados potenciales riesgos ambientales y de salud que no tornan viable su adopción como planta eficiente, por lo cual no se recomienda considerarlas como alternativas viables.

Las configuraciones de tratamiento señaladas y la definición de las alternativas de tratamiento a adoptar en función de los escenarios de descarga (y la correspondiente normativa asociada en términos de calidad del efluente) pueden resumirse del siguiente modo:

La alternativa por Lodos Activados puede dar cuenta de cualquier grado de tratamiento requerido en términos de todos los principales parámetros de interés, en tanto que la configuración de la tecnología en base a Lagunas Aeradas (Lagunas Aeradas Multicelulares) puede dar cuenta de la DBO y SST pero tienen reducida capacidad de remoción de nutrientes.

Considerando lo anterior, la definición de las alternativas de tratamiento a adoptar en función del escenario de descarga (cuerpo de agua sin capacidad de dilución) puede resumirse del siguiente modo:

- **Lodos Activados por Aeración Extendida**

El sistema de tratamiento en base a Lodos Activados por Aeración Extendida cumple con los parámetros críticos establecidos por la normativa en forma independiente de la calidad de afluente y sin necesidad de incorporar componentes adicionales.

- **Lagunas Aeradas Multicelulares**

Cumplen con los parámetros establecidos por la normativa con una concentración afluente propia de aguas servidas domésticas (300 mg/l). Mayores concentraciones de DBO requerirán de mayores áreas fondo de las lagunas parcialmente aeradas y mayores periodos de retención.

En relación a la remoción de Nutrientes, el sistema tiene capacidad reducida de remoción de nutrientes aún cuando el diseño se realice desde el lado de la seguridad, por lo que el cumplimiento o no de lo prescrito por la normativa dependerá de la concentración de estos parámetros en el afluente.

La reducción de NKT lleva asociada la necesidad de complementar el tratamiento, normalmente por medio de Carbón Activado, Stripping del Amoníaco o por medio de Cloración. Las dos primeras alternativas llevan asociados altos costos de inversión y operación y la necesidad de vigilancia operacional permanente, en tanto que la adición de Cloro exige cantidades que pueden tornar la solución técnica, ambiental y económicamente inviable.

No obstante, si el grado de remoción del NKT debe ser menor al 5 – 10 % las Lagunas Aeradas podrían dar cuenta del efluente mediante un aumento en la dosificación de Cloro en la Cámara de Contacto.

A la luz de lo anterior, la principal conclusión a que se puede arribar es que al igual que en el caso del Saneamiento Descentralizado, no es posible definir la tecnología de tratamiento a implementar solamente en función de la población, toda vez que también dependerá de otros factores como la calidad requerida por la normativa de emisión en función del escenario de descarga, etc.

En cuanto a los costos de Inversión de los sistemas de tratamiento, resultan significativamente altos dado el orden de población involucrada (en general menor a 1000 habitantes).



Agua Potable Rural, Maica, Región de la Araucanía.



Instalación de Sistema de Agua Potable Rural, Maica Alto y Bajo, Región de la Araucanía.



6.4.2 / Costos de Inversión, Operación y Mantenimiento

Al igual que en el caso de los sistemas Descentralizados, no es posible definir los Costos de Inversión de la tecnología de tratamiento solamente en función de la población, toda vez que también dependerán de otros factores como las condiciones geográficas locales, precios unitarios de la zona, etc.

No obstante, y a objeto de contar con costos referenciales de las alternativas de tratamiento aplicables al sector Rural, se elaboró un Modelo de Costos, estructurado en base a Modelos Principales y Modelos Auxiliares.

Considerando el rango de población del análisis, los Modelos Principales considerados corresponden a las siguientes tecnologías:

- Lodos Activados por Aeración Extendida.
- Lagunas Aeradas Multicelulares.

Los Modelos Auxiliares contemplan planillas referidas a la valorización de la infraestructura requerida como Cañerías de distintos materiales en todos los diámetros comerciales, Planta Elevadora de Aguas Servidas, Estanques Circulares y Rectangulares de Hormigón Armado, Curvas de Costos de Equipos, etc.

El resto de los elementos de Costo se completó con planillas más simples que permiten obtenerlos a través de parámetros específicos de diseño, como por ejemplo:

- Cámara de Rejas, por rango de Caudal.
- Canaleta Parshall por rango de Caudal.
- Instalaciones Eléctricas por rango de Potencia.
- Edificios, Bodegas, Galpones y Casetas por área (m²).

Una vez efectuados los dimensionamientos de los sistemas de tratamiento para las distintas poblaciones servidas, se procedió a la valorización de los Costos de Inversión de cada una de ellas por medio del Modelo de Costos, considerando las características específicas de las localidades analizadas de la zona central del país.

En el Modelo, los Costos de Inversión de las PTAS propiamente tales se subdividieron básicamente en Obras Civiles y Equipos, de acuerdo al siguiente detalle:

- **Obras Civiles**

Los costos de Obras Civiles se calcularon sobre la base de las cubicaciones de las obras proyectadas a nivel de Ingeniería Conceptual y los respectivos precios unitarios referenciales.

Las obras incluidas en el análisis de Costos de Inversión de los sistemas de tratamiento son las siguientes:

- Tratamiento Preliminar (Cámara de Rejas manual o mecanizada).
- Tratamiento Biológico.
- Desinfección.
- Tratamiento, Deshidratación y Disposición de Lodos.
 - Lechos de Secado para Lagunas Aeradas Multicelulares.
 - Espesamiento y Deshidratación mecanizada en PTAS en base a Lodos Activados para poblaciones mayores a 1.000 habitantes.
- Edificaciones y Obras de Urbanización.
 - Control y Comando, Bodega y Grupo Electrónico.
 - Galpón insonorizado para Sopladores (los Generadores se consideraron con insonorización incorporada).
 - Sala Cloración.
 - Camino Acceso.
 - Urbanización del recinto PTAS, incluyendo caminos interiores y cierros.
 - Red Agua Potable.
 - Alcantarillado del recinto.

- **Equipos**

Los Costos de los Equipos contemplados para cada alternativa de tratamiento dimensionada, se calcularon sobre la base de cotizaciones de los distintos ítems durante el estudio.

Considerando la población asociada y el número de alternativas analizadas, la metodología consistió en obtener cotizaciones para distintos tamaños de cada equipo considerado, a partir de los cuales se generó la consecuente Curva de Costos en función de la variable asociada (p.e. Sopladores por Potencia [HP ó KW], etc.).

Una vez generada la Curva, se pueden obtener los Costos de Inversión de los Equipos en función del requerimiento que arrojó el dimensionamiento, los que fueron alimentados directamente a la Planilla de Presupuesto.

- **Desglose de los Costos de Inversión**

Los Costos de Inversión se desglosaron del siguiente modo:

- **Conducciones.**
 - Emisario afluyente.
 - Emisario de descarga.
- **Plantas elevadoras de aguas servidas (PEAS).**
- **Plantas de tratamiento de aguas servidas.**
 - Costos directos
 - Costos directos a.
 - Urbanización
 - Edificaciones
 - Obras civiles
 - Interconexiones hidráulicas.
 - Equipos
 - Obras eléctricas
 - Montaje equipos (10 % costo de los equipos y obras eléctricas)
 - Obras especiales (según localidad)
 - Costos directos b
 - Costos directos a.
 - Puesta en marcha (3 % de los costos directos a).
 - Costos indirectos
- Gastos generales y utilidades (32 % costos directos)
 - Ingeniería e inspección de obras (9 % costos directos)
 - Instalación de faenas (1,5 % de los costos directos).

La estimación de los Costos de las PTAS obedecerá a la siguiente relación:

$$\text{Costo Total} = \text{CD} * (1 + \text{IF}) * (1 + \text{GGyU}) * (1 + \text{INGyITO})$$

- **OTRAS INVERSIONES.**
 - Terreno.



Construcción Sistema de Alcantarillado de Hurtado. Río Hurtado, Región de Coquimbo.

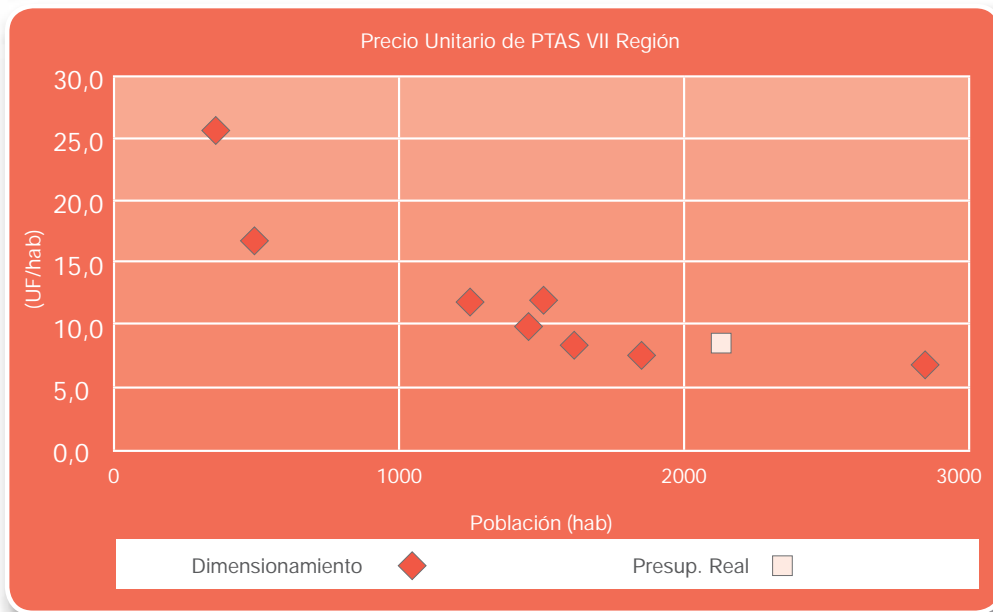


- **INFRAESTRUCTURA DE APOYO.**
 - Macromedidores.
 - Equipo Generador.

En el gráfico siguiente se muestran los Costos referenciales para Plantas en base a Lodos Activados por Aeración Extendida y Lagunas Aeradas Multicelulares.

- **Costos Referenciales Plantas en Base a Lodos Activados por Aeración Extendida**

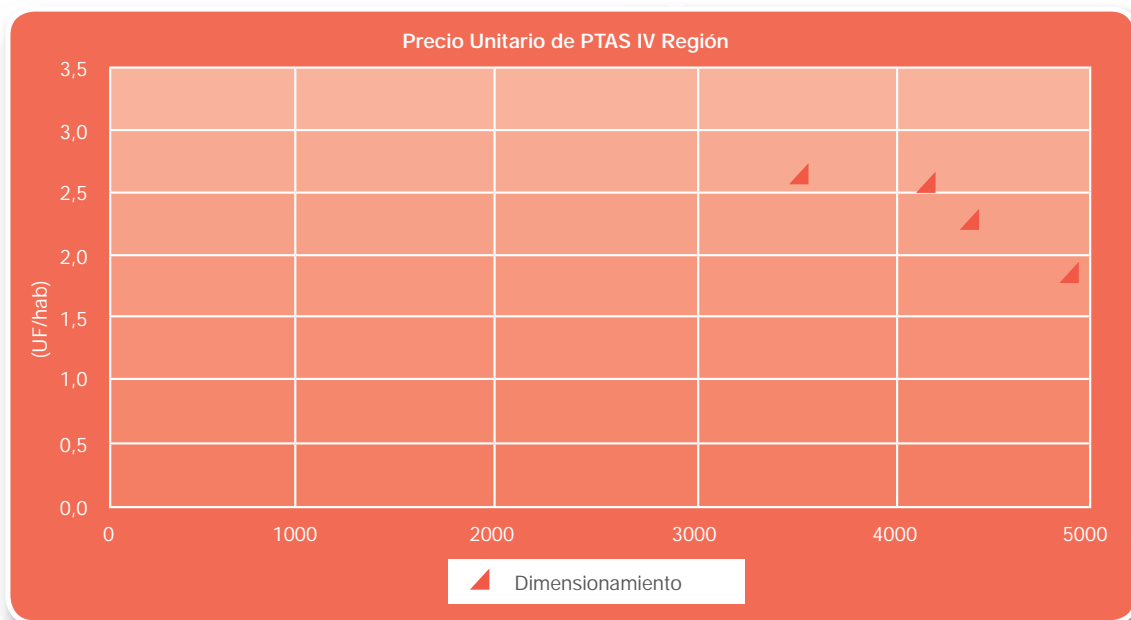
Gráfico N°1



Analizando el gráfico anterior, se puede apreciar que los Costos Unitarios [UF/habitante] de Inversión de Lodos Activados resultan elevados, debiendo destacar que es viable efectuar reducciones al evaluar plantas Compactas en base a Lodos Activados (en consideración a que los dimensionamientos se hicieron considerando componentes unitarias separadas), pero siempre dentro del rango encontrado.

- **Costos Referenciales Plantas en Base a Lagunas Aeradas Multicelulares**

Gráfico N°2



Al igual que en el caso anterior, los Costos de Inversión referenciales señalados resultan elevados, pero menores a los de los sistemas en base a Lodos Activados.

6.5 / Principales Conclusiones

Como se puede apreciar del análisis ilustrativo mostrado para poblaciones de localidades de la zona central del país, los Costos de Inversión y Operación referidos a sistemas de tratamiento que deben dar cuenta de la normativa vigente resultan más caros mientras más pequeña sea la población.

En el caso de las poblaciones del sector rural, ello se torna más dramático, puesto que los Costos de Inversión de sistemas de tratamiento en base a Lodos Activados se encuentran entre 11 y 5 UF/Hab para poblaciones entre 1.000 y 5.000 habitantes.

En el caso de las Lagunas Aeradas Multicelulares, los Costos de Inversión son más bajos que los de Lodos Activados (60 – 75 %), al igual que los Costos de Operación. Si a ello se suma el hecho que los lodos de estos sistemas permanecen en la laguna por un año antes de ser evacuados (a diferencia de los Lodos Activados que requieren remoción continua de lodos) y que tienen mayor simplicidad operativa, se aprecia la conveniencia de considerar esta alternativa como solución para el sector rural.

Asimismo, el ejemplo ilustrativo muestra que no es posible definir la tecnología de tratamiento a implementar solamente en función de la población, toda vez que también dependerá de otros factores como las condiciones locales, calidad requerida por la normativa de emisión en función del escenario de descarga, etc.



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Trihueche. Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

7. Definición Ámbito Rural

En este punto se abordó el análisis y caracterización de los sistemas de Abastecimiento de Agua Potable Rural existentes en localidades con población rural concentrada, en lo que dice relación con factores asociados a su gestión, tipo de organización y tamaño de los servicios, etc. Sobre esta base, se propone tanto un tipo de organización adecuada como las condiciones y requerimientos necesarios para la implementación de nuevas soluciones de Saneamiento Rural en localidades rurales semi concentradas y dispersas.

Para este desarrollo se consideraron los siguientes aspectos:

- El Agua Potable Rural y el Saneamiento son abordados teniendo en cuenta que el agua es:
 - Un Bien Social.
 - Un Recurso Natural.
 - Un Bien Económico.
- El conjunto de instituciones, leyes, reglamentaciones, normativas, recursos humanos y bienes relacionados con la prestación de los Servicios de AP y Saneamiento, los que presentan las siguientes características especiales:
 - Los servicios son básicamente locales, propios de cada localidad.
 - Los servicios son monopólicos, por razones técnicas y económicas.
 - La prestación de los servicios es una actividad industrial.
 - La rentabilidad es baja.
- Sostenibilidad y Sustentabilidad de los proyectos
- Comunidad: si bien las alternativas técnicas de las soluciones están determinadas por la caracterización geográfica y la disponibilidad técnica y económica, no es menos cierto que las alternativas organizacionales estarán dadas por las características culturales, étnicas, etáreas, y demográficas; la diversidad social y de género existente; las modalidades de organización y la participación de los distintos grupos sociales locales

A la luz de lo anterior, es necesario tener en cuenta que, la implementación de todo proyecto de saneamiento ambiental generará cambios importantes en la vida de las personas y, por ende, provocará impactos sociales. Un proyecto será más eficiente y logrará mejores resultados, aceptación y sentido de pertenencia, si la comunidad está involucrada en la identificación de las necesidades, capacidades, oportunidades y limitaciones locales frente al proyecto.

Los servicios de agua serán mejor sostenidos, desarrollados y utilizados por las comunidades cuando se den las siguientes condiciones:

- Si las instituciones y las políticas adoptadas les posibilitan el participar en el servicio desde el comienzo.
- Si se toman decisiones informadas acerca del tipo de gestión del servicio y los sistemas de financiamiento.
- Si se desarrollan capacidades para mantener y gestionar los servicios de manera tal que las cargas y los beneficios sean compartidos equitativamente.

Por último, la autosostenibilidad de los servicios es producto de un trabajo técnico y administrativo que involucra tanto a operadores como a la comunidad. Por ello, deben darse las condiciones adecuadas para que los operadores adopten y potencien habilidades y capacidades técnicas, administrativas y de gestión empresarial de los servicios rurales.



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Trihueche. Nueva Imperial, Región de La Araucanía.



7.1 / Servicios de Agua Potable Rural

El número de servicios de Agua Potable Rural existentes a diciembre de 2005, asciende a 1.432; 149 de las cuales, son de carácter peri urbano. La distribución regional de estos Servicios según el número de Arranques puede resumirse del siguiente modo:

Región	Arranques			Total servicios
	Menos 250	251 a 499	500 o más	
I	27	1	0	28
II	3	1	1	5
III	28	2	0	30
IV	124	24	7	155
V	105	26	10	141
VI	123	49	22	194
VII	195	51	15	261
VIII	126	21	13	160
IX	138	8	8	154
X	138	23	10	171
XI	25	3	1	29
XII	3	2	0	5
RM	53	25	21	99
Total	1088	236	108	1432

Fuente: MOP

Según el cuadro anterior, se puede apreciar que los APR tipificados como pequeños tienen presencia en todas las regiones del país, concentrándose entre la IV y la X región. De igual modo, los sistemas tipificados como medianos y grandes, también encuentran presencia mayoritaria en las mismas regiones, debiendo destacar que los sistemas grandes no se encuentran presentes en la I, III y XII regiones.

Por otro lado, desde el punto de vista organizacional, existen a nivel nacional 1.187 Comités que operan servicios de Agua Potable Rural en 255 comunas, con presencia en todas las regiones del país.

De igual modo, de un total de 147 cooperativas inscritas, 124 se encuentran operando sistemas de APR en 77 comunas pertenecientes a la IV, V, VI, VII, VIII y XIII regiones.



7.2 / Aspectos Relevantes a Considerar en el Ámbito Social

A la luz de las entrevistas realizadas y la información disponible recopilada, los siguientes aspectos se consideran relevantes del ámbito social:

- Falta soporte y apoyo técnico permanente para la mantención de la infraestructura, lo que se traduce actualmente en falta de capacitación de los operadores para dar solución a problemas mayores relacionados con la operación y mantención de los equipos electromecánicos de los sistemas de tratamiento.

Adicionalmente, se debe considerar el apoyo que este tipo de servicios requiere en relación a la gestión administrativa y financiera del servicio, especialmente en lo referido a estructurar tarifas que contemplen aspectos como la reposición o reemplazo de infraestructura y las ampliaciones que el servicio necesariamente experimentará en su vida útil.

- Se debe estructurar y completar un marco legal y regulatorio que incorpore conceptos como "áreas de concesión", "tarifas eficientes", "obligaciones y deberes del administrador", etc.

Dichos conceptos se encuentran incorporados hoy en día a la gestión de las grandes empresas a través del marco legal que las rige.

No obstante, no se trata de traspasar cabalmente la totalidad de los conceptos presentes en la gestión de las concesionarias, sino más bien en detectar los aspectos más relevantes y adecuarlos a la realidad del mundo rural, especialmente aquellos que constituyen un aporte a la gestión de los APR.

- Se debe considerar el apoyo y respaldo técnico – financiero en virtud del grado de aislamiento que el servicio tenga.

El apoyo técnico y la mantención preventiva y correctiva de los equipos resulta de vital importancia en casos de aislamiento donde el centro poblado más próximo se encuentra muy retirado y de difícil acceso.



Mejoramiento y ampliación del Servicio de Agua Potable Rural de Liquiñe. Panguipulli, Región de Los Ríos.

- Se debe considerar ponderadamente la calificación técnica de un operador de Agua Potable Rural con respecto a la de un operador a cargo de un sistema de Alcantarillado y tratamiento de aguas servidas.

En el primer caso, aun cuando los equipos presentes en algunos casos requieren un conocimiento experto para la adecuada mantención y reparación de estos, la calificación del operador no requiere un conocimiento mayor de ciertos procesos.

No ocurre lo mismo al evaluar el conocimiento requerido para el tratamiento de las aguas servidas, donde la inexperiencia de un operador puede ocasionar el colapso del sistema de tratamiento o al menos el deterioro de la calidad del efluente, el que de estar sujeto a la normativa vigente, puede generar procesos de multa por incumplimiento de tratamiento.

Un aspecto que obedece a una tendencia actual a nivel de las concesionarias y que vale la pena considerar como forma de apoyo a los servicios rurales (particularmente en el caso del tratamiento de las aguas servidas), lo constituye la externalización de las labores de apoyo y mantenimiento de los servicios.

Esta modalidad puede llevar al empleo de mano de obra local con capacitación adecuada y supervisión por parte de un ente externo.

En la medida que se agrupe un conjunto de servicios que involucren una población total atractiva, este escenario se tornará más conveniente para un operador externo. Ello es válido también para Comités o Cooperativas que operan otros servicios de Agua Potable Rural de la región o fuera de ella.

- La información base del análisis corresponde a servicios de Agua Potable Rural ubicados en localidades rurales concentradas o semiconcentradas. Al respecto, se debe destacar que son los servicios de menor tamaño (hasta 250 arranques domiciliarios) los que presentan menores niveles de gestión, y que el déficit actual de soluciones dice relación precisamente con escenarios del tipo Disperso, lo cual hace prever que se enfrentarán los mismos o mayores riesgos en la gestión de los servicios.
- Desde la perspectiva del tipo de organización requerida para la operación y mantenimiento de los sistemas, se puede establecer razonablemente, que se debe tender a la utilización del tipo de organizaciones existentes en el ámbito rural.



Si se consideran los Comités y Cooperativas como organizaciones ligadas a la comunidad con casi 40 años de experiencia, la Cooperativa aparece en principio como un tipo de organización más idónea en términos de estructura organizacional. Adicionalmente, la reforma a la Ley de Cooperativas posibilitará definir el ser institución con o sin fines de lucro y abrirá también la posibilidad de que los Comités de APR se constituyan en Cooperativas, facilitando y agilizando los trámites para la obtención de esta personalidad jurídica.

- La gestión de los servicios a implementar puede mejorar significativamente si se adoptan medidas simples y básicas como las siguientes:
 - Desarrollar una campaña adecuada de información y divulgación hacia la comunidad.
 - Crear conciencia en la población en torno a los beneficios y costos del desarrollo sanitario de la localidad.
 - Hacer participar a la comunidad y organizaciones sociales existentes en las decisiones y modo de implementar las soluciones.
 - Generar comunicación interactiva con las organizaciones operadoras de servicios existentes –están presentes en todas las regiones del país– de modo que aporten su experiencia.
 - Generar instancias de Capacitación Técnica y de Gestión.

Finalmente, cabe destacar que en los puntos detallados anteriormente adquiere particular relevancia el papel del Municipio, el que se constituye en instancia de coordinación de los servicios públicos cuando desarrollan su labor en el territorio comunal, oficiando de instancia articuladora de los planes de desarrollo comunal³.

³ El municipio tiene como finalidad el satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de la comuna. Sus actividades deben estar orientadas, en el caso de los proyectos a actividades tales como la Elaboración de Programas y Proyectos específicos para el desarrollo comunal, que permitan postular a la asignación de recursos regionales, sectoriales y otros; Apoyar técnicamente a las organizaciones comunales (tanto urbanas como rurales) en la postulación a proyectos de carácter participativo, o a la obtención de beneficios individuales y colectivos tales como pavimentos participativos, agua potable, electrificación rural, vivienda, regularización de títulos de dominio, mejoramiento de caminos rurales, etcétera; Diseñar, implementar y mantener archivos de los planes, programas y proyectos elaborados por esta comunidad; etc.



8. Determinación de Tarifa Mínima Para Agua Potable y Aguas Servidas



8.1 / Introducción.

En la actualidad, los Servicios Rurales de Agua Potable corresponden a una prestación de servicios particulares y no de un servicio público, por lo cual no están sujetos a fijación tarifaria ni se rigen por la Ley de Tarifas que se aplica a los servicios públicos sanitarios.

Por otro lado, un objetivo básico de las Cooperativas y Comités a cargo de la gestión del Saneamiento (APR y Saneamiento) lo constituye el financiamiento de los Costos de Operación y capitalización para Reposiciones, lo que se debe efectuar a través del pago de la Tarifa por parte de los usuarios.

Las visitas a terreno realizadas a Servicios de APR representativos, han permitido constatar que los usuarios son reacios al pago de tarifas por concepto de Saneamiento, ya que no perciben los beneficios directos de contar con la disposición y tratamiento de las aguas servidas.

Para considerar la sustentabilidad técnica operativa del sistema, el precio a pagar (Tarifa) debería financiar los costos de administración, mantenimiento y de operación del sistema, y permitir un fondo de financiamiento para la adecuada reposición de equipos.

En el presente capítulo se efectúa una estimación de la Tarifa Promedio Mínima que deberá pagar cada vivienda por los servicios de Agua Potable y Saneamiento. Es importante destacar que las estimaciones realizadas en este capítulo son a nivel promedio y que tienen por objetivo poder contar con un rango de precios a pagar más que un costo exacto.

Se debe destacar que los 6 escenarios analizados para el Agua Potable son representaciones de condiciones medias, y que la Tarifa que de ella se genere es referencial, pudiendo tener variaciones en las obras y dimensiones de los sistemas debido a las características específicas de cada caso en particular (precios unitarios de energía eléctrica, adquisición y transporte de los productos químicos u otros en la zona geográfica, calidad del agua, cantidad de arranques, etc.) En virtud a lo anterior, la Tarifa Referencial deberá ser validada o modificada en forma particular, en analogía a lo que ocurre con la Ley de Tarifas.

El análisis que sigue a continuación considera que entre 1 a 12 viviendas las soluciones son individuales, debido a que el MOP no ha invertido en soluciones que abordan menos de 12 Viv/Km.

4.- Determinación de la Tarifa mínima del m³, considerando la cantidad de arranques conectados y un consumo mínimo por arranque de 10 m³ para el caso del AP y 8 m³ para el caso de AS.



8.3 / Cálculo de Tarifas Mínimas Agua Potable Rural (Ap)

Cálculo de Tarifas Mínimas Ap Casos 1 al 6

Los resultados obtenidos de la Tarifa mínima para los 6 escenarios graficados en el Apéndice 1, muestran que el costo de operación es el más importante para cada nivel de demanda (100, 15 y 1 vivienda), cuyo ítem más importante es el de remuneraciones. Sin embargo, para los casos del 3 al 6, en particular el de 1 vivienda, el costo más importante es el costo de mantenimiento.

En el siguiente cuadro se resumen las tarifas mínimas estimadas para cada caso y escenario, el que obedece al siguiente detalle:

Cuadro N° 8.1

Resumen de las Tarifas Mínimas Estimadas para cada Caso y Escenario

Casos	Nivel		
	100 Viviendas	15 Viviendas	1 Vivienda
1 y 2	441	921	581
3 y 4	402	762	367
5 y 6	433	877	458

A la luz del cuadro anterior, se puede apreciar que la tarifa más alta en AP corresponde a los casos 1 y 2 en el nivel de 15 viviendas con un total de 921 \$/m³, en tanto que la tarifa mínima corresponde a los casos 3 y 4 para el nivel de una vivienda con un valor de 367 \$/m³.

Si se analiza el nivel de 100 viviendas la dispersión de la tarifa entre los casos es baja, fluctuando entre \$ 400 y \$ 440. Este valor se puede explicar por cuanto que ante una mayor concentración se producen economías de escalas más altas y, por lo tanto, tarifas menores.

Por otro lado, se deberían esperar menores tarifas cuando hay una mayor cantidad de viviendas conectadas al sistema de Agua Potable. No obstante, existe un punto de inflexión donde la curva cambia de pendiente, debido a que también implica mayor cantidad de obras asociadas y un sistema más complejo.

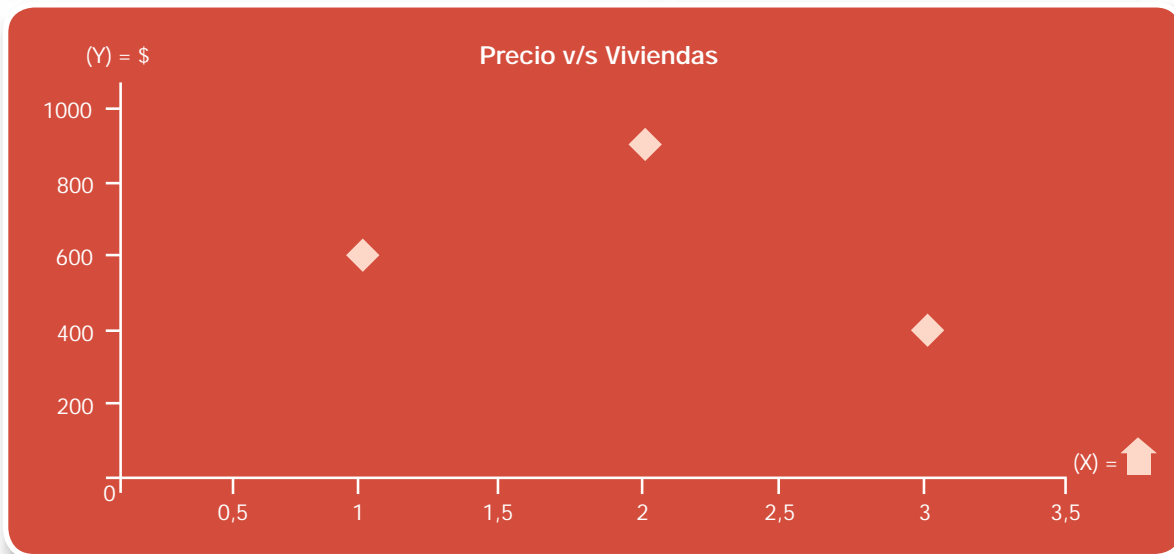
En el siguiente gráfico se muestra la relación existente entre precios y cantidad de viviendas para los Casos 1 y 2:



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Putemun. Castro, Región de Los Lagos.



Gráfico N°3
 Relación entre precios y cantidad de viviendas para los Casos 1 y 2



8.4 / Cálculo de Tarifas Mínimas Tratamiento de Aguas Servidas

El costo de operación es el más importante del costo total tanto para las soluciones individuales, como para soluciones en base a Lodos Activados y Lagunas Aereadas Multicelulares.

Cálculo de Tarifas Mínimas de Agua Servida Individual

La solución individual es independiente de la cantidad de viviendas, por lo que independientemente de ello, se tendrá la misma tarifa. Por lo anterior, en los siguientes cuadros se muestra los resultados obtenidos utilizando la misma metodología de cálculo que en el sistema de agua potable.

En el siguiente cuadro se muestra el cálculo de la tarifa mínima mensual por m³, para lo cual se asume un consumo promedio de 8 m³ por arranque:

Cuadro N° 8.2

Tarifa Mínima Mensual por m3 para los 3 Escenarios de Solución Individual

Tarifa Mínima Mensual por m3	Individual		
	X>2	1<X<2	x<1
Tarifa Mínima Mes 8 m3	2.102	4.832	7.740
N° de Arranques	1	1	1
Tarifa Mínima por arranque	2.102	4.832	7.740
Consumo Mínimo por Arranque (m3)	8	8	8
Tarifa Mínima por m3 (\$)	263	604	968

Nota: X>2 La napa se encuentra a más de 2m. por debajo del nivel del terreno
 1<X<2 La napa se encuentra entre 1 y 2m. por debajo del nivel del terreno
 X>1 La napa se encuentra a menos de 1m. por debajo del nivel del terreno

A la luz del cuadro anterior, se puede apreciar que la tarifa mínima se da donde la napa se encuentra a más de 2m con un valor de 263 \$/m3; luego, la más alta se encuentra donde la napa está a menos de 1m con 968 \$/m3.

Cálculo de Tarifas Mínimas Lodos Activados

Para la estimación de la presente tarifa se ha utilizado las siguientes partidas de costos:

- Costos Fijos
 - Personal: administración y de operación.
 - Gastos Administrativos
 - Mantenimiento
- Costos Variables
 - Energía Eléctrica
 - Reactivos
 - Retiro y Transporte de Lodos
 - Polímeros
 - Control de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

– En cuanto al número de arranques se utiliza una densidad habitacional de 4 habitantes por vivienda.

A luz de lo calculado se infiere que los pesos relativos en general se mantienen en ciertos niveles, debiendo destacar que los costos fijos tienen una menor participación en la medida que aumenta la población, debido a que sus costos se reparten entre más habitantes.

En el siguiente cuadro se muestra el cálculo de la tarifa mínima mensual por m³:

Cuadro N° 8.3
Cálculo de la Tarifa Mínima Mensual por m³ Lodos Activados

POBLACIÓN	COSTOS MENSUAL	N° DE ARRANQUES	TARIFA MÍNIMA POR ARRANQUE (\$)	CONSUMO POR ARRANQUE (M ³)	TARIFA MÍNIMA POR M ³ (\$)
873	2.506.103	219	11.443	10	1.144
1.375	2.899.110	344	8.428	10	843
1.478	2.928.730	370	7.915	10	792
2.843	3.356.022	711	4.720	10	472
3.687	3.802.244	922	4.124	10	412
4.250	4.052.012	1.063	3.812	10	381
5.036	3.582.767	1.259	2.846	10	285
6.445	3.989.319	1.612	2.475	10	247

A la luz del cuadro anterior, se puede apreciar que la tarifa mínima se da con una población 6.445 habitantes, con un valor de 247 \$/m³, en tanto que la más alta se encuentra con una población de 873 habitantes con 11.144 \$/m³.

Cálculo de Tarifas Mínimas Laguna Aereada Multicelular

En el siguiente cuadro se muestra el cálculo de la tarifa mínima mensual por m³:

Cuadro N° 8.4

Cálculo de la Tarifa Mínima Mensual por m³ Laguna Aerada Multicelular

POBLACIÓN	COSTOS MENSUAL	N° DE ARRANQUES	TARIFA MÍNIMA POR ARRANQUE (\$)	CONSUMO POR ARRANQUE (M ³)	TARIFA MÍNIMA POR M ³ (\$)
1.432	2.246.002	358	6.274	10	627
4.312	3.072.163	1.078	2.850	10	285
6.068	3.864.703	1.517	2.548	10	255
6.446	3.773.360	1.612	2.341	10	234

A la luz del cuadro anterior, se puede apreciar que la tarifa mínima se da con una población de 6.446 habitantes, con un valor de 234 \$/m³, en tanto que la más alta se encuentra con una población de 1.432 habitantes con 627 \$/m³.



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Trihueche. Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

9. Conclusiones y Recomendaciones Generales



9.1 / Introducción

Las Bases de Cálculo adoptadas en el Informe, fueron generadas producto de un acucioso análisis de todos los antecedentes disponibles y su adopción es, a juicio de este estudio, consistente y realista. Aún cuando pueden existir fuentes de información o estadísticas distintas a las utilizadas, constituyen un marco adecuado para poder visualizar el actual estado del arte del Saneamiento Rural del país y una plataforma base a partir de la cual se podrán afinar determinados aspectos con antecedentes o criterios adicionales que pudieran surgir.

Análogamente, los aspectos Técnicos (Bases de Cálculo, Criterios de Diseño y Dimensionamiento) y Económicos (Valorización) referidos tanto al suministro, tratamiento y distribución del Agua Potable como a la recolección, tratamiento y disposición de Aguas Servidas, fueron definidos en base a Bases de Cálculo y Criterios de Diseño meridianamente consensuados, a partir de los cuales se efectuó un análisis “in extenso” del espectro disponible de tecnologías de Agua Potable y Aguas Servidas, detallando las razones técnicas y económicas que llevaron a la adopción de las mismas y su consecuente Dimensionamiento y Valorización. Pudiendo existir criterios que no sean coincidentes con los señalados en el Informe, se considera que constituyen un marco base que contempla las tecnologías más establecidas.

En lo relacionado con el análisis a nivel conceptual del Modelo de Gestión del Saneamiento Rural, se constituye, a juicio de este estudio, en un aspecto de relevante importancia para viabilizar la implementación de un Saneamiento Rural debidamente consolidado y asegurar la sostenibilidad de la Inversión tanto en los Sistemas de Agua Potable como de Aguas Servidas del sector, cuyo análisis y las correspondientes conclusiones y recomendaciones, pueden resumirse del siguiente modo.

Para comprender de mejor manera el entorno legal, normativo y técnico del Modelo de Gestión requerido para el Saneamiento del sector Rural, se puede establecer que el actual estado del arte en lo referido al manejo del Saneamiento Rural, presenta las siguientes características:

- No existe actualmente un Programa Nacional de Saneamiento Rural que sea equiparable al Programa Nacional de Agua Potable Rural impulsado exitosamente por el MOP, donde se cuente con una partida presupuestaria, definida previa y específicamente para la instalación de Sistemas de Saneamiento Rural. En consecuencia, no existe un financiamiento explícito para el Saneamiento Rural.



- Al momento, no existe una Planificación y menos objetivos específicos a alcanzar en términos de aumentar la actual cobertura de Saneamiento Rural, lo que ocasiona claras falencias en los siguientes aspectos:
 - Criterios de Diseño específicos.
 - Normas Específicas Aplicables.
 - Gestión Financiera (Tarifas y Otros).
 - Entes Reguladores de los sistemas de Saneamiento Rural.
 - Definición clara de atribuciones en la Fiscalización de los servicios de Saneamiento Rural existentes.
 - Definición clara relativa a los requisitos, autorizaciones y aprobaciones de los Diseños. Al momento es la Autoridad Sanitaria quien realiza la aprobación del Proyecto y la autorización de las obras, en virtud a la autorización sanitaria expresa establecida en el Decreto con Fuerza de Ley N° 1.
- Los medios de financiamiento que actualmente utilizan las comunidades rurales para obtener fondos para implementar el Saneamiento, obedecen a distintos caminos, siendo los más comúnmente utilizados los siguientes:
 - **Financiamiento del Diseño de Saneamiento.** Es práctica común que la correspondiente Municipalidad postule al FNDR los fondos requeridos para esta actividad. Solo en casos puntuales (grandes APR), la Cooperativa cuenta con financiamiento propio para el diseño. En determinados casos, las Cooperativas más grandes pueden acceder directamente a la Intendencia Regional en busca de financiamiento para el diseño.
 - **Financiamiento de la Construcción de la Obra de Saneamiento.** Con el diseño aprobado y con todos los permisos obtenidos, la Cooperativa concurre normalmente a la municipalidad correspondiente, para que esta incluya en las postulaciones a FNDR o fondos regionales el financiamiento de la construcción de las Obras de Saneamiento. Sin embargo, esta postulación puede sufrir demoras dependiendo del tamaño de la población beneficiada, número de proyectos anuales postulados por la Municipalidad, etc.
- Los problemas de operación de los Sistemas de Saneamiento Rural existentes son significativos, encontrándose incluso algunos sistemas de tratamiento de aguas servidas detenidos, con el consecuente deterioro de la calidad de las aguas servidas que se disponen crudas a los cuerpos receptores. Al respecto, se debe destacar que una operación adecuada de los Sistemas de Tratamiento, requiere necesariamente de personal especializado, no necesariamente disponible en el sector Rural.



Asimismo, los sistemas de tratamiento requieren de un programa de control y mantención de Equipos e Instrumentos, y un monitoreo permanente de la calidad del efluente para adoptar las medidas correctivas en forma oportuna.

A la luz de lo anterior, es fácil comprender que el Saneamiento Rural no está regulado, normado ni fiscalizado de manera adecuada, por lo cual el aspecto más relevante a considerar dice relación con dotarlo de una institucionalidad operativa que permita alcanzar sus objetivos a cabalidad.

Para ello, es fundamental evaluar la organización interna que se requiere en las instituciones encargadas (Comités o Cooperativas), para que puedan realizar a cabalidad su cometido en todos las realidades propias del Sector Rural a lo largo del país.

La Organización definida está basada fundamentalmente en las opiniones vertidas por las Instituciones entrevistadas y las diversas experiencias emanadas de los Comités o Cooperativas encargadas de los sistemas existentes de agua potable rural y en algunos casos de tratamiento y disposición de aguas servidas.



9.2 / Definición de la Organización

La definición de la proposición de organización para llevar a cabo las funciones relacionadas con los servicios de AP y AS a cabalidad, tendrá su base en un análisis a nivel micro (estudio de casos) y antecedentes históricos que develan la génesis de la situación y su problemática.

Una primera consideración de importancia, la constituye la necesidad de definir desde el punto de vista legal una estructura orgánica que permita una adecuada Gestión del Saneamiento Rural tanto en lo referido a la Fiscalización, Movimiento Contable y otros, como también a la organización interna requerida para tales efectos.

Al respecto, se debe destacar que solamente se podrá dar cuenta de una adecuada gestión si se efectúa bajo un sistema definido (Comité, Cooperativa) que cuente con Regulación Orgánica establecida y adecuada a sus objetivos. A juicio de esta Consultora, solamente bajo tal marco es posible impedir que el déficit en infraestructura de disposición de aguas servidas domésticas sea un obstáculo al desarrollo económico del territorio asociado al sector rural.

Asimismo, se considera que los sistemas de Saneamiento deberán en principio ser operados y administrados por los mismos beneficiarios, toda vez que ello traerá asociadas las siguientes ventajas:

- Generará ocupación de Mano de Obra Local.
- Permitirá contar con personal estable, sin las complicaciones de una administración externa de la zona.
- Generará incentivos para operar bajo el concepto de microempresa, etc.

Analizando los requerimientos anteriormente delineados, se puede apreciar que una Cooperativa tiene una ventaja importante con respecto a los Comités, toda vez que su configuración exige un Directorio, Juntas de Vigilancia, Administración Contable y Asambleas que permitan tomar decisiones en forma colectiva, con responsabilidades legales establecidas.

Adicionalmente, y tal como se fundamenta en el informe original⁴, la reforma de la Ley de Cooperativas posibilitará el convertirlas en institución, quedando con un cuerpo legal más idóneo para garantizar la sostenibilidad y sustentabilidad de la inversión.

En la reunión sostenida durante la gestión del presente estudio en conjunto con el Departamento de Cooperativas del Ministerio de Economía, se trató específicamente el tema de las organizaciones encargadas de administrar Sistemas de Saneamiento Rural, donde se señaló que se pretende realizar modificaciones a la actual Ley de Cooperativas con los siguientes objetivos:

- Reconocer en la Ley la especificidad de los distintos tipos de Cooperativas existentes (Agua Potable Rural, Ahorro y Préstamo, Electricidad, etc.)
- Distinguir dentro de lo anterior, los tamaños y capacidades necesarias para dar cumplimiento a los objetivos, lo que se materializaría en definitiva en establecer requerimientos específicos en función de capacidades requeridas.
- Adoptar medidas de fortalecimiento de las Cooperativas, impulsadas por el Departamento de Cooperativas y la SUBDERE.

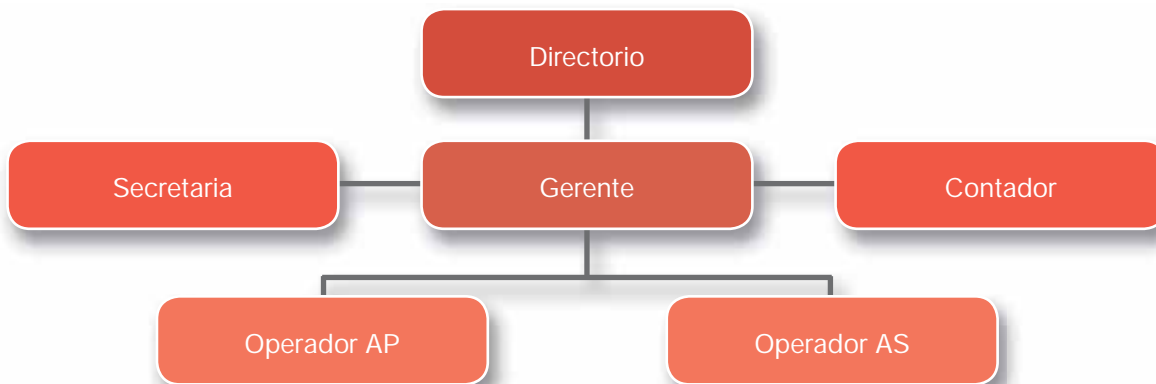
A la luz de lo anterior, queda claro y consensuado que la organización que de mejor manera puede administrar y gestionar los sistemas de Agua Potable y Aguas Servidas en el sector Rural la constituyen las Cooperativas, debiendo efectuarse previamente las modificaciones planteadas anteriormente y asegurando el contar con el apoyo por parte del Estado.

Consecuente con lo anterior, y dependiendo del tamaño, la organización interna de una Cooperativa puede ir desde una estructura mínima, requerida por Ley, hasta una en que la gestión está separada de la administración, bajo un organigrama básico como el que se señala a continuación:

⁴ Este documento se encuentra disponible para su descarga en la página institucional www.subdere.gov.cl



Figura N°2
Organigrama Básico para una Cooperativa



Instalación del Servicio de Agua Potable Rural Trihueche. Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

El requerimiento del personal estará en función de la complejidad de los sistemas a administrar, siendo las labores y actividades que deben abordar las Cooperativas de APR al menos las siguientes:

- Administración del Personal.
- Facturación y Cobranza.
- Operación de los sistemas de AP y AS.
- Mantenimiento de los sistemas de AP y AS.
- Inversión en Reposición requerida para la cabal operación de los sistemas.

En referencia a cómo mejorar las economías de escala, asociados a la gestión del Saneamiento Rural, es conveniente que una Empresa, Microempresa o incluso Cooperativa administre varios Comités y/o Cooperativas de ubicación geográfica cercana, lo que permitirá tener una mayor capacidad de negociación ante los proveedores de los insumos requeridos para las distintas plantas, contar con un sistema integrado Horizontal para los cobros, facturación (utilizar un sistema computacional para todos) y otros.

Asimismo, es consenso que una misma entidad (Cooperativa u otra) administre simultáneamente los servicios de AP y AS, en consideración no solo a la economía de escala que se produce al integrar estos componentes productivos, sino también a que ello implicará un solo responsable legal de todo el Saneamiento Rural.

Lo anteriormente establecido, se ve refrendado con la exitosa experiencia en el sector Urbano de una única empresa encargada de administrar, operar y mantener simultáneamente los servicios de Agua Potable y Aguas Servidas. A juicio de este estudio, la gran experiencia que han adquirido las Cooperativas y Comités en el sector Rural, permitiría que detenten tal responsabilidad, con apoyo del Estado tanto en los aspectos de Inversión como de Capacitación permanente.

Es necesario destacar que una serie de Cooperativas, no pueden ni podrán en el futuro realizar estas actividades sin el apoyo de un tercero, que para efectos de análisis, se considerará que corresponde al Estado, el que podrá realizar las labores de apoyo a través de su estructura o a través de terceros, especialmente en lo que a Capacitación y Transferencia Tecnológica se refiere. Desde ese punto de vista, el Ministerio de Salud ofrece su infraestructura para efectuar dichas labores, la que a través de sus Postas Rurales abarca todo el territorio nacional, restando definir la estructura del personal de apoyo técnico encargada de dichas labores.



9.3 / Responsabilidad del Estado

en Garantizar que las Cooperativas Cumplan su Labor

Dada las diferencias de tamaño de las Cooperativas a lo largo del sector Rural del país, es recomendable que el Estado tome roles y responsabilidades relacionadas con los siguientes puntos:

- **Normativas.** El Estado debe velar por el servicio que se da en el ámbito rural, como son la calidad del agua, preservación del entorno ambiental, nivel del servicio, etc.
- **Fiscalizadoras.** El Estado debería cumplir un rol fiscalizador considerando recurso humano al respecto.
- **Apoyo a la Gestión.** El Estado debería ampliar la participación de actores que cumplan las tareas que actualmente realizan las Unidades Técnicas (Concesionarias), como por ejemplo la Capacitación y Transferencia Tecnológica a ser realizada por otras Instituciones Competentes como el Ministerio de Salud.
- **Apoyo en el Uso del Servicio y la Disposición a Pagar.** Como se señaló anteriormente, el Estado deberá financiar los Costos de Inversión del Saneamiento Rural. Se considera adecuado que adicionalmente, el Estado elabore una estrategia que permita crear el hábito del uso del Servicio y la disposición a pagar el consecuente costo asociado. Para ello, el Estado podría subsidiar los Costos de Operación del Saneamiento durante la etapa inicial de operación del servicio (p.e. 1 año). Este aspecto cobra especial relevancia en la medida que los servicios tienen menor tamaño.

Considerando que el MOP realiza al presente esta función parcialmente en el Agua Potable, se considera necesario y adecuado desde el punto de vista técnico y económico que amplíe su espectro de acción a las Aguas Servidas, de modo de contar con una sola Institución a cargo del Saneamiento Rural en su integridad.

Santiago, Mayo de 2007.





Instalación del Servicio de Agua Potable Rural de Trihueche. Nueva Imperial, Región de La Araucanía.



Apéndice 1

Soluciones de Agua Potable

Alternativas de Solución Tipo.

Se presenta a continuación un conjunto de 6 (seis) Soluciones Tipo de abastecimiento de Agua Potable, las que dan cuenta de los aspectos más relevantes que controlan el diseño e independizan del tamaño de la solución, de manera de poder realizar ajustes de tamaños de la solución sin variar sustancialmente su concepción básica.

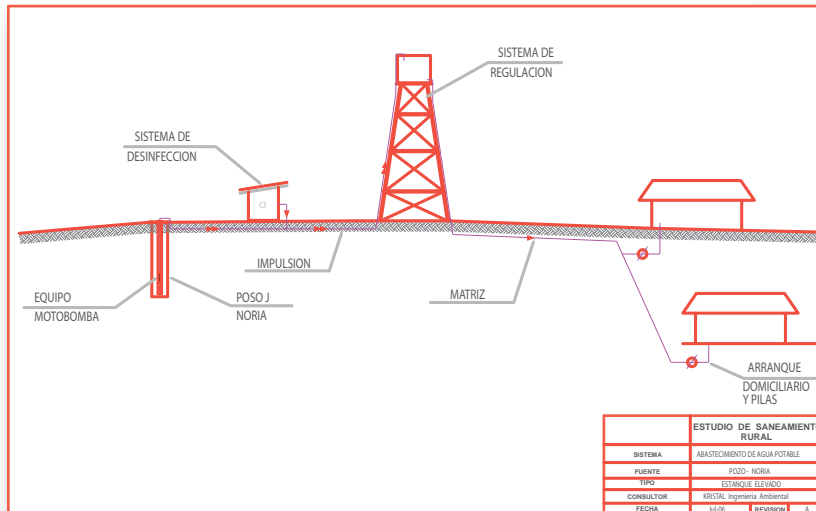
La caracterización de cada solución se ha realizado considerando principalmente los tres siguientes aspectos que controlan el diseño.

- Tipo de Fuente.
- Tipo de Estanque de Regulación.
- Topografía relativa de las componentes unitarias.

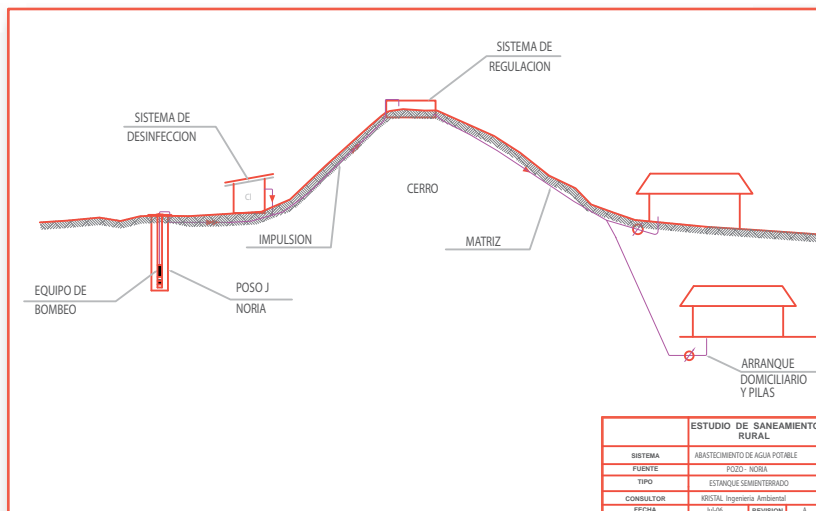
Se debe reiterar que la solución a adoptar, dependerá en definitiva de las condiciones particulares que presenta en cada caso el entorno de la población a beneficiar.

Al respecto, existen variantes que se deberán considerar al aplicar cualquiera de los 6 diseños base, y dicen relación principalmente con aspectos de la calidad de agua y los tratamientos específicos que se deben considerar para cada caso. Dichas variantes no modifican en su concepción básica los 6 diseños presentados.

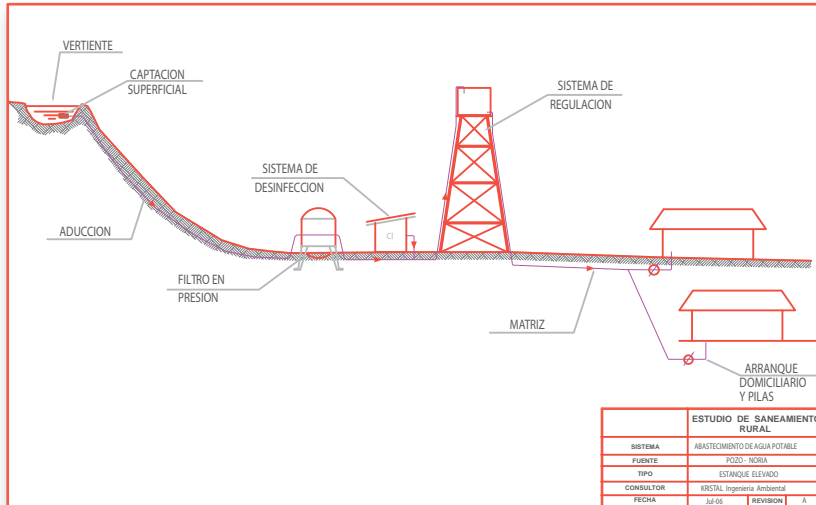
Caso N° 1. Abastecimiento desde Fuente Subterránea con Estanque Elevado



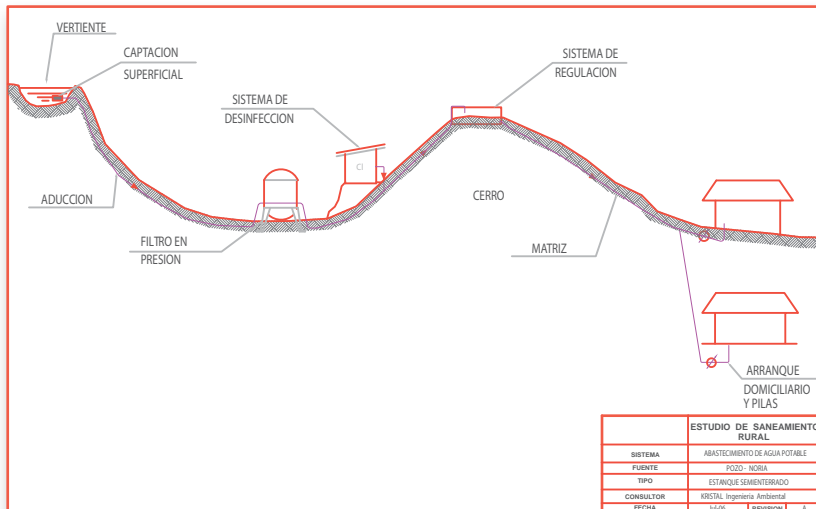
Caso N° 2. Abastecimiento desde Fuente Subterránea con Estanque Enterrado



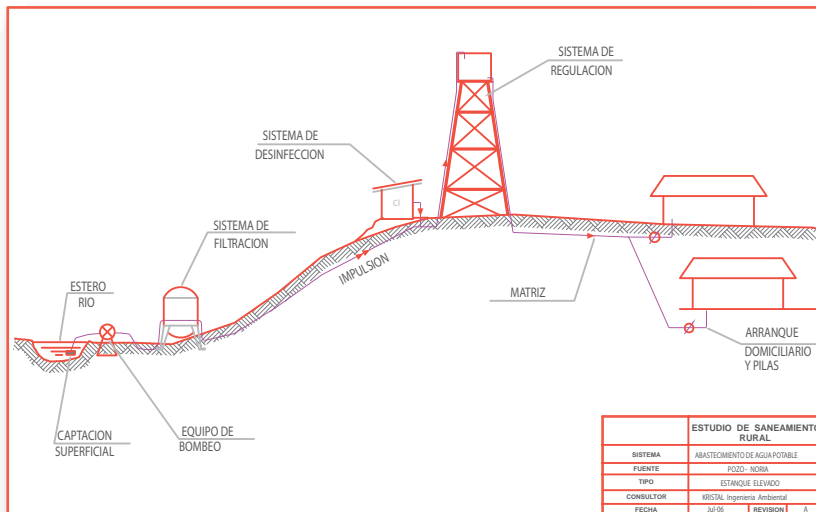
Caso N° 3. Abastecimiento desde Fuente Superficial Gravitacional con Estanque Elevado



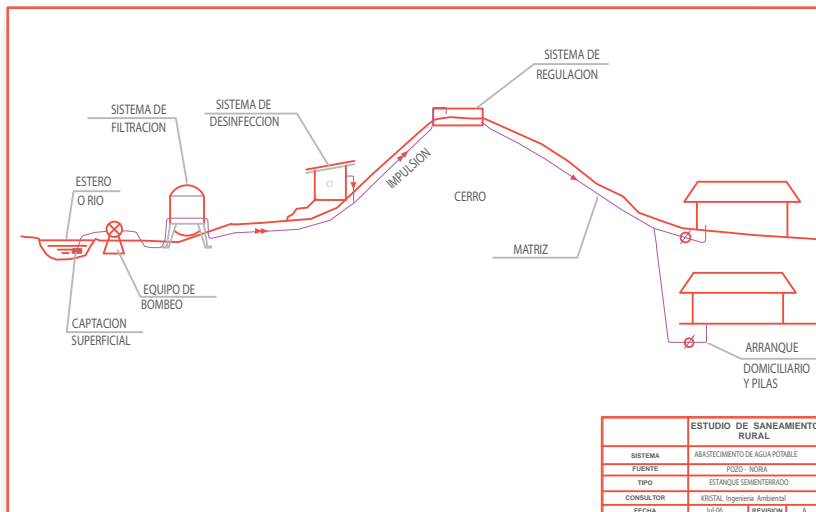
Caso N° 4. Abastecimiento desde Fuente Superficial Gravitacional con Estanque Enterrado



Caso N° 5. Abastecimiento desde Fuente Superficial con Impulsión a Estanque Elevado



Caso N° 6. Abastecimiento desde Fuente Superficial con Impulsión a Estanque Enterrado



Apéndice 2

Inversión Promedio de Soluciones de Agua Potable

Costos de Inversión de soluciones de Agua Potable

Considerando que resulta extremadamente difícil poder fijar Costos de Inversión a nivel nacional para la instalación de servicios de Agua Potable Rural, se ha evaluado un escenario promedio de costos de inversión en función del tamaño del servicio a instalar y las características de cada uno (Casos).

Se ha considerado como material base de la red, cañerías de PVC y en estanques de regulación, Hormigón Armado, Estanques Metálicos o Estanque Plásticos.

Los Costos de Inversión resultantes por caso estudiado obedecen al detalle que se señala a continuación:



Cuadro N° 1 Costos de Inversión de Servicios de Agua Potable según Caso N° 1

RESUMEN PRESUPUESTO
100 VIVIENDAS

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACIÓN SUBTERRÁNEA	1.042
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	269
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	104
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	777
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	5.174
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	338
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		8.260

RESUMEN PRESUPUESTO
15 VIVIENDAS

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACIÓN SUBTERRÁNEA	706
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	209
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	104
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	436
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	2.407
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	257
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		4.674

RESUMEN PRESUPUESTO
1 VIVIENDA

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACIÓN SUBTERRÁNEA	92
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	11
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	49
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	37
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	58
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	0
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	41
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	7
I.-	TERRENOS.	0
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		295

Cuadro N° 2 Costos de Inversión de Servicios de Agua Potable según Caso N° 2

RESUMEN PRESUPUESTO
100 VIVIENDAS

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACIÓN SUBTERRÁNEA	1.042
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	269
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	104
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	323
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	5.174
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	338
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		7.806



RESUMEN PRESUPUESTO
15 VIVIENDAS

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACIÓN SUBTERRÁNEA	706
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	209
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	104
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	252
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	2.407
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	257
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		4.489

RESUMEN PRESUPUESTO
1 VIVIENDA

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACIÓN SUBTERRÁNEA	92
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	11
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	49
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	37
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	24
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	0
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	41
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	7
I.-	TERRENOS.	0
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		261



Cuadro N° 3 Costos de Inversión de Servicios de Agua Potable según Caso N° 3

**RESUMEN PRESUPUESTO
100 VIVIENDAS**

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CONSTRUCCIÓN CAPTACIÓN SUPERFICIAL	312
B.-	CAÑERÍA ADUCCIÓN	373
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	348
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	741
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	5.174
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	103
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		7.607

**RESUMEN PRESUPUESTO
15 VIVIENDAS**

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CONSTRUCCIÓN CAPTACIÓN SUPERFICIAL	242
B.-	CAÑERÍA ADUCCIÓN	281
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	245
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	284
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	417
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	2.407
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	103
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		4.254

RESUMEN PRESUPUESTO
1 VIVIENDA

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CONSTRUCCIÓN CAPTACIÓN SUPERFICIAL	108
B.-	CAÑERÍA ADUCCIÓN	89
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	75
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	96
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	58
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	0
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	43
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	7
I.-	TERRENOS.	0
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		476

Cuadro N° 4 Costos de Inversión de Servicios de Agua Potable según Caso N° 4

RESUMEN PRESUPUESTO
100 VIVIENDAS

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CONSTRUCCIÓN CAPTACIÓN SUPERFICIAL	312
B.-	CAÑERÍA ADUCCIÓN	373
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	348
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	323
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	5.174
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	103
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		7.189

RESUMEN PRESUPUESTO
15 VIVIENDAS

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CONSTRUCCIÓN CAPTACIÓN SUPERFICIAL	242
B.-	CAÑERÍA ADUCCIÓN	281
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	245
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	284
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	252
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	2.407
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	103
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		4.088

RESUMEN PRESUPUESTO
1 VIVIENDA

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CONSTRUCCIÓN CAPTACIÓN SUPERFICIAL	108
B.-	CAÑERÍA ADUCCIÓN	89
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	75
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	96
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	24
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCION.	0
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	43
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	7
I.-	TERRENOS.	0
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		442

Cuadro N° 5 Costos de Inversión de Servicios de Agua Potable según Caso N° 5

**RESUMEN PRESUPUESTO
100 VIVIENDAS**

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACION SUPERFICIAL CON ELEVACIÓN	650
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	373
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	348
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	777
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	5.174
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	338
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		8.215

**RESUMEN PRESUPUESTO
15 VIVIENDAS**

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACIÓN SUPERFICIAL CON ELEVACIÓN	475
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	255
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	291
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	436
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	2.407
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	257
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		4.676

RESUMEN PRESUPUESTO
1 VIVIENDA

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACION SUPERFICIAL CON ELEVACION	66
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	8
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	49
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	96
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	58
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	0
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	41
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	7
I.-	TERRENOS.	0
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		325

Cuadro N° 6 **Costos de Inversión de Servicios de Agua Potable según Caso N° 6**

RESUMEN PRESUPUESTO
100 VIVIENDAS

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACION SUPERFICIAL CON ELEVACIÓN	650
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	373
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	348
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	323
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	5.174
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	338
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		7.761



RESUMEN PRESUPUESTO
15 VIVIENDAS

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACION SUPERFICIAL CON ELEVACIÓN	475
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	255
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	281
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	291
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	252
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	2.407
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	257
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	101
I.-	TERRENOS.	173
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		4.492

RESUMEN PRESUPUESTO
1 VIVIENDA

OBRAS DE CONSTRUCCIÓN		COSTO (UF)
A.-	CAPTACION SUPERFICIAL CON ELEVACIÓN	66
B.-	CAÑERÍA IMPULSIÓN	8
C.-	CASETA DE TRATAMIENTO Y COMANDO.	49
D.-	SISTEMA DE TRATAMIENTO.	96
E.-	ESTANQUE DE REGULACIÓN.	24
F.-	SISTEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN.	0
G.-	INSTALACIONES ELÉCTRICAS	41
H.-	PRUEBA DE CONJUNTO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DEL SERVICIO.	7
I.-	TERRENOS.	0
TOTAL GENERAL DE LAS OBRAS		291

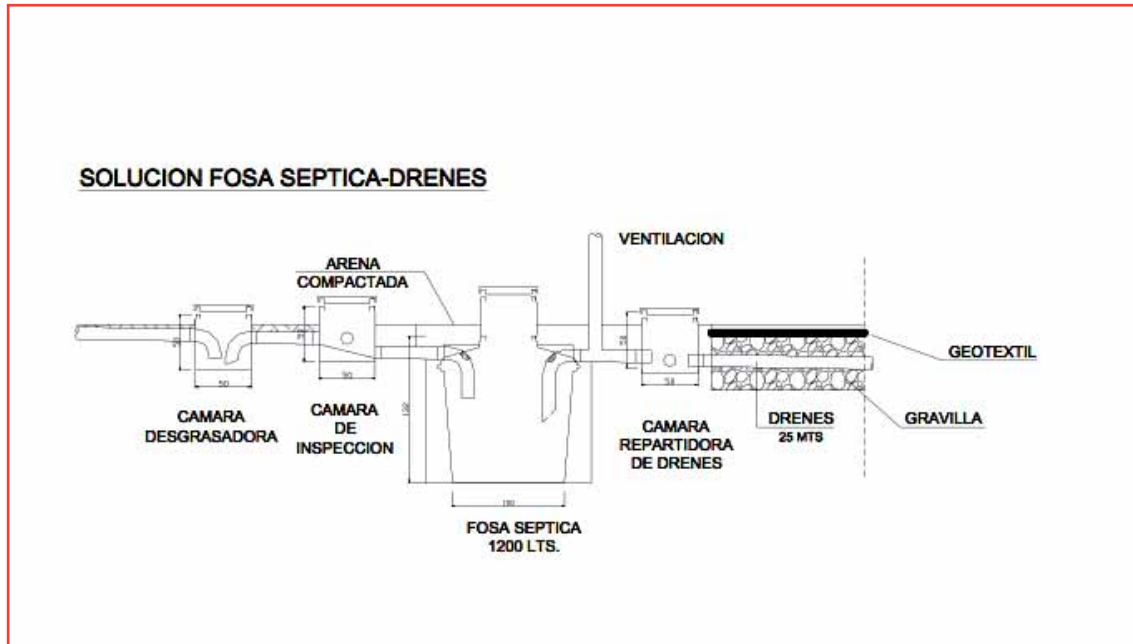


Apéndice 3

Lay Out de las Soluciones

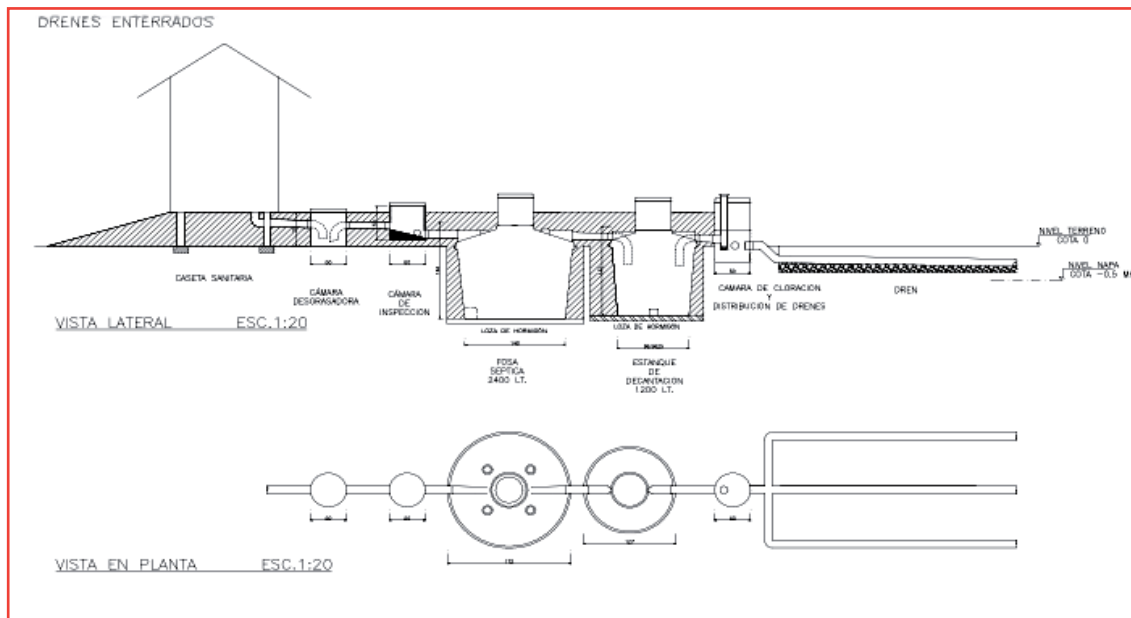
Solución 1.

Fosa Séptica + Infiltración por Drenes



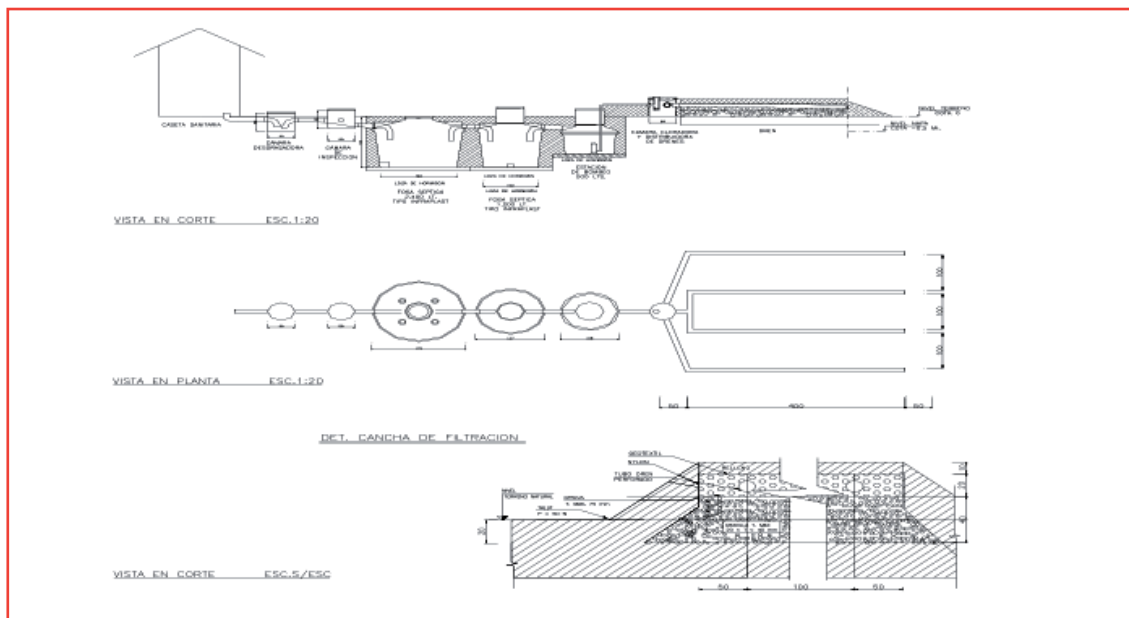
Solución 2.

Fosa Séptica + Sedimentación Secundaria + Desinfección (por Cloro) + Infiltración por Drenes



Solución 3.

Fosa Séptica + Sedimentación Secundaria + Desinfección (por Cloro) + Bombeo (A Riego o Infiltración por Drenes)



Para la estimación de los Costos de Inversión y Operación y Mantenimiento, se consiguió un Presupuesto Referencial de la Empresa Proveedora INFRAPLAST, la que puede resumirse del siguiente modo:

Solución 1.
Fosa Séptica + Infiltración por Drenes

• **Costos Inversión**

Item	Unidad	Cantidad	Precio (\$)		
			Usuario	Total	
1	Componente				
1.1	Fosa Séptica Vertical 2400 Lts.	un	1	204.400	204.400
1.2	15 mts. de Drenes (absorción 75 l/m ² /día)	ml	15	1.200	18.000
1.3	Geotextil	m ²	15	720	10.800
	Subtotal 1				\$233.200
2	Materiales e Instalación				
2.1	Gravilla	m ³	6		
2.2	Arena	m ³	3		
2.3	Mano de Obra				
	Subtotal 2				\$195.000
Total Neto (No incluye IVA)					\$428.200
					UF 24,8

• **Costos Operación y Mantenimiento**

	Costo Mantenición Anual	Frecuencia	Costo (\$)	Costo Anual
1.1	Limpieza con camión limpia fosas	cada 2 años	30.000	15.000
Total Anual (No incluye IVA)				\$15.000
				UF 0,867
Total Mensual (No incluye IVA)				\$1.250
				UF 0,0723

Solución 2.

Fosa Séptica + Sedimentación Secundaria +Desinfección (Por Cloro) + Infiltración por Drenes

• Costos Inversión

Item	Unidad	Cantidad	Precio (\$)		
			Unitario	Total	
1	Componente				
1.1	Fosa Séptica Vertical 2400 Lts.	un	1	204.400	204.400
1.2	Cámara Secundaria Decantación 1200 Lts.	un	1	122.000	122.000
1.3	Clorador-Repartidor de Drenes	un	1	35.000	35.000
1.4	25 mts. de Drenes (absorción 36 l/m ² /día)	ml	25	1.200	30.000
1.5	Geotextil	m ²	20	720	14.400
	Subtotal 1				\$405.800
2	Materiales e Instalación				
2.1	Gravilla	m ³	10		
2.2	Arena	m ³	3		
2.3	Cemento para loza en fondo excavaciones	kg	350		
2.4	Malla ACMA	m ²	5		
2.5	Cintas de sujeción	ml	16		
2.6	Mano de obra				
	Subtotal 2				\$295.500
Total Neto (No incluye IVA)					\$701.300
					UF 40.5

• Costos Operación y Mantenimiento

	Costo Mantención Anual	Frecuencia	Costo (UF)	Costo Anual
1.1	Limpieza con camión Limpia Fosas	Cada 2 años	30.000	15.000
1.2	Cloración	1 tableta cada 15 días	750	19.500
Total Anual (No incluye IVA)				\$34.500
				\$UF 1,994
Total Mensual (No incluye IVA)				\$2.875
				UF 0,1662



Solución 3.

Fosa Séptica + Sedimentación Secundaria + Desinfección (por Cloro) + Bombeo (a Riego o Infiltración por Drenes).

• **Costos Inversión**

Item	Unidad	Cantidad	Precio (\$)		
			Unitario	Total	
1	Componente				
1.1	Fosa Séptica Vertical 2400 Lts.	un	1	204.400	204.400
1.2	Cámara Secundaria Decantación 1200 Lts.	un	1	122.000	122.000
1.3	Repartidor de Drenes/Clorador	un	1	25.800	25.800
1.4	20 mts. de drenes	ml	20	1.200	24.000
1.5	30 m2 Geotextil	m2	30	720	21.000
1.6	Nylon	m2	22	500	11.000
1.7	Estación de Bombeo con estanque 650 + 1 bomba elevadora+elevadores de registro	un	1	230.000	230.000
	Subtotal 1				\$638.800
2	Materiales e Instalación				
2.1	Gravilla	m3	12		
2.2	Cemento para Loza en fondo excavaciones	kg.	350		
2.3	Malla ACMA	m2	5		
2.4	Cintas de sujeción	ml	16		
2.5	Bombas de Achique	un	1		
2.6	Mano de Obra	hora			
	Subtotal 2				\$374.800
Total Neto (No Incluye Iva)					\$1.013.600
					UF 58,6

• **Costos Operación y Mantenimiento**

	Costo Mantenimiento Anual	Frecuencia	Costo (\$)	Costo Anual
1.1	Limpieza con Camión Limpia Fosas	Cada 2 años	30.000	15.000
	Consumo Bomba -0,18 kw	12 KW al año (200 minutos al día)	60	720
	Reposición Bomba	Cada 5 años	100.000	200.000
1.2	Cloración*	1 tableta cada 15 días	750	19.500
Total Anual (No incluye IVA)				\$55.250
				UF 3,194
Total Mensual (No incluye IVA)				\$ 4.602
				UF 0,2660

Apéndice 4

Detalle de Costos de Inversión, Operación y Mantenimiento

Solución 1.
Fosa Séptica + Infiltración por Drenes

• **Costos Inversión**

Item	Unidad	Cantidad	Precio (\$)		
			Unitario	Total	
1	Componente				
1.1	Fosa Séptica Vertical 2400 Lts.	un	1	204.400	204.400
1.2	15 mts. de Drenes (absorción 75 l/m2/día)	ml	15	1.200	18.000
1.3	Geotextil	m2	15	720	10.800
	Subtotal 1				\$233.200
2	Materiales e Instalación				
2.1	Gravilla	m3	6		
2.2	Arena	m3	3		
2.3	Mano de obra				
	Subtotal 2				\$195.000
Total Neto (No incluye IVA)					\$428.200
					UF 24,8

• **Costos Operación y Mantenimiento**

	Costo Mantención Anual	Frecuencia	Costo (\$)	Costo Anual
1.1	Limpieza con Camión Limpia Fosas	Cada 2 años	30.000	15.000
Total Anual (No incluye IVA)				\$15.000
				UF 0,867
Total Mensual (No incluye IVA)				\$ 1.250
				UF 0,0723

Solución 2.

Fosa Séptica + Sedimentación Secundaria + Desinfección (por Cloro) + Infiltración por Drenes

• **Costos Inversión**

Item	Unidad	Cantidad	Precio (\$)		
			Unitario	Total	
1	Componente				
1.1	Fosa Séptica Vertical 2400 Lts.	un	1	204.400	204.400
1.2	Cámara Secundaria Decantación 1200 Lts.	un	1	122.000	122.000
1.3	Clorador - Repartidor de Drenes	un	1	35.000	35.000
1.4	25 mts. de drenes (absorción 36 l/m ² /día)	ml	25	1.200	30.000
1.5	Geotextil	m ²	20	720	14.400
	Subtotal 1				\$405.800
2	Materiales e Instalación				
2.1	Gravilla	m ³	10		
2.2	Arena	m ³	3		
2.3	Cemento para loza en fondo excavaciones	kg.	350		
2.4	Malla ACMA	m ²	5		
2.5	Cintas de sujeción	ml	16		
2.6	Mano de obra				
	Subtotal 2				\$295.500
Total Neto (No incluye IVA)					\$701.300
					UF 40,5

• **Costos Operación y Mantenimiento**

	Costo Mantenimiento Anual	Frecuencia	Costo (UF)	Costo Anual
1.1	Limpieza con Camión Limpia Fosas	Cada 2 años	30.000	15.000
1.2	Cloración *	1 tableta cada 15 días	750	19.500
Total Anual (No incluye IVA)				\$34.500
				Uf 1,994
Total Mensual (No incluye Iva)				\$2.875
				UF 0,1662

Solución 3.
**Fosa Séptica + Sedimentación Secundaria
+ Desinfección por Cloro) + Bombeo (a Riego o Infiltración por Drenes)**

• **Costos Inversión**

Item	Unidad	Cantidad	Precio (\$)		
			Unitario	Total	
1	Componente				
1.1	Fosa Séptica Vertical 2400 Lts.	un	1	204.400	204.400
1.2	Cámara Secundaria Decantación 1200 Lts.	un	1	122.000	122.000
1.3	Repartidor de Drenes/Clorador	un	1	25.800	25.800
1.4	20 mts. de drenes	ml	20	1200	24.000
1.5	30 m2 Geotextil	m2	30	720	21.600
1.6	Nylon	m2	22	500	11.000
1.7	Estación de Bombeo con estanque 650+ 1 bomba elevadora+elevadores de registro	un	1	230.000	230.000
	Subtotal 1				\$638.800
2	Materiales e Instalación				
2.1	Gravilla	m3	12		
2.2	Cemento para fondo excavaciones	kg	350		
2.3	Malla ACMA	m2	5		
2.4	Cintas de sujeción	ml	16		
2.5	Bombas de Achique	un	1		
2.6	Mano de obra	hora			
	Subtotal 2				\$374.800
Total neto (No incluye IVA)					\$1.013.600
					UF 58,6

• **Costos Operación y Mantenimiento**

	Costo Mantenimiento Anual	Frecuencia	Costo (\$)	Costo Anual
1.1	Limpieza con Camión Limpia Fosas	Cada 2 años	30.000	15.000
	Consumo Bomba -0,18kw	12 KW al año (200 minutos al día)	60	720
	Reparación Bomba	Cada 5 años	100.000	20.000
1.2	Cloración*	1 Tableta cada 15 días	750	19.500
Total Anual (No incluye IVA)				\$55.250
				UF 3,194
Total Mensual (No incluye IVA)				\$4.602
				UF 0,2660

Apéndice 5

Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas en Base a la Tecnología “Sistema Tohá”

Introducción

Entre las alternativas en base a Cultivo Fijo, se encuentra también el denominado “Sistema Tohá®” (o Lombrifiltro) de origen nacional, el que consiste en un estanque relleno por diferentes capas filtrantes, con lombrices en la capa superficial, las que en conjunto con la microbiología ahí generada degradan la materia orgánica y la transforman en humus, agua, CO₂ y otros gases.

La UNTEC (Universidad y Tecnología. Fundación para la Transferencia Tecnológica) es dueña de la patente del “Sistema Tohá®”, y actualmente existen en el país del orden de 90 plantas instaladas en base a esta tecnología, 12 en México, 1 en Paraguay y 1 en Argentina, mostrando en lo que llevan de instaladas costos de operación menores a los de otras alternativas y simplicidad operativa, lo cual la hace atractiva para su aplicación en el sector rural del país.



El proceso se inicia con una separación primaria de sólidos gruesos, para lo cual se contempla cámaras de rejas manuales en plantas de menor tamaño y autolimpiantes en plantas de mayor magnitud. Posteriormente, el agua servida es acumulada en un estanque homogenizador, desde donde se impulsa para ser dispersado por aspersión sobre la superficie del “Sistema Tohá”, en donde se produce un proceso de absorción de las partículas disueltas en el líquido, quedando retenidas en las capas filtrantes para ser posteriormente digeridas por las lombrices y la microbiología existente del sistema.

La materia orgánica del afluente es consumida por las lombrices, pasando una fracción menor de ella a constituir parte de su masa corporal y el resto como deyecciones de las mismas, denominadas comúnmente humus de lombriz.

El efluente es sometido posteriormente a desinfección (Cloración o Radiación Ultravioleta) para la reducción de los Coliformes Fecales.

El “Sistema Tohá®” tiene aplicación práctica en pequeñas instalaciones y con altas eficiencias de remoción.

Desde el punto de vista de los Parámetros de Diseño, conceptualmente son semejantes a los de los sistemas en base a Cultivo Fijo por Filtros Biológicos (FB), por lo que se puede efectuar un análisis comparativo entre ambas tecnologías y visualizar los Criterios de Diseño y el comportamiento de los mismos, a partir de lo cual se puede establecer lo siguiente:

- Las Cargas Hidráulicas en el “Sistema Tohá®” son mucho menores que las de cualquier FB.
- El “Sistema Tohá®” permite Cargas Orgánicas altas, por lo que la limitante está dada en general por la Tasa Hidráulica. No obstante, es preferible cargarlo con concentraciones de sólidos no mayores a 500 mg/l, ya que podrían tender a colmatar la superficie del lecho.
- Las temperaturas a las que el sistema funciona normalmente, oscilan 3 y 40°C, debiendo considerar que los procesos de combustión interna del “Sistema Tohá®”, producto de la digestión bacteriana, la temperatura del agua servida cruda y la temperatura al interior del filtro, están alrededor de 10 – 15°C, aunque las temperaturas ambientales sean bajas.

Conceptualmente, el “Sistema Tohá®” opera como un FB de baja carga hidráulica con un medio mucho más fino (y colmatable), el que actúa como filtrante y como soporte de biomasa. La tendencia a la colmatación es controlada por las propias lombrices que se alimentan de la zooglea. Adicionalmente, las lombrices en su movimiento por el medio mantienen la permeabilidad del mismo.

En la siguiente tabla se presenta referencialmente los Criterios de Diseño de ambas tecnologías,

	Unidad	"Sistema Tohá®"	FILTROS BIOLÓGICOS O PERCOLADORES			
			Baja Carga	Carga Media	Alta Tasa	Diseño actual
Tipo de Medio		Viruta madera	roca	roca	roca	plástico
Carga Hidráulica	m ³ /m ² /d	0,2 – 0,5	1,0 – 3,7	3,7 – 9,4	9,4 – 36,6	14 – 85
Carga Orgánica Volumétrica	KgDBO/1000m ³ /d	83 – 333	8 – 24	24 – 48	48 – 240	< 481
Carga Orgánica Superficial	KgDBO/m ² /d	0,05 – 0,3	0,015 – 0,06	0,04 – 0,12	0,04 – 0,59	< 5,9
Profundidad del Medio	m	0,6 – 0,9	1,8 – 2,4	1,8 – 2,4	0,9 – 2,4	< 12,2
Recirculación		eventual	mínima	usualmente	siempre	usualmente
Remoción de DBO	%	85 – 95	80 – 85	50 – 70	40 – 80	65 – 85
Nitrificación		mucha	mucha	parcial	no	limitada

En términos de población de lombrices en el medio, el "Sistema Tohá®" tiene una densidad normal del orden de 10.000 lombrices/m³, pudiendo llegar a tener 30.000, debiendo destacar que la tasa de reproducción de las lombrices es alta, doblando la población al cabo de 3 a 5 meses.

En cuanto a los sistemas empleados de distribución del agua servida en el "Sistema Tohá®", son, en general, del tipo de riego con aspersores tipo Wofler, con diámetro de salida entre 6 y 8 mm para evitar su obstrucción. Ligado a lo anterior, se debe usar previamente un tamiz separador de sólidos como, por ejemplo, del tipo parabólico estático de 0,5 mm de separación.

La limpieza y manejo del lecho del "Sistema Tohá®" requiere dedicación alta (mano de obra), estimándose un requerimiento de una persona por cada 500 a 800 m² de lecho. Las principales actividades relacionadas con ello son el "horqueto" (abrir el lecho con horqueta para mantener un esponjamiento adecuado y permitir que sólidos retenidos en la superficie se incorporen al lecho) y la mantención de los aspersores libres de obstrucción.

Por otro lado, al interior del sistema se genera humus de lombriz y se degrada la viruta, por lo que el primero debe ser retirado y la viruta ser repuesta a determinadas frecuencias. En lo relacionado

con la viruta, la experiencia local muestra que la reposición anual es del orden del 20% del volumen (a un costo de 8 a 10 M\$/m³), la que se realiza en forma totalmente manual. En cuanto a la producción de humus, la experiencia local permite saber que es baja.

Desde el punto de vista del tamaño técnico y operativamente viable de aplicar, la máxima superficie del "Sistema Tohá®" recomendada es del orden de 2.500 m² (lo que llevado a población normal afluyente en caso de aguas servidas domésticas constituye una población del orden de 5000 habitantes), aunque podría eventualmente aceptarse superficies mayores, pero asumiendo la consecuente complejidad operativa asociada.

Se debe destacar que las eficiencias de remoción de NKT y PT son altas, pudiendo incluso superar a las de un Lodo Activado. En el caso del NKT, el "Sistema Tohá®" presenta nitrificación casi completa, entendible a la luz de que en su calidad de organismos vivos, las lombrices también requieren nutrientes para su metabolismo y el medio cuenta con apreciable cantidad de ellas (10 Kg/m³ de lombrices para la densidad normal de lombrices de 10.000 lombrices/m³ y 1 g/lombriz).

En términos comparativos con otros sistemas convencionales de tratamiento, las principales características del "Sistema Tohá®" pueden resumirse del siguiente modo.

- No produce lodos, ya que degrada los sólidos orgánicos transformándolos en humus, el que se constituye un subproducto que puede reutilizarse como abono agrícola.
- Bajos Costos de Operación con respecto a otras tecnologías.
- Mantención muy simple.
- Remoción de los principales parámetros orgánicos superiores al 90%.







Guía de Diseño Sistemas de Agua Potable Rural

1. Introducción

Como complemento al estudio de soluciones generales que darán solución a la demanda por abastecimiento de Agua Potable en el ámbito Rural, se presenta a continuación una propuesta de Guía de Diseño para la elaboración de estos sistemas.

Este estudio propone adoptar como plataforma base las Bases de Cálculo y Criterios de Diseños actualmente en vigencia para los diseños financiados por el MOP (muchos de las cuales poseen el respaldo de haber sido consideradas con resultados exitosos en el Programa Nacional de Agua Potable Rural desarrollado en el País), debidamente actualizados en algunos aspectos, atendiendo primordialmente a las características propias de la nueva demanda y el tamaño de la población beneficiada.

Al respecto, es necesario considerar en los lineamientos de la presente Guía de Diseño referencial, que el mayor porcentaje de población a ser beneficiada por soluciones de Agua Potable Rural, corresponde a densidades de viviendas inferiores a las atendidas hasta el momento y en muchos casos viviendas aisladas o dispersas.

No obstante, el diseño propuesto para la nueva demanda de solución (individual – semi concentrada o concentrada) deberá cumplir como mínimo las mismas exigencias definidas en la actualidad para una población concentrada.

2. Actividades de Terreno a Realizar Antecedentes Generales



2.1 / Antecedentes Generales de la Localidad

A objeto de contar con los antecedentes necesarios para caracterizar el ámbito del Proyecto, se recopilará a lo menos, la siguiente información básica de cada localidad y su entorno, resumida en las siguientes encuestas:

- Encuesta Preliminar Técnica.
- Encuesta Preliminar Socio-Económica.
- Encuesta de condiciones sanitarias existentes.
- Encuesta demográfica.

El conjunto de encuestas efectuadas deberá permitir contar con la siguiente información:

a.-) Antecedentes Generales

- Situación político-administrativa.
- Ubicación geográfica.
- Topografía relativa al marco del Estudio.
- Hidrografía.
- Clima (pluviometría y temperaturas).
- Vías de comunicación.
- Actividades económicas.
- Fuentes de energía.
- Población.
- Educación.
- Vivienda.
- Otros servicios.

b.-) Abastecimiento actual de agua potable

Se identificarán la(s) fuente(s) de abastecimiento de agua potable existentes en la localidad, a saber:

- Pozo.
- Vertiente.
- Río.
- Otros.

Se determinará el número de familias abastecidas con cada sistema.

c.-) Sistemas de disposición de aguas servidas

Se describirán los sistemas existentes de evacuación de aguas servidas y se efectuará el diagnóstico general de la situación sanitaria actual.

d.-) Características socio-económicas de la población

Se recopilarán en la I. Municipalidad, antecedentes relativos a la estratificación social de la población. El análisis de estos datos, junto con las apreciaciones de terreno sobre las características y estado de las viviendas, permitirá conocer la situación socio-económica de la localidad.

Se identificarán las Organizaciones Comunitarias existentes y las necesidades más sentidas por la comunidad.



2.2 / Fuente de Abastecimiento

Las localidades se abastecerán a partir de fuentes de tipo superficial, subterránea o conexiones a redes de servicios existentes, según se indique en el llamado a propuesta del concurso.

Se considera que la fuente de abastecimiento, se encuentra previamente definida por un estudio Hidrogeológico de cada localidad. Para efectos de ubicación de las obras de captación superficial, lo señalado en dichos estudios sólo tendrá carácter de preliminar, siendo responsabilidad del consultor adjudicado la elección del lugar más adecuado.

Se entiende que al momento de la elaboración del diseño del sistema de abastecimiento, las localidades que se abastecerán de fuentes subterráneas (sondajes, punteras, norias, etc.) tienen sus obras de captación construidas.

Se deberán realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos de la fuente, con el fin de determinar la calidad de las aguas y la consecuente necesidad de tratamiento.

2.3 / Levantamiento Topográfico

Se efectuará un levantamiento taquimétrico completo con curvas de nivel cada 1 metro en todos los sectores relevantes, de modo de contar con un plano topográfico de toda el área comprometida en el Estudio. Se efectuarán levantamientos de detalle en el recinto de producción y regulación proyectado o donde se proyecten obras especiales.

La información que contendrá el levantamiento topográfico deberá ser básicamente la siguiente:

- Calles, caminos.
- Deslindes de recintos, líneas de edificación.
- Ubicación de canales, cercos, transformadores, líneas eléctricas y en general, todo detalle indicativo necesario para el Proyecto.
- Detalles especiales de obras que interfieran con las conducciones proyectadas (canales, acequias, puentes, etc.).
- Detalles de las áreas de ubicación de obras especiales.
- Perfiles transversales, para señalar trazado de cañerías.

El levantamiento a realizar deberá reflejar cabalmente la existencia de accidentes en el terreno que pudieran interferir en la correcta ejecución de las obras. En aquellas localidades que consideran captaciones superficiales, el levantamiento incluirá un área mayor de 50 m. aguas arriba y 50 m. aguas abajo de la captación, con perfiles transversales cada 10 m. (de un ancho mínimo igual al ancho del cauce más 30 m. de cada ribera).

Si corresponde, se deberán realizar levantamientos detallados en los sectores donde se emplazarán los recintos de la fuente y/o estanque, tanto en lo referente a los planos de Cesión de Terreno como a la regulación de los Derechos de Agua. En este último caso, según lo exigido por la D.G.A., es preferible trabajar con sistema de coordenadas UTM, según DATUM aceptado por ese organismo.



2.4 / Nivelaciones

Para las conducciones principales (Aducciones o Impulsiones), se realizarán nivelaciones cerradas con cotas de terreno al cm. incluyendo el estacado correspondiente.



2.5 / Materialización De Puntos De Referencia

Los Puntos de Referencia topográficos (P.R.) se materializarán debidamente nivelados y balizados. En el trazado de tuberías se consulta un P.R. cada 500 m., mientras que en las obras especiales, en general, se materializarán dos P.R.

Los PR se materializarán mediante monolitos de hormigón con punta de fierro debidamente balizados y nivelados; y se ubicarán, en general, en lugares que no sufran alteración durante la construcción.



2.6 / Pozos de Reconocimiento

Con el fin de tener una idea aproximada de las características de los terrenos por los cuales se proyectan las obras del Diseño, se efectuarán pozos de reconocimiento separados por 400 m de línea de red de distribución o conducciones proyectadas, o en las posibles ubicaciones de obras especiales.

De esta forma, se podrá obtener la información necesaria para el diseño de las obras y definir las especificaciones de construcción, sobre todo, y en forma especial, para definir la fundación del estanque de regulación y del sistema de captación.

Cada pozo tendrá una profundidad mínima de 2,0 m. y se indicarán las características de los diferentes estratos, grado de dureza, clasificación de terrenos del Ex - Sendos, fecha de ejecución y profundidad de la napa si aparece.

3. Bases de Cálculo



3.1 / Proyección de Población

La evaluación de los antecedentes de la situación actual, permiten establecer que la densidad habitacional media a nivel nacional corresponde a 3,43 Hab/viv para el sector Urbano y a 3,06 Hab/viv para el Sector Rural. Para efectos de diseño, se propone adoptar un índice conservador de 4 Hab/Viv para la determinación de la población beneficiada. De contarse con información más precisa, deberán considerarse los valores obtenidos en la encuesta de población por vivienda.

La determinación de la población futura, a servir durante el periodo de previsión, se obtendrá a partir de la población actual y la proyección pertinente.

En los casos que la población beneficiada cuente con establecimientos educacionales, se considerará el impacto del alumnado como un 15 % de población adicional a la población total. En caso de existir un internado, este porcentaje será de un 85%.

Para la estructuración de la proyección futura, se considerara para el cálculo de la población a 10 y 20 años una tasa de crecimiento de 1,2 % anual, la que podrá ser modificada con la justificación correspondiente.



3.2 / Dotación de Consumo de Agua Potable

Para los nuevos servicios de Agua Potable Rural, que no poseen Sistemas Colectivos de Alcantarillado de Aguas Servidas, se propone adoptar un nivel de dotación media anual que fluctúe aproximadamente entre 100 y 140 Lt/Hab/día, dependiendo de la zona del país en la cual se sitúen.



3.3 / Período de Previsión

El periodo de previsión adoptado para el diseño de las obras, será en general de 20 años, con excepción de determinados Equipos (Bombeo, Filtros en Presión, Generadores y Bombas Dosificadoras), para las cuales se considerará una vida útil de 10 años.



3.4 / Coeficientes de Consumo. Tiempo de Bombeo

Considerando la experiencia de los sistemas existentes, se propone adoptar un Coeficiente de Gasto Máximo Diario que varíe entre 1,2 y 1,5 veces el Caudal Medio. Para el Coeficiente de Gasto Máximo Horario se propone considerarlo como 1,5 veces el Caudal Máximo Diario.

En relación al periodo de bombeo de los Equipos de Elevación, se considera adoptar un valor de 12 horas diarias de bombeo como máximo.



3.5 / Desinfección

Un aspecto de vital importancia en un sistema de Agua Potable, es el que corresponde a la calidad bacteriológica del agua producida, en que el proceso de Desinfección resulta relevante.

Para todos los sistemas propuestos se considera la Desinfección de las aguas captadas mediante Cloración, usando como reactivo una solución de Hipoclorito de Sodio, generalmente al 10%.

El proceso de Dosificación, se deberá realizar en lo posible, mediante una bomba dosificadora de accionamiento eléctrico, en virtud a la precisión que otorga al proceso. En caso que no se disponga de energía eléctrica, la alimentación de energía se deberá realizar conjuntamente con el equipo de bombeo, con la ayuda de un grupo generador u otro medio alternativo de energía.



3.6 / Volumen de Regulación

De acuerdo a la topografía del terreno, los sistemas de Regulación podrán ser elevados o superficiales.

En la determinación de la capacidad del sistema de regulación, se deberá considerar un volumen mínimo igual a un 20% del Caudal Máximo Diario del horizonte del período de previsión (20 años).

En relación al Material del Estanque de Regulación, podrán emplearse distintos tipos de materiales (Hormigón armado, Metálicos o Plásticos), siempre que no afecten la salud de los usuarios y que cuenten con autorización del SNS para ser usados en sistemas de agua potable.

Para los estanques metálicos elevados sobre 15 m³. de capacidad, el plano tipo considera alturas de torre de 10, 15 y 20 metros.

Para los estanques elevados de hormigón armado las alturas máximas o mínimas serán de acuerdo al plano tipo correspondiente.

En los casos en que se requiera materializar Estanques de Regulación del tipo elevado para soluciones individuales o aisladas, se deberá considerar una torre (de madera o metálica) de al menos 8 metros de altura mínima con respecto a la vivienda abastecida.



3.7 / Presiones de Servicio en la Red de Distribución

La red de Distribución será calculada para el caudal máximo horario al horizonte del período de previsión (20 años).

Las presiones de servicio de la red de distribución de Agua Potable deberán ser tales que queden comprendidas en el siguiente rango.

Máxima	40 metros.
Mínima	8 metros.

La presión mínima deberá garantizar, entre otros, que las viviendas puedan incorporar a futuro equipos domésticos como el calefón u otros, los que requieren de determinadas condiciones mínimas de presión para su funcionamiento.



3.8 / Válvulas

En la red de distribución se instalarán válvulas de sectorización que permitan aislar tramos sin dejar fuera de servicio grandes extensiones de la red.



3.9 / Conexiones Domiciliarias

Las conexiones domiciliarias se proyectarán en cañería de cobre o PVC, que cumpla con las normas de fabricación para cañerías de agua potable de 1/2" o equivalente. En casos especiales (postas, escuelas, etc.), podrá autorizarse conexiones en 3/4".

El diseño se hará conforme a los planos tipo aprobados por el Ex - Sendos e incluirán medidor con nicho protector y llave tipo jardín.



3.10 / Materiales a Emplear

La elección del tipo de cañería a utilizar en las conducciones del Agua Potable dependerá de lo que recomienden los estudios técnicos y económicos.

El material de las cañerías podrá ser HDPE, Acero Galvanizado, Cobre o PVC, debiendo considerarse como variable de importancia la facilidad de reparación que presente la red de distribución, en especial para los sectores de población mas apartados de los centros urbanos y comerciales.



3.11 / Trazados Generales

En lo referente al trazado y ubicación de las instalaciones, deberán encuadrarse completamente en las disposiciones vigentes de los organismos o servicios competentes, debiendo ajustarse, entre otros, a los requerimientos de la Dirección de Vialidad en el uso de caminos públicos.

4. Aspectos Económicos

En la realización del estudio se deberá incorporar el análisis de los diversos costos que involucrará el desarrollo y puesta en marcha del sistema.



4.1 / Costos de Operación

A objeto de evaluar los costos de operación y mantención de los servicios de Agua Potable Rural, se determinarán los aspectos más relevantes relacionados con la administración y explotación de un servicio de este tipo.

Los costos de operación de un servicio de Agua Potable Rural, están representados básicamente por los siguientes conceptos:

- Costos de Administración
- Costos de Operación
- Costos de Mantención
- Costos de Mejoramiento

a) Costos de Administración

El Costo de Administración representa básicamente los gastos en que incurre el Comité Administrador del Servicio de Agua Potable para llevar los libros contables (honorarios contador), hacer la medición y los cobros por el agua vendida mensualmente, trámites, cancelar viáticos y adquirir útiles de oficina.

b) Costos de Operación

Se consideran como Costos de Operación de un Servicio de Agua Potable Rural, aquellos originados como producto de las siguientes partidas:

Consumo Energía Eléctrica.
Consumo de Productos Químicos.
Remuneración del Personal.

c) Costo de Mantenimiento

El costo de Mantenimiento corresponde a los siguientes gastos que debe realizar el Servicio.

Limpieza periódica y reparaciones que requiere el sistema a nivel de captación, estanques, líneas de conducción, distribución y medidores.
Reparaciones de bombas dosificadoras, materiales y mano de obra que se requiere para mantener en buena forma el funcionamiento del sistema.

d) Costos de Mejoramiento

Este costo corresponde básicamente al requerido para efectuar mejoramientos menores, los que deberían realizarse con fondos propios, como una forma de optimizar el funcionamiento del mismo.

5. Estructuración y Contenidos del Diseño



5.1 / Anteproyecto

La etapa de anteproyecto constará, a lo menos, de la totalidad de los Trabajos que se indican a continuación:

A. *Memoria Técnica*

A base de los antecedentes obtenidos, se identificarán todas las posibilidades factibles de implementar para la instalación del servicio de agua potable, haciendo énfasis en todo lo relativo a la determinación de la necesidad del tratamiento de las aguas y las alternativas de ubicación del estanque de regulación, con el objeto de poder tener un Proyecto cuyo costo de obras sea técnica y económicamente óptimo.

A objeto de ordenar la presentación de antecedentes, el índice del contenido de la memoria deberá ser al menos el siguiente:

1. Antecedentes Generales
 - 1.1 Objetivo del Estudio
 - 1.2 Alcance del Estudio

2. Información Básica de la Localidad
 - 2.1 Ubicación y Dependencia Administrativa
 - 2.2 Vías de acceso y Medios de Transporte
 - 2.3 Clima e Hidrología
 - 2.4 Topografía y características del Terreno
 - 2.5 Viviendas y otras edificaciones
 - 2.6 Servicios Existentes-Empresa Eléctrica
 - 2.7 Organización de la localidad
 - 2.8 Ingreso Promedio, Fuentes de Trabajo

3. Situación Sanitaria Existente
 - 3.1 Abastecimiento actual de agua
 - 3.2 Disposición de excretas
 - 3.3 Enfermedades entéricas

4. Estudio de la Población
 - 4.1 Población actual
 - 4.2 Población futura. Proyección

5. Bases de Cálculo
 - 5.1 Período de previsión
 - 5.2 Cantidad de arranques totales
 - 5.3 Cobertura
 - 5.4 Determinación de la dotación
 - 5.5 Coeficiente de consumo. Tiempo de bombeo
 - 5.6 Caudales de diseño
 - 5.7 Volumen de regulación
 - 5.8 Presiones en la red de distribución
 - 5.9 Materiales y/u obras o diseños especiales

6. Solución General
 - 6.1 Análisis técnico-económico de alternativas. Recomendación
 - 6.2 Descripción Solución Anteproyectada

7. Obras Anteproyectadas
 - 7.1 Captación
 - 7.2 Conducciones Generales: Aducción, Impulsión y Elevación
 - 7.3 Análisis de agua. Sistema de tratamiento
 - 7.4 Estanque de regulación
 - 7.5 Equipo de Bombeo. Altura de elevación
 - 7.6 Matriz y Red de Distribución
 - 7.7 Arranques domiciliarios
 - 7.8 Instalaciones eléctricas
 - 7.9 Urbanización de recintos. Cierros
 - 7.10 Situación de terrenos. Adquisición y/o Servidumbre

8. Evaluación del Proyecto
 - 8.1 Definición del Modelo MESAP
 - 8.2 Datos de Entrada
 - 8.3 Resultados de la evaluación. Indicadores
 - 8.4 Determinación de Tarifa Mínima

- 9. Costos de las Obras Anteproyectadas
- 9.1 Precios, valores o índices de referencia
- 9.2 Resumen costo general de las obras

B. Anexos y Estudios Especiales

Como apoyo y respaldo de la información presentada en la Memoria Técnica, se deberá incluir en forma de Anexos o Estudios Especiales los siguientes antecedentes:

Captación

En caso de captaciones superficiales se exigirá el Aforo del cauce a captar y los niveles máximo, mínimo y medios.

En el diseño y ubicación de las obras se considerará las cotas de aguas mínima y máxima y en los casos que proceda se incluirá las obras de protección contra inundaciones de tal manera de asegurar un fácil acceso a los recintos en cualquier periodo del año.

Para los casos de fuentes superficiales, se requerirán los siguientes análisis de calidad de agua:

Análisis físico-químico que incluirá la medición de todos los parámetros que señala la norma.
Análisis bacteriológico que incluirá la determinación de Coliformes Totales, Coliformes Fecales.

Para las localidades que consultan captaciones subterráneas se incluirán antecedentes de los análisis existentes de las aguas.

En aquellas localidades que se abastecerán mediante conexión a redes de distribución de servicios existentes, se requerirá:

Verificar la factibilidad técnica de la conexión.
Análisis y justificación de la presión en el punto de conexión.
Verificar la calidad del agua.

Mecánica de Suelos

A objeto de definir las características de la fundación del estanque y obras civiles proyectadas, un Ingeniero Especialista, elaborará un Informe de Mecánica de Suelos, que permita determinar la capacidad de soporte del terreno en que se fundará las obras.

Cálculos Hidráulicos

Se realizarán los cálculos hidráulicos que permitan dimensionar cada una de las obras del diseño propuesto. Los cálculos a considerar serán los siguientes:

- Determinación de la altura de elevación
- Análisis de transientes hidráulicos. Diseño de protecciones
- Verificación de conducciones principales
- Modelación hidráulica de la red de distribución
- Determinación del volumen y cota del estanque de regulación.

Equipos

Los equipos a considerar en el proyecto deberán especificarse en forma rigurosa, indicando las características técnicas a satisfacer, anexando los respectivos Data Sheet, Catálogos y/o Manuales de Operación y las Cotizaciones de respaldo

Factibilidad del Suministro de Energía Eléctrica

El Estudio de las obras eléctricas, tendrá como objetivo principal definir el sistema de alimentación eléctrica de los equipos y plantas elevadoras, y su operación desde el punto de vista de los dispositivos de control y comando.

Se incluirán los Estudios correspondientes para determinar la alternativa más conveniente para el suministro de energía eléctrica y el sistema de control. Para ello, se tomarán en cuenta consideraciones técnicas y económicas, así como también de estandarización de las instalaciones y facilidad de operación.

En esta etapa se incluirán los Estudios eléctricos a nivel de Anteproyecto, entregándose los siguientes esquemas:

- Planta de ubicación geográfica.
- Planta General de Ubicación, en la cual se planteará la solución para alimentación eléctrica de la planta elevadora, si procede.
- Planta del recinto de captación, indicando solamente la ubicación de las instalaciones.

- Formato del listado de componentes del tablero.
- Formato para el cuadro resumen de cargas.
- Formato para el cuadro de cargas de alumbrado y fuerza.
- Simbología.

Finalmente, se entregarán los siguientes documentos:

- Memoria explicativa indicando las soluciones adoptadas y los criterios de diseño.
- Estudio técnico económico para la alimentación eléctrica de las instalaciones y su sistema tarifario.
- Factibilidad y costos de suministro eléctrico.
- Programa de construcción de las obras, con las instrucciones necesarias para la ejecución, cuando sea necesario.

En esta etapa del Estudio, se analizará la información general sobre líneas eléctricas existentes de A.T. y B.T., para la alimentación de las obras a proyectar. Se efectuarán los contactos preliminares con la Compañía Eléctrica correspondiente, a fin de determinar la factibilidad de alimentación de las nuevas instalaciones y su costo aproximado. Se deberá solicitar Carta de Aceptación de la Empresa de Electricidad local.

Se considerarán como condición necesaria para la definición y selección de alternativas de equipamiento eléctrico de la planta, los siguientes aspectos:

- Facilidad de operación.
- Facilidad de mantención.
- Confiabilidad del sistema.
- Suministro de repuestos.
- Factibilidad de ampliación futura.

Antecedentes Evaluación Económica del Anteproyecto

Se incluirá los resultados y detalle de la evaluación según el programa computacional MESAP de Mideplan.

Antecedentes de Terrenos

En esta etapa se entregará los planos de Servidumbre, Cesión o Adquisición de terrenos (según lo requerido), conteniendo como información mínima lo siguiente:

- Nombre propietario actual de cada terreno involucrado.
- Número de Rol de Avalúo de cada lote.
- Certificado de Dominio vigente.
- Superficie de cada lote (m²).
- Precio referencial del m². de terreno a adquirir o expropiar.
- Otros antecedentes necesarios para el trámite expedito de cesión del terreno y la servidumbre de paso.

C. Planos

Los planos que se desarrollarán en la presente etapa corresponden como mínimo a los siguientes:

a) Plano General o de Conjunto

Incluirá toda la población de la localidad señalando cada casa por abastecer, el sitio de captación, localización del estanque de almacenamiento, líneas de aducción o impulsión, redes de distribución, y, en general, todos los detalles obtenidos en el levantamiento topográfico. Incluirá plano de ubicación geográfica, coordenadas geográficas y norte.

b) Plano de Captación

Este plano incluirá las características, disposición y dimensionamiento general de la captación propuesta, así como las posibilidades de acceso. Se indicarán las cotas mínimas, medias y máximas de las aguas.

En caso de fuentes subterráneas, se deberá mostrar la disposición de las conexiones hidráulicas para su habilitación, a partir de los planos de construcción existentes.

c) Plantas Elevadoras e Instalaciones Eléctricas.

De ser necesario un sistema de elevación mecánica, se deberán establecer las características técnicas del equipo de bombeo e indicar en los planos las disposiciones generales de ubicación y de

interconexiones hidráulicas, así como las obras civiles asociadas al sistema de elevación. Asimismo, se deberá contemplar el detalle de las instalaciones requeridas para estos efectos.

d) Aducción o Impulsión y Matriz.

Se definirá su trazado en planta y perfil indicando las características hidráulicas, material y accesorios necesarios de la conducción anteproyectada, para su correcta instalación, funcionamiento y operación (desagües, ventosas, refuerzos, etc.).

Se deberán indicar las singularidades del trazado, señalando atravesos de cauces o quebradas, líneas férreas, anclajes especiales, puentes, caminos, terrenos agrícolas, bosques, interferencias con obras o servicios existentes, etc.

Para la determinación del trazado, material y diámetros se realizará un estudio técnico - económico, que se incluirá en Anexos.

e) Estanque de Regulación.

Los planos, deberán mostrar claramente el volumen, cota, tipo (elevado o enterrado), material e interconexiones hidráulicas, así como su ubicación y las particularidades de su emplazamiento según Informe de Mecánica de Suelos.

f) Red de Distribución.

Sobre el plano topográfico de la localidad se indicará el trazado de la red señalando diámetros, longitudes, posición de válvulas de corta y ubicación de desagües de la red.

Se indicarán las singularidades del trazado como cruces, líneas férreas, caminos, etc.

g) Sistema de Tratamiento del Agua.

De acuerdo a la calidad de las aguas, podrá ser necesario contemplar un sistema de tratamiento para corregir los parámetros cuyos valores excedan los aceptados por la Norma.

En tal caso, deberá incluirse el Anteproyecto del Sistema de Tratamiento, señalando las características técnicas y equipos asociados.

D. Especificaciones Técnicas

Se considera la elaboración de Especificaciones Técnicas con partidas globalizadas, indicando la cubicación general de los materiales para cada una de las obras que componen el Diseño General de Abastecimiento propuesto.

Las Especificaciones Técnicas Especiales estarán divididas en capítulos separados, de modo de identificar claramente cada situación, especialidad o sector de la obra. Se incluirán capítulos referentes a pruebas de Conjunto, Operación y Mantenimiento del Servicio junto a Suministro de Materiales.

En los casos que corresponda, se indicará el plano tipo según el cual deberá ejecutarse la obra y, si fuese necesario, se informará de las modificaciones que sobre estos considera el estudio.

E. Presupuesto

El Diseño incluirá un listado de las partidas consideradas en las Especificaciones Técnicas indicando las unidades, cantidades, precios unitarios y costo total de la partida, a la fecha de entrega del Anteproyecto.

De ser necesario, se deberá considerar las etapas constructivas contemplada en la implementación del servicio.



5.2 / Proyecto

Una vez aprobado el Anteproyecto, se procederá al estudio y diseño del Proyecto respectivo con la alternativa de solución aceptada.

Durante la etapa de proyecto se realizará la elaboración a nivel de detalle constructivo de la solución de Anteproyecto aprobada, incluyendo Memoria, Anexos, Especificaciones generales y especiales y Presupuesto de las obras.

A. Memoria

Se complementará técnicamente la memoria general del estudio y sus anexos respectivos, incluyéndose aquellos nuevos estudios o anexos que resulten necesarios y/o que correspondan a esta etapa, según sea el caso.

- a) Complementación de antecedentes a los anexos presentados a nivel de Anteproyecto.
- b) Data Sheet y Catálogos de equipos especiales y/o de requerimiento de sistemas o unidades específicas.
- c) Evaluación Privada y Social. MESAP.

En este punto, se efectuará la evaluación socio-económica de la solución definitiva del sistema, en términos privados y sociales. Las evaluaciones se realizarán de acuerdo con las pautas de MIDEPLAN.

Para desarrollar la evaluación social del Proyecto, se utilizará el modelo computacional MESAP.

Se incluirán en esta etapa los siguientes antecedentes en forma detallada:

- Fundamentación de los datos de entrada.
- Categorías de Costos
- Datos Base Generales del programa de cálculo.

- d) Estudio de Tarifa Mínima por vivienda.

Se incluirá a modo de anexo técnico la determinación de la Tarifa Mínima que deberá pagar cada vivienda conectada a la red proyectada para lograr el autofinanciamiento del sistema.

Con este objeto se incluirán los siguientes antecedentes:

- Evaluación de costos:
 - i.1 Costos de Administración.
 - i.2 Costos de Operación.
 - i.3 Costos de Mantenimiento.
 - i.4 Costos de Mejoramientos.

- Determinación de Tarifa Mínima.

- e) Factibilidades de otros Servicios:

Se incluirán en esta etapa la aprobación de terceros respecto de las obras proyectadas según corresponda: Atravesos de Vialidad - Puentes. Ferrocarriles - Riego - Particulares.

- f) Otros detalles - Carpeta Derechos de Agua.
- g) Estudios Específicos.

En esta etapa se revisarán los Estudios específicos de Mecánica de Suelos, Transientes Hidráulicos, Obras Eléctricas y Cálculos Estructurales, los que deberán ajustarse a las Normas de Diseño. En todo caso, éstos deberán tener el nivel de detalle necesario para la correcta definición y posterior construcción de las obras.

Se incluirán las Obras eléctricas requeridas, como son malla de tierra y otros sistemas de protección.

B. Anexos

Se incluirá, a modo de respaldo al estudio, la información indicada en el siguiente índice, sin perjuicio de incorporar toda información adicional relevante y necesaria para la completa comprensión del Diseño:

- Anexo N°1 : Encuestas preliminares: Técnica-Socioeconómica. Condiciones sanitarias-Demografía.
- Anexo N°2 : Cálculo o definición de la Dotación, según corresponda.
- Anexo N°3 : Características de la fuente de abastecimiento y calidad del agua. Análisis, Definición de tratamiento. Minuta Hidrológica (si corresponde). Certificación de la Dirección General de Aguas.
- Anexo N°4 : Estudio de Mecánica de Suelos para las estructuras que correspondan. Muestras - Ensayos.
- Anexo N°5 : Análisis hidráulico del sistema. Red de distribución. Aducciones e impulsiones. Análisis de transientes. Obras especiales. Anclajes.
- Anexo N°6 : Obras eléctricas. Factibilidad - Cartas - Certificados. Medición de resistividad. Malla puesta a tierra. Cálculos. Respuesta de la Empresa Eléctrica. Análisis tarifario. Catálogos específicos.
- Anexo N°7 : Data Sheet y Catálogos técnicos: Grupo motobomba. Sistemas, equipos de tratamiento, medidores, equipos mecánicos y/o electro-mecánicos.

Anexo N°8	:	Estudio de Precios Unitarios y Elección de materiales.
Anexo N°9	:	Desarrollo Modelo MESAP. Datos, cuadros. Ingresos privados. Beneficios sociales. Indicadores de rentabilidad: Social, Privada. Determinación de la Tarifa Mínima.
Anexo N°10	:	Aprobaciones de Terceros: Propietarios de Terrenos. Trazados de Vialidad.

C. Especificaciones Técnicas Generales (E.T.G.)

Las Especificaciones Técnicas Generales estarán constituidas por las disposiciones reglamentarias, las Normas (INN u otras), las exigencias e instrucciones de carácter general por las cuales deberá regirse la ejecución de las distintas etapas de las obras, o que deber tenerse presente para su correcta y oportuna realización.

D. Especificaciones Técnicas Especiales (E.T.E.)

Las Especificaciones Técnicas Especiales consideraran una enumeración detallada de todas las partidas que constituyen las diversas obras consultadas en el proyecto, señalando en un índice la subdivisión adoptada (Capítulos, Títulos, etc.).

Cada subdivisión deberá comenzar con una breve explicación de su contenido, indicando al menos lo siguiente:

- Alcance y posibles excepciones, con indicación de otras subdivisiones con las que pudiera tener relación.
- Exigencias de carácter general aplicables a las partidas de la subdivisión (Normas, Reglamentos, Recomendaciones de fabricantes, Instrucciones del Ex Sendos etc.)

En las partidas o ítems que procedan, se hará mención explícita a los planos tipo que correspondan, a las recomendaciones de estudios o informes especiales como Mecánica de Suelos, etc.

E. Presupuesto

Se incluirá un presupuesto detallado de las obras, individualizando brevemente las partidas a que corresponden los valores consignados.

La estructuración general será la misma adoptada para las Especificaciones Técnicas Especiales.

F. Planos generales y de detalle

Se incluirá en esta etapa el desarrollo, complemento y terminación a nivel de detalle constructivo de los planos incorporados en la etapa de Anteproyecto.

Se incluirán los cuadros de nudos y piezas especiales, plantas y cortes estructurales, obras de arte, definición de puntos de desagüe y detalle de las obras correspondientes; diseño de compuertas, si procede; detalle de obras de acceso proyectadas: puentes, pasarelas, caminos, etc.; detalle de obras de protección: rellenos, enrocados, pedraplenes, etc.; detalle cámaras, casetas, refuerzos, afianzamientos, anclajes, etc.

En general los planos deberán contener todos los detalles necesarios y suficientes de tal modo que sirvan para dirigir la construcción de todas las obras del proyecto, complementándose para este propósito con las respectivas especificaciones técnicas.

Se deberán elaborar también los planos de expropiación y/o servidumbre o cesión requeridas, conteniendo toda la información necesaria para su expedita tramitación (superficie, deslindes, propietario, rol).

Los planos de expropiación, servidumbre o cesión deberán ser completos y permitir una ubicación clara y expedita de los distintos lotes, ya que son independientes del resto del proyecto.

Además, se deberá dar cumplimiento a lo exigido por la Dirección de Vialidad en lo concerniente a la presentación de planos de paralelismos y atravesos de caminos públicos según instructivo vigente.

G. Entrega del Trazado

Previo a la aprobación del Proyecto, se deberá hacer entrega del trazado definitivo de las redes proyectadas a la Inspección Técnica del estudio. Asimismo, se deberá realizar la entrega del trazado de todos los terrenos donde se proyecten otras instalaciones, tales como: fuente, estanque, plantas elevadoras, etc.

Santiago, Mayo de 2007.







Guía de Criterio de Diseño Aguas Servidas

1. Introducción

La División de Desarrollo Regional de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, ha impulsado el desarrollo del estudio “Soluciones de Saneamiento Rural”, el que tiene como objetivo principal normalizar las soluciones de carácter sanitario en asentamientos rurales (poblaciones con menos de 1.000 habitantes) y normalizar las alternativas técnicas de soluciones de tratamiento sostenibles en el tiempo, para su aplicación a los distintos escenarios del ámbito rural.

Es importante destacar que los asentamientos rurales pueden corresponder a localidades concentradas o dispersas, lo que incidirá significativamente en el tipo de soluciones de saneamiento a implementar.

Desde el punto de vista tecnológico, la Metodología que se detalla más adelante permitirá definir condiciones de borde técnicas que factibilicen el desarrollo estandarizado de los respectivos Proyectos, a partir de los cuales se proceda con la posterior implementación de los sistemas de recolección y disposición de aguas servidas.

El primer aspecto a considerar, dice relación con segregar la Recolección, Tratamiento y Disposición de aguas servidas entre soluciones para los escenarios del tipo Descentralizados y Centralizados, independiente de que cuenten o no con Agua Potable, y dependiente estrictamente de la magnitud de población involucrada y el tipo de solución económicamente mas conveniente.

Considerando las características propias de dichos escenarios, el objetivo general de la presente Guía consiste en evaluar el espectro de alternativas disponibles en el mercado y definir las Condiciones de Borde y Criterios de Diseño a considerar para las soluciones más adecuadas desde el punto de vista Técnico, Económico y de Viabilidad para el Sector Rural.

2. Evaluación de Alternativas de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Servidas

A objeto de delimitar el marco conceptual en el Sector Rural, se decidió segregar los sistemas de tratamiento en Centralizados y Descentralizados, vale decir, los sistemas de tratamiento que cuentan y no cuentan con redes de alcantarillado, sean sistemas de tratamiento colectivos o individuales.



2.1 / Sistemas Rurales Descentralizados

Los sistemas de recolección y tratamiento de las aguas servidas provenientes de sistemas rurales del tipo Centralizado, vale decir, que cuentan con redes de alcantarillado, pueden ser homologables a los de pequeñas comunidades Urbanas.

Distinto es el caso de sistemas rurales Descentralizados (que no cuentan con redes de alcantarillado), cuya recolección, tratamiento y vertimiento o reutilización de sus aguas residuales obedecen a otros criterios, cuyas condiciones de borde obedecen a lo siguiente.

En general, los elementos o componentes que comprende un sistema descentralizado de las aguas residuales corresponden a los siguientes.

- Tratamiento Preliminar.
- Tratamiento de Aguas Residuales.
- Disposición o Reutilización del efluente tratado.
- Manejo de Lodos.

A pesar de que las componentes son las mismas que las de los sistemas centralizados, la diferencia radica en la tecnología utilizada, por lo cual se presenta a continuación un resumen de los aspectos más relevantes asociados a los ítems de mayor importancia.

- **Tratamiento Preliminar de las Aguas Residuales**

El objetivo del Tratamiento Preliminar de las aguas residuales es remover Sólidos gruesos, Aceites y Grasas, Arenas y otros materiales flotantes o sedimentables, de modo que el agua residual pueda ser tratada eficientemente y reutilizada o vertida sin ningún riesgo.

En muchos casos, el uso de Fosas Sépticas individuales en el punto de origen puede considerarse como una parte integral de un sistema descentralizado, ya que en dicha componente los sólidos se independizan del efluente de la Fosa Séptica.

- **Alternativas de Tratamiento de las Aguas Residuales**

A objeto de delimitar el espectro de alternativas viables de aplicar al Sector Rural, se puede establecer en primer lugar que todo sistema descentralizado posee algún sistema de evacuación de sus aguas servidas, generalmente de baja calidad sanitaria del efluente, como pozos negros o letrinas.

Las alternativas de tratamiento más comúnmente adoptadas corresponden a las siguientes:

- Pozo Negro.
- Letrina (Standard o mejorada con pozo ventilado).
- Letrina Abonera Seca.
- Caseta Sanitaria con Fosa Séptica y Red de Drenaje o Pozo Absorbente.

El Pozo Negro prácticamente no realiza tratamiento y su efluente no muestra características que hagan recomendable su adopción.

Las Letrinas tienen, en general, una vida útil corta y requieren ser trasladadas una vez que se copó su capacidad (aproximadamente cada 5 años). Adicionalmente, no pueden ser adaptadas a sistemas de disposición más efectivos.

En cuanto a las Fosas Sépticas, corresponden conceptualmente a un Tratamiento Primario, alcanzando eficiencias de remoción del orden de 75 – 80 y 10 – 25 % en términos de Sólidos Suspendedos 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).

En consecuencia, y considerando el actual estado del arte en lo que a tratamiento y disposición de aguas servidas se refiere, se considerará el análisis de alternativas viables de tratamiento a partir de los sistemas en base a Fosas Sépticas.

A partir de ello, los sistemas de tratamiento más utilizados para el tratamiento de aguas residuales en sistemas pequeños y descentralizados (sujetos en general a limitaciones económicas) pueden resumirse de acuerdo al siguiente detalle:

Cuadro N° 2.1

Alternativas Típicas de Tratamiento de Aguas Residuales en Sistemas Pequeños Descentralizados

TIPO DE TRATAMIENTO	ALTERNATIVA
Primario	Fosas Sépticas
	Tanques Imhoff
Primario Avanzado	Fosa Séptica – Cámara de Filtración.
	Fosa Séptica – Reactor de Cultivo Fijo
Secundario	Tratamiento Biológico Aeróbico.
	Tratamiento Aeróbico / Anaeróbico
	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

Dentro del espectro de alternativas de tratamiento de Aguas Servidas mostrado en el cuadro anterior, una de las soluciones de más amplia difusión en sistemas pequeños y descentralizados lo constituyen las Fosas Sépticas, por lo que se presenta a continuación un análisis de las principales características y criterios de diseño utilizados.

- **Fosas Sépticas**
 - **Antecedentes Generales**

Una Fosa Séptica se usa para recibir la descarga de agua residual proveniente de residencias individuales y de otras instalaciones sin red de alcantarillado. Las Fosas Sépticas son tanques prefabricados que ofician como tanque combinado tanto de Sedimentación y Desgrasado como de Almacenamiento de Lodos que se digieren en el fondo por digestión anaeróbica sin mezcla ni calentamiento.

Se debe destacar que el uso de Fosas herméticas y el tamizado del efluente son dos características muy importantes en la versión moderna de la Fosa Séptica.

En general, en la construcción de las Fosas Sépticas se usan materiales como Concreto o Fibra de Vidrio, aunque también se ha empleado Acero y Polietileno. Con respecto a estos dos últimos, la mayoría de las agencias reguladoras en el extranjero no permiten en la actualidad el uso de materiales como el acero, y sí permiten los tanques de polietileno aún considerando que su resistencia estructural es inferior a la de los tanques construidos en concreto o en fibra de vidrio y han presentado problemas por cuanto el polietileno es un material que se deforma con el paso del tiempo. Los tanques construidos en fibra de vidrio son más costosos y se emplean en zonas de difícil acceso a las mezcladoras de concreto.

Independientemente del material de construcción, una fosa Séptica debe poseer resistencia estructural y ser impermeable para evitar fugas del contenido del tanque, en especial cuando existen etapas posteriores de tratamiento como Filtros de Lecho Empacado intermitente y con recirculación o se utilizan alcantarillas a presión. La diferencia de precios entre un tanque estructuralmente resistente e impermeable y uno de bajo costo es mínima, ya que los costos involucrados en la reparación de este último excede incluso el valor estimado para un tanque nuevo.

El ingreso de aguas subterráneas a la Fosa Séptica sin impermeabilización genera las siguientes consecuencias.

- Interrupción del proceso de digestión anaeróbica que se desarrolla dentro de la Fosa Séptica.
- Sobrecarga hidráulica de los sistemas de disposición en campos de infiltración, provocando la acumulación del efluente en la superficie del suelo.
- Sobrecarga hidráulica significativa en los procesos de tratamiento subsecuentes como es el caso de los filtros de lecho empacado intermitente y con recirculación.

En consecuencia, una Fosa Séptica debe poseer resistencia estructural y ser impermeable si se desea que funcione adecuadamente.

En cuanto al proceso que tiene lugar en la componente, los sólidos sedimentables que se encuentran en el agua residual cruda forman una capa de lodo en el fondo de la Fosa Séptica. Los Aceites y Grasas y otros materiales livianos tienden a acumularse en la superficie donde forman una capa flotante de espuma en la parte superior. El agua tratada puede destinarse a disposición en campos de infiltración (si la población aportante es menor a 100 habitantes) o ser sometida a una unidad de tratamiento complementario según se requiera.

La materia orgánica retenida en el fondo del tanque se somete a un proceso de descomposición anaeróbica y facultativa, transformándose en compuestos y gases más estables como Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) y Sulfuro de Hidrógeno o Ácido Sulfhídrico (H₂S).

El lodo que se acumula en el fondo de la Fosa Séptica está compuesto fundamentalmente por hilachas provenientes del lavado de prendas y de lignina (presente en el papel higiénico), y aunque estos materiales lleguen a degradarse biológicamente, la velocidad de descomposición es tan baja que en definitiva se acumulan.

Aunque en las Fosas Sépticas se forme Sulfuro de Hidrógeno, no es común el desprendimiento de olores ofensivos al entorno inmediato, ya que éste se combina con los metales presentes formando sulfuros metálicos insolubles que se acumulan en los sólidos que se sedimentan. A pesar que la descomposición anaeróbica reduce el volumen del material sólido depositado en el fondo del tanque, siempre existe una acumulación neta de lodo. Parte del lodo alimentado se adhiere a las burbujas de gas generadas en el proceso de descomposición del material sólido del fondo del tanque, y asciende junto con ellas aumentando el espesor de la capa de espuma formada en la superficie del tanque. Considerando que en el largo plazo la acumulación de lodo y espuma hace que se reduzca la capacidad volumétrica efectiva del tanque; es conveniente realizar extracción periódica del contenido del tanque con un programa de mantenimiento programado.

Históricamente, el problema más importante que se presenta en la operación de la Fosa Séptica es el arrastre de Sólidos y Aceites y Grasas, lo que ocasiona la reducción prematura de la capacidad de asimilación de carga hidráulica en los campos de disposición del efluente por infiltración, dando origen a la formación de zonas húmedas en la vecindad de las zanjas de infiltración y acumulación del efluente en la superficie del suelo.

Para limitar la descarga de sólidos en el efluente de Fosas Sépticas se ha generalizado el diseño con dos compartimentos, respecto a lo cual la experiencia ha demostrado que los beneficios atribuidos se deben más al diseño que a la subdivisión del tanque (Seabloom, 1982; Winneberger, 1984).

Un método más efectivo para reducir la descarga de sólidos sin tratamiento consiste en instalar un filtro para mejorar la calidad del efluente en tanques con un solo compartimento. Durante la operación, el líquido fluye dentro del filtro a través de los orificios de entrada localizados en la parte central de la pared de la cámara de filtrado, y antes de pasar a la zona central de la cámara, el efluente debe atravesar un tamiz situado al interior de la cámara. Debido a la gran superficie del tamiz, la colmatación del mismo no se produce rápidamente (de ser necesario, el tamiz se puede retirar para labores de limpieza).

- **Criterios de Construcción**

En relación a los criterios de construcción de estas unidades, las principales consideraciones que se deben tener en cuenta son las siguientes.

- **Configuración**

La mayoría de las Fosas Sépticas construidas en Concreto son rectangulares y cuentan con un deflector interno que divide el tanque. La primera cámara ocupa aproximadamente las dos terceras partes del volumen total del tanque. Asimismo, la Fosa cuenta con puntos de acceso que permiten la inspección y la limpieza.

- **Integridad Estructural**

El adecuado comportamiento de una Fosa Séptica, depende directamente de su integridad estructural. Una Fosa Séptica construida en concreto depende del método de construcción, del tipo de refuerzo en acero y de la composición de la mezcla del concreto (Bounds, 1996).

Para lograr una máxima integridad estructural, las paredes y el fondo del tanque deben ser fundados monolíticamente, y la cubierta se debe fundar en el sitio, utilizando el refuerzo en acero que sobresale de los muros. En algunos casos se utiliza un sello hidráulico entre los muros y la cubierta.

Se debe evitar colocar la cubierta sobre el tanque puesto que se pueden presentar separaciones cuando ocurren asentamientos diferenciales.

- **Impermeabilización**

Las Fosas deben necesariamente estar impermeabilizadas para la protección tanto del medio ambiente como de las subsecuentes instalaciones de tratamiento o vertido que se pudieran contemplar. Para ello, se deben realizar las Pruebas de Permeabilidad e Integridad Estructural.

Las pruebas Hidrostáticas se realizan en el lugar de emplazamiento, llenando la Fosa con agua y aguardando 24 horas. Si al cabo de dicho tiempo no se presentan fugas de agua, puede aceptarse preliminarmente. Sin embargo, y considerando que parte del agua se absorbe en el concreto, es conveniente llenarlo de nuevo y esperar otras 24 horas, de modo de verificar las pérdidas totales. Si éstas llegan a ser superiores al orden de 4 litros (1 galón) de agua, la Fosa no es hidráulicamente adecuada y no se debe aceptar su funcionamiento.

- **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).

No obstante, el volumen dependerá en gran medida del caudal afluente al sistema, el que estará compuesto por las aguas servidas propiamente tales, Aguas de Infiltración y Aguas Lluvia, aporte de RILES, etc.

En consecuencia, más que adoptar volúmenes mínimos o recomendados, el dimensionamiento de la Fosa Séptica debe considerar fundamentalmente como criterio de diseño el Período de Retención de la masa líquida, considerado generalmente como de 1 (un) día.

Adicionalmente, los restantes Criterios de Diseño a adoptar dicen relación con las siguientes variables y sus valores comúnmente adoptados.

Cuadro N° 2.
Parámetro de Diseño

PARÁMETRO DE DISEÑO	Unidad	Valor
Coef. Reducción Volumen Lodo Digerido		0,25
Contribución Lodo	l/hab/día	1
Período Almacenamiento Lodo	días	365
Coef. Reducción Volumen Lodo en Digestión		0,5
Período Digestión	días	60

- **Condiciones de Borde Adicionales.**

Para la implementación del tratamiento y disposición de las aguas servidas tratadas por medio de Fosas Sépticas, se deberán satisfacer las siguientes condiciones de borde:

- Instalación del sistema a no menos de 20 metros de cualquier fuente destinada al suministro de agua de bebida, a excepción de las norias que tengan los beneficiarios, las que quedarán fuera de servicio.
- Excluir la incorporación de Aguas Lluvia al sistema.
- **Ejemplo Ilustrativo de Diseño.**

A continuación se presenta a modo ilustrativo un ejemplo en que se efectúa el dimensionamiento de una Fosa Séptica para las siguientes Bases de Cálculo.

Cuadro N° 3.
Dimensionamiento de una Fosa Séptica

Población	Viviendas	Dotación	CAUDAL (l/s)			
			(Hbtes)	(N°)	(l/h/d)	Medio ASD ⁽¹⁾
6	1	100,0	0,007	0,000	0,000	0,007

(1) Con Coeficiente de Recuperación R = 0,95

Los Criterios de Diseño adoptados para el dimensionamiento de la Fosa Séptica obedecen al siguiente detalle:

Cuadro N° 4
Criterios de Diseño Adoptados para el Dimensionamiento de una Fosa Séptica

PARÁMETRO DE DISEÑO	Unidad	Valor
Número de Compartimentos		2
Periodo Retención masa líquida	días	1
Coef. Reducción Volumen Lodo Digerido		0,25
Contribución Lodo	l/hab/día	1

Periodo Almacenamiento Lodo	días	365
Coef. Reducción Volumen Lodo en Digestión		0,5
Período Digestión	días	60

Considerando los Criterios de Diseño y las Bases de Cálculo detallados anteriormente, el dimensionamiento de la Fosa Séptica, entrega los siguientes resultados:

Cuadro N° 5.
Dimensionamiento de la Fosa Séptica

DIMENSIONES	Unidad	Valor
Largo		
Primer compartimento	m.	1,23
Segundo Compartimento	m.	0,62
TOTAL	m.	1,85
Ancho	m.	0,62
Profundidad Útil	m.	1,2
Volumen Útil	m ³	1,36
Área Útil	m ²	1,14
Revancha	m.	0,3
Altura Sup. Líquido bajo Tubería Afluente	m.	0,1

Para las condiciones de borde adoptadas, el volumen mínimo requerido de la Fosa Séptica es de 1,36 m³. Por otro lado, las variaciones diarias y horarias de determinados parámetros de las Bases de Cálculo exigirán considerar un volumen adicional de Fosa Séptica. No obstante, determinados criterios de diseño adoptados pueden estar sujetos a alguna variación producto de las características específicas de la población a servir (Contribución Lodo, etc.) y de las aguas residuales que generen (Coeficientes de Reducción del Volumen Lodo Digerido y del Lodo en Digestión, etc.), en atención a lo cual se adoptará un 20 % de volumen adicional, con lo cual el volumen mínimo de fosa a considerar será del orden de 1,63 m³.

Por otro lado, los proveedores del mercado ofertan en general volúmenes estandarizados de Fosa Séptica. En el caso del ejemplo (densidad adoptada 6 hab/vivienda), los distintos proveedores ofrecen volúmenes que varían entre 1,2 y 2,0 m³. de capacidad, recomendando un volumen mínimo de 1.5 m³. en atención a la seguridad del diseño, frecuencia real de limpieza, etc.

Considerando el volumen obtenido a partir del diseño (1,6 m³.), se adoptará un volumen comercial de Fosa Séptica de 2,0 m³. de capacidad.

Si por cualquier razón se decide utilizar una Fosa Séptica más pequeña que la correctamente diseñada, se deberá prever una acumulación de lodos que obligará a su extracción a una frecuencia mucho mayor.

Finalmente, el dimensionamiento de la Fosa Séptica deberá considerar lo establecido en el DS 236/26 (Reglamento de Alcantarillados Particulares) donde sea pertinente.

- **Otros Escenarios de Utilización de Fosa Séptica**

Como se señalara, las Fosas Sépticas son usadas principalmente para residencias y viviendas aisladas. No obstante, existen casos en que grupos de hogares, establecimientos comerciales e incluso pequeñas comunidades, han adoptado como sistema de tratamiento de sus aguas servidas Fosas Sépticas de gran tamaño.

En general, las Fosas Sépticas de gran tamaño se diseñan como reactores de flujo de pistón, siendo una regla común de diseño que la capacidad volumétrica de los tanques sea aproximadamente igual a 5 veces el caudal promedio.

En instalaciones de tratamiento grandes, se utiliza con frecuencia la construcción de Fosas en paralelo, a objeto de asegurar el funcionamiento normal del sistema de tratamiento todos los días del año y ante eventos de detención de una unidad (mantenimiento u otro).

- **Otras Soluciones Individuales**

A continuación se presentan otros tipos de tratamiento individuales disponibles en el mercado local, debiendo destacar que las diversas tecnologías están asociadas en muchos casos al *Know How* de los proveedores, por lo que no se presentan Criterios de Diseño sino más bien un resumen referencial de las tecnologías propiamente tales.

- **Tratamiento en Base a Lodos Activados**

El mercado ofrece soluciones individuales de tratamiento en base a lodos activados, pudiendo incluir Tratamiento Preliminar (retención de sólidos y/o separación de Aceites y Grasas), Tratamiento Secundario (Tanque de Aeración y Sedimentación) y Desinfección del efluente, el que puede ser utilizado para riego o infiltración subsuperficial. Asimismo, el circuito de lodos incluye Espesamiento (generalmente Gravitacional) y/o Digestión (generalmente Aeróbica).

La componente de Desinfección contempla generalmente un dispositivo clorador en base a tabletas de Hipoclorito de Calcio y un Estanque de Contacto.

Algunos proveedores establecen que se pueden incorporar Cámaras Desgrasadoras, Cámaras de Distribución o Cámaras Repartidoras (prefabricadas en Polietileno u otro material).

Algunos proveedores ofrecen plantas prefabricadas o construidas in situ, dependiendo del tamaño o la cantidad de viviendas que atenderán. En cuanto al material, pueden ser construidas en FRP (fibra de vidrio reforzado) o albañilería armada.

- **Tratamiento en Base a Cultivo Fijo**

Este sistema de tratamiento está compuesto de Desgrasador, Fosa Séptica, cuya función es la Sedimentación de Sólidos y Digestión Anaeróbica de lodos, Filtro Biológico Activado (cuyas funciones son Oxidación de la materia orgánica e Impulsión del efluente hacia una cancha de filtración en elevación o un drenaje a distancia de las fosas), Clorador/Repartidor a Drenes (cuyas funciones son Desinfección de las aguas servidas tratadas y Repartición en tubos de drenaje (2 ó 3) de las aguas servidas tratadas para infiltración).

- **Otros Tipos de Tratamiento**

Aparte de las tecnologías en base a Fosas Sépticas, Cultivo Suspendido por Lodos Activados y Cultivo Fijo, el mercado cuenta con otras tecnologías como las que se señalan a continuación.

- **Wetland**

El tratamiento comienza con una Fosa Séptica, cuyo objetivo es lograr una decantación de los sólidos presentes. Seguidamente, el efluente es ingresado a un tratamiento biológico que funciona en forma natural, que es una laguna con plantas acuáticas flotantes incorporadas. Finalmente, el efluente del sistema es sometido a Desinfección por Cloración y posterior Decloración (de requerirse).

- **Baño Ecológico**

El baño ecológico es un sistema de disposición de excretas, que separa la orina y las excretas *in situ*, por medio de una taza separadora, sin usar agua para su operación.

El sistema se basa en la alternancia de dos cámaras, de manera que mientras una está en uso, la otra permanece en reposo.

La materia fecal queda separada de las aguas servidas, orina y suelo, permitiendo así su descomposición en una de las cámaras aisladas del ambiente, que adquiere temperatura y ventilación gracias a la captación de energía solar.

El baño puede ser integrado a viviendas existentes y constituye una solución completa que incluye lavamanos, ducha y tina.

El baño ecológico no necesita agua para su funcionamiento (solamente ocupa agua para el uso del lavamanos, urinario y ducha) y puede ser integrado a una vivienda existente.



2.2 / Sistemas Rurales Centralizados

A diferencia de los sistemas Descentralizados analizados anteriormente, las tecnologías aplicables a los sistemas Centralizados (vale decir, aquellos que cuentan con Red de Alcantarillado) son válidas tanto para el área Rural como Urbana.

Al ser los sistemas centralizados, existe una alta probabilidad de que la población servida sobrepase los 100 habitantes, ante lo cual un aspecto de fundamental importancia a considerar, lo constituye el hecho de que se debe dar cuenta de la normativa de emisión vigente (en cualquiera de sus escenarios), toda vez que ésta define como establecimiento emisor cuando se descarga una carga contaminante media diaria de valor superior al equivalente a las aguas servidas de una población de 100 personas.

Desde el punto de vista del cumplimiento o no de dichas normativas, vale decir, si el grado de remoción requerido es alcanzado o no en término de los principales parámetros de interés, ello puede ser evaluado solamente para el DS 90/00 y no para el DS 46/02, toda vez que este último establece que para los proyectos que infiltren (fuentes existentes) o requieran infiltrar (fuentes nuevas), los efluentes de sus procesos que sean considerados fuentes emisoras deberán presentar un informe con

la Determinación de la Vulnerabilidad de los Acuíferos, debiendo ser la Dirección General de Aguas (DGA) quien se pronunciará respecto de la vulnerabilidad del acuífero mediante una resolución.



2.2.1 / Alternativas de Tratamiento de Aguas Servidas

Las alternativas de tratamiento de Aguas Servidas del tipo Centralizado propiamente tales, pueden englobarse en dos áreas, constituidas por tratamientos del tipo Biológico y Fisicoquímico. A su vez, las primeras pueden clasificarse en Tratamientos Biológicos del Tipo Convencional y No Convencional, de acuerdo al siguiente esquema:

- BIOLÓGICOS.
 - Sistemas No Convencionales.
 - Lagunas de Estabilización Facultativas.
 - Lagunas Anaeróbicas.
 - Wetlands.
 - Sistemas Convencionales.
 - Cultivo Fijo.
 - Biofiltros o Filtros Percoladores.
 - Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios.
 - Cultivo Suspendido.
 - Aeración Extendida.
 - A Media Carga.
 - Convencionales.
 - Lagunas Aeradas.
 - A Mezcla Completa.
 - Multicelulares.
 - Facultativas.
- FISICOQUÍMICO.



2.2.1.1 / Sistemas de Tratamiento Fisicoquímico

A diferencia de las alternativas biológicas, el Tratamiento Fisicoquímico no involucra el mejoramiento de la calidad de las aguas servidas por medio de un proceso biológico, sino fundamentalmente por reacción física y química sobre la base de adición de reactivos específicos.

El dimensionamiento de este sistema responde fundamentalmente al comportamiento de los aguas servidas frente a ciertas componentes unitarias de tratamiento de tipo físico (sedimentación,

flotación, filtración, etc.) y a reacciones estequiométricas ante la adición de ciertos reactivos dados (coagulantes, polielectrolitos, polímeros etc.).

La adición de coagulantes permite la aglomeración de las partículas presentes en las aguas servidas, formándose partículas de mayor tamaño, llamadas flóculos, que son más fáciles de remover que las partículas de las aguas servidas crudas. La mayor o menor formación de flóculos, así como su tamaño y peso, dependerá del tipo y cantidad de floculante empleado.

Las componentes unitarias involucradas dependerán del tipo de aguas servidas a tratar, contemplando en general algunas de las consignadas en el numeral de componentes unitarias comunes a toda alternativa (Tratamiento Preliminar, Deshidratado, etc.) y algunas de las siguientes:

- Regulación - Ecuilización.
- Coagulación - Floculación.
- Sedimentación o Flotación.
- Acidulación.
- Filtración.

A continuación se presenta una descripción somera de las principales componentes unitarias y la metodología aplicada para la determinación de los criterios de diseño a aplicar.

• **Regulación-Ecuilización**

El cálculo del volumen de regulación necesario para proporcionar un caudal constante al sistema de tratamiento Físicoquímico, se determina fijando el caudal de salida del estanque como el caudal promedio diario del ciclo operativo.

A partir de ello, se calcula iterativamente el volumen acumulado en el estanque en base al caudal acumulado y el caudal de entrada al estanque. El volumen de regulación mínimo será equivalente al máximo volumen acumulado, tal que en el lapso más desfavorable el estanque esté vacío.

• **Coagulación-Floculación**

Los criterios de diseño de esta componente unitaria se deben obtener a partir de pruebas de jarras (jar-test) efectuadas a las aguas servidas. Una prueba de jarras consiste en simular a escala de laboratorio y la respuesta de las aguas servidas a determinados agentes coagulantes. El número de pruebas a hacer, dependerá de las características de las aguas servidas.

Para ajustar el pH se usa ácido sulfúrico y soda o cal, mientras que para la coagulación, los productos más usados son el cloruro férrico y el sulfato de aluminio.

- **Sedimentación**

Una vez efectuada la prueba y sedimentado el lodo, al sobrenadante de cada jarra se le efectúan los análisis de los parámetros de interés según el caso (DBO, DQO, S.S., Color, Turbiedad, etc.), debiéndose, además, registrar el pH residual y el volumen decantado de lodos.

El volumen de lodos decantado constituye un índice de la producción de lodos que se tendrá en una planta de este tipo, el cual puede variar grandemente según el tipo de residuo.

- **Flotación**

La flotación se emplea en sustitución de la sedimentación, cuando las aguas servidas contienen una alta concentración de aceites y grasas, el floc es liviano y de difícil sedimentabilidad o el volumen de lodos decantado es muy alto. La flotación se produce mediante la introducción de aire en forma de microburbujas. Las partículas se fijan a las microburbujas, produciéndose su remoción al ascender a la superficie.

La introducción de aire de la forma antes citada suele conseguirse generalmente mediante el sistema de flotación por aire disuelto (DAF) y últimamente por Flotación por aire inducido (IAF) o cavitación (CAF). Para casos específicos, suele además emplearse electroflotación u otros sistemas.

El criterio de diseño de un estanque de flotación es la Tasa Superficial, definida como el Caudal afluente dividido por el área horizontal del estanque disponibles para flotación. El valor normal oscila entre 3 y 7 [m³/m²/día]. Otros parámetros de diseño, como la cantidad de aire y la potencia de las unidades (p.e. bombas de proceso) necesarias para introducir las microburbujas de aire, constituyen en general parte del *Know How* propio de los proveedores de sistemas de flotación.

- **Filtración**

Esta componente es menos utilizada, a menos que se desee pulir el efluente en términos de determinados parámetros (sólidos del tipo coloidal o disuelto, etc.), o para efectos específicos como remoción de color, olor, etc.



2.2.1.2 / Sistemas Biológicos no Convencionales

Las alternativas del tipo No Convencional prescinden de mecanización, pero requieren grandes áreas de terreno (Lagunas de Estabilización Facultativas, Lagunas Anaeróbicas, "Wetlands", etc.). Son en general sistemas naturales no mecanizados, a raíz de lo cual la mayoría de ellos no cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema, imposibilitando asegurar en forma estable la calidad media diaria exigida por la normativa vigente. Por otro lado, una desestabilización del sistema puede generar un deterioro en la calidad del efluente por largos períodos de tiempo.



2.2.1.3 / Sistemas Biológicos en Base a Cultivo Fijo

En lo referido a los sistemas en base a Cultivo Fijo, denominados genéricamente Lechos Bacterianos, las versiones más difundidas la constituyen los Biofiltros o Filtros Percoladores y los Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios (CBR).

Los Lechos Bacterianos son reactores de Cultivo Fijo, donde los microorganismos se desarrollan adheridos a un lecho o medio de soporte (el cual puede ser fijo o móvil) en forma de superficies de cultivo, asemejando una carpeta biológica (mucilago o capa mucilaginoso). El material del medio de soporte puede ser roca, madera o plástico, teniéndose entre 45 y 200 m². de superficie específica por cada metro cúbico para el desarrollo de la carpeta biológica.

El sustrato es aplicado en forma intermitente y alternado con períodos de aeración en los cuales se produce la fase de respiración de los microorganismos.

Una de las versiones más difundidas de lecho fijo la constituyen los Biofiltros o Filtros Percoladores, mientras que entre las de lecho móvil destacan los Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios (CBR).

- **Filtros Biológicos (Biofiltros)**

Los Biofiltros son estanques generalmente circulares rellenos con medio de soporte de roca o plástico, a través del cual fluye verticalmente el afluente, el que es recogido junto a la Biomasa en exceso que se desprende del medio (a través de un fondo falso) para pasar a la sedimentación secundaria. El criterio de diseño de estas unidades es la carga orgánica (KgDBO) aplicada diariamente por metro cúbico de medio de soporte y la carga hidráulica aplicada (m³./día) por metro cuadrado de superficie horizontal del Biofiltro.

Las principales **ventajas** de los Biofiltros son:

- Estabilidad ante variaciones de la carga y concentración afluente.
- Bajos costos de operación y mantenimiento comparados con otros procesos del tipo Convencional.
- Producción de un lodo estable concentrado, en general bien floculado y fácil de decantar.
- De fácil puesta en marcha luego de una detención.

Las principales **desventajas** son:

- Baja posibilidad de incluir remoción de nutrientes en el proceso.
- Necesidad de Sedimentación Primaria para disminuir los sólidos suspendidos afluentes a la componente biológica.
- Riesgo de desarrollo de moscas psychoda, especialmente en climas cálidos o templados durante las estaciones de alta temperatura.
- 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.

- **Contactores Biológicos Rotatorios (Biodiscos)**

En un sistema de este tipo, el agua pasa horizontalmente a través de un tanque, en el cual giran unos ejes con discos de gran diámetro, suficientemente separados, a muy baja velocidad para permitir el crecimiento de biomasa sobre su superficie.

La biomasa en exceso se desprende de los discos y se retienen en los sedimentadores secundarios, desde donde se bombea hasta el sistema de tratamiento de lodos.

Aproximadamente el 40% de la superficie de los discos está en contacto con el agua en todo momento. Cuando los discos giran, la materia orgánica es absorbida en la película biológica que crece sobre los discos, poniéndose alternativamente en contacto con el aire al salir del agua. De esta forma se produce la transferencia de oxígeno a las colonias de bacterias, protozoos, rotíferos y demás microorganismos que producen la oxidación de la materia orgánica.

Los discos no sólo sirven para aerar la película biológica, sino que también son responsables de la aeración del licor-mezcla presente en el tanque y, por último, por esfuerzos tangenciales, producen el desprendimiento del exceso de biomasa.



El Criterio de Diseño de estas unidades son la Carga Orgánica (Kg DBO) y la Carga Hidráulica aplicada diariamente por metro cuadrado de superficie efectiva de medio de soporte.

En general, se utilizan o han sido usados con éxito para pequeñas poblaciones. Su gran ventaja reside en el bajo requerimiento de energía para accionarlos, ya que sólo hay que hacer girar los discos.

Las principales **ventajas** de los Contactores Biológicos son:

- Bajos requerimientos de energía.
- No requieren de bombeo, recirculación ni elevación.
- Tienen mejor eficiencia que los biofiltros debido a la activación del lodo que se desprende de los discos.

Sus principales **desventajas** son:

- 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.
- Tendencia a generar olores, especialmente en determinadas épocas del año en climas relativamente extremos.
- Determinados tipos de aguas servidas deben estar sujetos a pretratamiento obligado, especialmente cuando contienen una cantidad apreciable de grasas y aceites.
- Se pueden desequilibrar cuando los esfuerzos al eje no están simétricamente distribuidos a lo largo de la componente.
- Tienen un alto costo de Mantención, debido principalmente a fallas en los motorreductores y los ejes.



2.2.1.4 / Sistemas Biológicos en Base a Cultivo Suspendido

En cuanto a los sistemas en base a Cultivo Suspendido (biomasa llamada licor mezclado en suspensión en un estanque), denominado genéricamente como Lodos Activados, las versiones más difundidas la constituyen los Lodos Activados por Aeración Extendida, a Media Carga y Convencionales.

Otra alternativa que también puede considerarse también como Convencional en base a Cultivo Suspendido, la constituyen las Lagunas Aeradas (o aireadas), cuyas versiones más difundidas corresponden a Lagunas Aeradas a Mezcla Completa, Lagunas Aeradas Multicelulares y Lagunas Aeradas Facultativas.



Para efectos de una mejor visualización, se presentan a continuación las principales características de los sistemas, desglosados en Lodos Activados propiamente tales y Lagunas Aeradas.

- **Sistemas en Base a Lodos Activados**

En estos sistemas, la biomasa se mantiene en agitación en un Estanque de Aeración desde donde pasa a una unidad de Sedimentación. La biomasa sedimentada es devuelta parcialmente al tratamiento biológico para mantener una población microbiana adecuada, y una parte se purga del sistema como lodo en exceso

Algunas de las variantes más establecidas del proceso de Lodos Activados son:

- **Convencional Flujo Pistón.** El efluente y el lodo de recirculación entran al estanque de aeración por un extremo y son mezclados por el sistema de aeración (mecánico o difusores de aire), de modo constante a lo largo del estanque. Este sistema es sensible a variaciones significativas de cargas en el afluente.
- **Mezcla Completa.** El efluente y el lodo de recirculación se mezclan y se aplican en diversos puntos a lo largo de un canal central en el estanque y se mezcla completamente por medio de difusores de aire o aeradores mecánicos, obteniéndose una demanda de oxígeno uniforme. Este sistema es de aplicación general y resistente a cargas, pero es susceptible de generar lodo filamentosos, de pobre capacidad de sedimentación.
- **Aeración Extendida (Prolongada).** Similar al proceso Convencional, pero con funcionamiento en la fase endógena de la curva de crecimiento de los microorganismos, por lo que requiere bajas cargas y altos períodos de aeración (grandes volúmenes de estanque). Se utilizan difusores de aire y aeradores mecánicos. En el tratamiento de aguas servidas domésticas, este sistema presenta la ventaja de prescindir de sedimentación primaria y los lodos que se obtienen son altamente mineralizados, vale decir, son poco putrescibles, lo que facilita su manejo posterior.
- **Zanja de Oxidación.** Es una de las variantes más comunes de la Aeración Extendida, aunque también puede operar a factores de carga mayores. Consiste en un canal anular cuya velocidad de flujo y aeración la provocan aeradores mecánicos de eje horizontal. En el caso de utilizar aeradores superficiales verticales, el sistema se denomina Sistema Carrousel.

- **Aeración de Alta Carga.** Es una modificación del proceso en la cual altas concentraciones de SSLM son combinadas con altas cargas volumétricas, consiguiendo una alta relación alimento-microorganismos y prolongados tiempos medios de retención celular con tiempos de detención hidráulica relativamente cortos. Se utilizan aeradores mecánicos, y considerando la importancia de una mezcla adecuada, aeradores de turbina sumergida.
- **Reactor Discontinuo Secuencial (Sequencing Batch Reactor, SBR).** Es un sistema de reactor tipo **llenado y vaciado** que envuelve un único reactor de mezcla completa, en el cual se producen todos los pasos de un proceso de lodos activados (llenado, aeración, sedimentación, evacuación). El licor de mezcla se mantiene en el reactor durante todo el ciclo, eliminándose la necesidad de estanques separados de sedimentación secundaria. En su concepción más standarizada, se requiere de un mínimo de dos estanques para asegurar el ingreso continuo del afluente al sistema, ya que alternativamente, mientras uno de ellos recibe el afluente y se produce aeración, el otro se encuentra en fase de sedimentación o evacuación (que se realiza sin entrada de agua). Este proceso se adapta bien a altas variaciones de caudal o carga orgánica, a través de la regulación de la duración de los ciclos y puede operar en fase de aeración extendida.

Los parámetros de diseño y control operacional de un sistema de lodos activados son la **Edad del Lodo** que indica el tiempo que el lodo debe permanecer en el sistema y la relación Alimento/Microorganismos, conocida como **F/M** por sus siglas en inglés. La aplicación de otros parámetros de diseño como el Tiempo de Retención hidráulico, **no** tienen sentido teórico, y los valores que se encuentran en la bibliografía son cuando mucho apropiados para aguas servidas domésticas.

Para Aeración Extendida y Aguas Servidas Domésticas, la “Edad del Lodo” o “Tiempo de Retención Celular” oscila entre 20 y 30 [días], en tanto que para Lodos Activados Convencionales, a Media Carga y Mezcla Completa varía entre 5 y 15 [días]. Se acepta que un proceso con una Edad del Lodo mayor a 20 – 25 [días] producirá un lodo mineralizado que no necesitará digestión posterior, aunque debe considerarse su dependencia de la temperatura.

Las principales **ventajas** de sistemas de tratamiento por Lodos Activados en sus distintas versiones son:

- Flexibilidad de operación a través de un control racional de la biomasa presente en el proceso.
- 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.
- Puede incorporar Desnitrificación al proceso.
- Posibilidades de regular energía consumida para variaciones de carga orgánica.
- Prescinde de sedimentación primaria, y los lodos generados son altamente mineralizados, por lo que no requieren de tratamiento posterior.

Entre las **desventajas** se pueden citar fundamentalmente las siguientes:

- Control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio.
- Altos costos de operación, asociados fundamentalmente a los requerimientos de oxígeno, los que se proveen en forma mecanizada.
- Bajo abatimiento bacteriológico, logrando en general abatir no más allá de un ciclo logarítmico en términos de Coliformes Fecales, con la consecuente necesidad de efectuar desinfección final al efluente.

El comportamiento esperado del sistema de tratamiento por Lodos Activados en cualquiera de las versiones detalladas anteriormente, en términos de remoción de los parámetros de interés, obedece al siguiente detalle:

PARÁMETRO	% REMOCIÓN	
DBO	90 – 95	
Nitrógeno Total	15 – 30 70 – 95	Tratamiento Secundario Convencional. Incluyendo Desnitrificación.
Fósforo Total	10 – 25 70 – 90	Tratamiento Secundario Convencional. Incluyendo remoción adicional de N y P ó Remoción Química de Fósforo.
Coliformes Fecales	60 – 90	

En términos bacteriológicos, la remoción alcanzada no es suficiente para dar cuenta de lo establecido por la normativa vigente, por lo cual se debe incorporar Desinfección al final del sistema de tratamiento.

A la luz de la tabla anterior, se puede concluir que las alternativas en base a Lodos Activados pueden dar cuenta de cualquier grado de tratamiento requerido en términos tanto de Materia Orgánica (DBO) como especialmente Nitrógeno Kjeldahl Total.

- **Lagunas Aeradas.**

Otra configuración que puede considerarse como alternativa Convencional de tratamiento Biológico en base a Cultivo Suspendido y que es adecuada para los órdenes de magnitud de las poblaciones Rurales, la constituyen las Lagunas Aeradas, en que se provee oxígeno en forma artificial, y que a diferencia de los Lodos Activados, presentan mayor simplicidad operativa, no contemplan recirculación de lodos y permiten prescindir del deshidratado continuo de lodos.

Las principales características de los sistemas de tratamiento en base a Lagunas Aeradas, y los principales criterios de diseño de cada tipo para poder visualizar las implicancias asociadas en términos de geometría, áreas y volúmenes requeridos, pueden resumirse del siguiente modo:

- **Lagunas Aeradas a Mezcla Completa**

En las Lagunas Aeradas a Mezcla Completa, se provee aeración artificial a un nivel tal que satisfaga los requerimientos necesarios de oxígeno, y a una potencia tal que todos los sólidos se mantengan en suspensión. Esto hace que este proceso pueda ser asimilado a un lodo activado sin recirculación.

Los sólidos en suspensión salen con el efluente, por lo que se requieren componentes unitarias complementarias para la Sedimentación de lodos, los que se digirán anaeróticamente en las unidades, permitiendo adicionalmente obtener una baja producción de lodos.

Considerando que las Lagunas Aeradas a Mezcla Completa pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación, se cuenta con Criterios de Diseño claramente definidos, exponiéndose a continuación los más relevantes, de acuerdo a la metodología presentada por Pedro Alem en el Seminario "Tecnologías de Tratamiento de bajo Costo", Santiago 1993.

- Profundidad usual	2,5 – 5 [m]
- Período de Retención	2 – 5 días
- Demanda de Oxígeno	1,25 [KgO ₂ /KgDBO]

Por otro lado, la laguna posterior de Sedimentación tiene por objetivo acumular y digirir anaeróticamente los sólidos. Se estima una reducción de volumen por digestión anaeróbica de un 50-60 % el primer año y del orden de 40% el segundo año. El lodo debe ser purgado en forma continua o semicontinua para no acumular más que lo que se dispone para tales efectos.

Adicionalmente, las principales características operativas del sistema pueden resumirse del siguiente modo:

- La operación y control del sistema es baja, debido a la simplicidad de la configuración. Al no existir recirculación se prescinde del control requerido para mantener una determinada edad del lodo en el reactor (parámetro que controla la eficiencia del sistema para determinadas constantes cinéticas). De hecho, en una laguna aerada, la edad del lodo es equivalente al tiempo de retención hidráulico, por lo que la eficiencia del sistema sólo depende de este último parámetro.
- La Potencia de mezcla (W/m³.) necesaria para mantener los sólidos en suspensión en la Laguna Aerada a Mezcla Completa estará dada por la capacidad de los aeradores, los que pueden ser del tipo flotantes, fijos o sumergidos y rápidos o lentos, siendo los más comunes los flotantes de alta o baja rotación.
- El volumen de las Lagunas de Sedimentación permite que la purga de lodos sea efectuada en forma discontinua o periódica, lo que evita los problemas de manejo que se suelen presentar en otros sistemas convencionales.
- Si se desea evitar la proliferación de algas en la unidad de sedimentación, el tiempo de retención de ésta (descontando el volumen ocupado por el lodo), no debe exceder de aproximadamente un día.
- Al estar digerido y tener una adecuada humedad, el lodo purgado de las lagunas de decantación puede ser enviado directamente a un sistema de deshidratación, con lo que se evita las componentes unitarias de espesamiento y digestión.

Las principales **ventajas** de estos sistemas son los siguientes:

- Proceso simple y confiable.
- Baja producción de Lodos.
- Buen grado de estabilización de Lodos.

Las principales **desventajas** que presentan estos sistemas son los siguientes:

- Altos requerimientos de energía a bajas condiciones de carga.
- Necesidad de proporcionar energía para mezcla, que puede ser mayor a la requerida para remover DBO.
- Necesidad de Desinfección del efluente.

El comportamiento esperado del sistema en términos de remoción de los parámetros de interés, obedece al siguiente detalle:

PARÁMETRO	% REMOCIÓN
DBO	50 – 60 80 – 90 incluyendo Laguna Sedimentación.
Nitrógeno	No Nitrifica
Fósforo	No remueve
Coliformes Fecales	90 – 99

En términos bacteriológicos, la remoción alcanzada no es suficiente para dar cuenta de lo establecido por la normativa vigente, por lo cual esta configuración debe incorporar Desinfección al final del sistema de tratamiento.

- **Lagunas Aeradas Multicelulares**

El sistema en base a Lagunas Aeradas Multicelulares está configurado en base a 2 etapas secuenciales, la primera de las cuales está destinada a remover la materia orgánica biodegradable de las aguas servidas (en una primera laguna) y la segunda para la sedimentación, estabilización y almacenamiento de los sólidos sedimentados (en dos o más lagunas en serie).

En la primera etapa, se requiere mantener todos los Sólidos en suspensión, por lo que se exige una potencia de mezcla (W/m³.) que asegure la mezcla completa, en tanto que en la segunda etapa se debe alcanzar suspensión parcial de los sólidos a una potencia de aeración adecuada.

Considerando que las Lagunas Aeradas Multicelulares también pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación, se cuenta con Criterios de Diseño claramente definidos, siendo los más relevantes los siguientes:

- Laguna Aerada a Mezcla Completa.
 - Tiempo Retención 2 a 3 días
 - Demanda de Oxígeno 1,25 [KgO₂/KgDBO]
 - Capacidad Mezcla 5 – 6 W/m³.

- Lagunas Parcialmente Aeradas
 - Tiempo Retención 0,7 – 1,0 día
 - Capacidad de Mezcla 1 – 2 W/m³

Considerando el hecho de que un sistema de lagunas provee capacidad de sedimentación al paso de las aguas previo a su descarga, se puede asumir que las algas se constituyen en una componente importante de los sólidos suspendidos del efluente final. Lo anterior se ve refrendado por numerosas investigaciones efectuadas por Rich et. al. en sistemas de Lagunas Aeradas Multicelulares.

Dichos estudios permitieron encontrar una correlación entre los sólidos suspendidos totales y la “clorofila a” en los efluentes de las lagunas Aeradas, y obedece al siguiente detalle.

$$SST = 21,3 + 142 Cl.a$$

donde:

SST = Sólidos Suspendidos, [mg/l]

Cl.a = Clorofila a, [mg/l].

La ecuación anterior sugiere que si las algas no estuvieran presentes, los Sólidos Suspendidos Totales no deberían exceder en promedio 22 mg/l.

Adicionalmente, Rich correlacionó los valores de la DBO del efluente con los Sólidos Suspendidos Totales, de acuerdo al siguiente detalle.

$$DBO = 13 + 0,4 SST$$

donde:

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno [mg/l]

SST = Sólidos Suspendidos, [mg/l]

La ecuación anterior sugiere que la DBO soluble (o no particulada) del efluente no debiera exceder en promedio 13 mg/l.

El comportamiento esperado del sistema en términos de remoción de los parámetros de interés, obedece al siguiente detalle:

PARAMETRO	% REMOCION
DBO	70 – 80
Nitrógeno	Nitrificación parcial
Fósforo	Mínima
Colliformes Fecales	60 – 90



2.2.2 / Análisis Crítico de las Alternativas de Tratamiento de Aguas Servidas Aplicables a Comunidades Rurales

Considerando lo descrito en los numerales anteriores, se puede concluir lo siguiente:

- Las alternativas del tipo No Convencional prescinden de mecanización, pero requieren grandes áreas de terreno (Lagunas de Estabilización Facultativas Lagunas Anaeróbicas, “Wetlands”, etc.). Al ser sistemas naturales no mecanizados, la mayoría de ellas no cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema, imposibilitando asegurar en forma estable la calidad media diaria exigida por la normativa vigente. Por otro lado, una desestabilización del sistema puede generar un deterioro en la calidad del efluente por largos períodos de tiempo.
Considerando lo anterior, y el hecho que se requieren superficies significativas para su emplazamiento, estas alternativas no se tornan viables como solución para el actual estado del arte del saneamiento en el país.
- Las alternativas en base a Tratamiento Físicoquímico no alcanzan el grado de remoción de las demás alternativas, implican una operación intensa (manipulación y dosificación constante de reactivos), generan lodos menos aptos para disposición que las demás alternativas y llevan asociados potenciales riesgos ambientales y de salud que no tornan viable su adopción como planta adecuada.
- Las alternativas del tipo Biológico Convencional en base a Cultivo Fijo (Biofiltros y Biodiscos) tienen menor costo de operación que las de Cultivo Suspendido, pero no alcanzan el grado de remoción de estas últimas, lo que implica que si se debe dar cuenta de la calidad más restrictiva exigida por la normativa vigente, se deben incorporar componentes adicionales que tornan más complejo el sistema y su operación, o en su defecto no pueden asegurar su cumplimiento a todo evento. Adicionalmente, si se consideran los Biodiscos, determinados tipos de aguas servidas

deben estar sujetos a pretratamiento obligado (especialmente cuando contienen una cantidad apreciable de grasas y aceites), en consideración a que los Biodiscos se pueden desequilibrar cuando los esfuerzos al eje no están simétricamente distribuidos a lo largo de la componente. Adicionalmente, estos sistemas presentan un alto costo de Mantenimiento, debido principalmente a fallas en los motorreductores y los ejes. De hecho la experiencia a escala nacional en localidades con esta tecnología no muestran operación adecuada, estando la mayoría de ellos fuera de servicio.

- Las alternativas de tratamiento de aguas servidas del tipo Biológico Convencional en las versiones de Lodos Activados por Aeración Extendida son las que mejor se adecuan, puesto que son las que cuentan con mayores variables operativas de control y pueden alcanzar el grado de tratamiento más restrictivo exigido por la normativa vigente. Adicionalmente, existen diversas configuraciones que permitirían su emplazamiento en el Sector Rural como se verá más adelante.
- En cuanto a las alternativas de tratamiento en base a Lagunas Aeradas, las Lagunas Aeradas Facultativas prescinden de la mezcla completa y se diseñan para tiempos de retención mayores, con lo que el espacio requerido aumenta considerablemente, produciéndose adicionalmente tanto acumulación de sólidos como generación de algas en las lagunas, por lo cual no se recomienda su implementación.
En cuanto a las Lagunas Aeradas a Mezcla Completa y Lagunas Aeradas Multicelulares, presentan un requerimiento de área significativamente menor a las Lagunas Aeradas Facultativas y cuentan con Criterios de Diseño claramente definidos.
Por otro lado, estos sistemas presentan mayor simplicidad operativa que la alternativa en base a Lodos Activados propiamente tales y permiten la deshidratación discontinua de lodos (p.e. una vez al año durante la época de verano), por lo que se consideran más aplicables al Sector Rural.

Considerando lo anterior, las alternativas de tratamiento Centralizado aplicables en el Sector Rural, son a juicio de este estudio las del tipo Biológico Convencional en las versiones de **Lodos Activado por Aeración Extendida y Lagunas Aeradas Multicelulares**.



2.2.3 / Alternativas de Tratamiento de Aguas Servidas Aplicables a Comunidades Rurales

Una vez delimitado el espectro de alternativas de tratamiento biológico por Lodos Activados y el análisis crítico realizado anteriormente, se presentan a continuación aquellas que a juicio de esta Consultora son aplicables al sector Rural.

- **Alternativas de Lodos Activados**
 - **Lodos Activados por Aeración Extendida**

Los Sistemas de Tratamiento por Lodos Activados en la versión por Aeración Extendida, presentan la ventaja de prescindir de sedimentación primaria y generar lodos mineralizados, permitiendo en consecuencia su disposición sin necesidad de tratamiento posterior. Adicionalmente, el hecho de prescindir de la componente unitaria de sedimentación primaria, trae como ventaja el obviar la consecuente necesidad de efectuar tratamiento continuo a los lodos crudos que se generen.

Adicionalmente, el diseño del sistema en base a Aeración Extendida puede permitir que parte del estanque opere en condiciones anóxicas (ausencia de oxígeno libre y disponibilidad de oxígeno a partir de nitratos) con lo que se logra la remoción de nitrógeno a través del proceso de desnitrificación.

Existen numerosas variantes del proceso por Aeración Extendida, entre las cuales las de mayor aplicabilidad al Sector Rural las constituyen las Zanjas de Oxidación, los sistemas por Decantación Alternada y los Sequencing Batch Reactor o SBR, cuyas principales características se describen a continuación:

- **Zanjas de Oxidación**

Luego del Tratamiento Preliminar, las aguas servidas ingresan a una Cámara de Premezclado, donde se mezclan con los lodos de recirculación provenientes de la Sedimentación Secundaria, para ingresar conjuntamente al Tanque de Aeración, donde tiene lugar la degradación biológica por parte de la población microbiana mantenida al interior del mismo en una concentración dada. En esta versión, el Tanque de Aeración consiste en un canal anular cuya velocidad de flujo y aeración la provocan aeradores mecánicos de eje horizontal tipo Kessener o TNO, ubicados en forma transversal al canal. También se usan aeradores mecánicos de eje vertical de baja velocidad, aeradores jet superficiales y sumergibles. En el caso de utilizar aeradores superficiales verticales de baja velocidad (normalmente aeradores verticales de cono) en lugar de aeradores de eje horizontal, el sistema se denomina Sistema Carrousel.

El efluente del Tanque de Aeración, es enviado al Sedimentador Secundario, desde donde se recolecta el agua servida clarificada para enviarla a un sistema de Desinfección, donde tiene lugar el abatimiento bacteriológico necesario para alcanzar la calidad requerida por la normativa vigente para ser evacuado al cuerpo receptor.

Por otro lado, parte del lodo decantado en la Sedimentación Secundaria es recirculado al tanque de premezclado, en una cantidad tal que satisfaga la proporción requerida entre los microorganismos y el sustrato interior del tanque de aeración. Los lodos de Exceso para alcanzar son enviados a la componente de Espesamiento, desde donde pasan a la Deshidratación Mecanizada (Filtro Prensa, Centrifugación, etc) o Lechos de Secado según cual de las 2 alternativas sea la más conveniente desde el punto de vista técnico y económico.

- **Aeración Extendida con Decantación Alternada**

A diferencia de la anterior, esta alternativa prescinde de componentes como la recirculación de lodos, manteniendo las componentes propias de los sistemas de lodos activados convencionales como la aeración, sedimentación/clarificación.

El proceso comprende una componente unitaria (estanque, laguna, etc.), dividida simétricamente por medio de una pantalla divisora (baffle), muro u otro, en la cual se instala un número determinado de aeradores (pares).

El circuito hidráulico del sistema es tal que permite el ingreso por una u otra de las secciones del estanque, y el principio de funcionamiento del sistema obedece a los siguientes criterios generales:

1. El caudal afluente es ingresado a una de las secciones de la componente unitaria, sigue su paso por toda ella y evacua a la salida de la otra sección. Durante tal operación, se mantienen en funcionamiento el total de los aeradores con excepción de aquel ubicado a la salida del sistema (segunda sección), en consideración a que esta zona opera como componente unitaria de sedimentación.
2. Posteriormente, se invierte el circuito hidráulico y el sistema de aeración, de manera que en esta oportunidad se echa a andar el aerador detenido en el circuito anterior, con lo que se resuspende el licor mezclado de la anterior zona de sedimentación y se detiene el último aerador para que sea esa zona la que oficie de componente de sedimentación.

- **Sequencing Batch Reactor (SBR).**

Esta alternativa de tratamiento se constituye en una variante del proceso de Lodos Activados, y presenta las siguientes características:

Una vez que las aguas servidas pasan por el tratamiento preliminar, ingresan al sistema de tratamiento propiamente tal, el que conceptualmente obedece a uno del tipo lodos activados con operación batch o

discontinua, sobre la base de llenado y vaciado de la componente unitaria (tanque). En su calidad de tal, los SBR son capaces de dar cuenta de todo tipo de aguas residuales que son viables de tratar por plantas de lodos activados. La experiencia extranjera indica que las aguas servidas domésticas han sido tratadas exitosamente al aplicar esta modalidad.

Las componentes unitarias de aeración y sedimentación involucradas en los sistemas de lodos activados en base a flujo continuo y SBR son idénticas. Sin embargo, la diferencia sustancial es que mientras en las plantas en base a flujo continuo los procesos unitarios son efectuados simultáneamente en tanques separados e independientes, en el SBR los procesos se llevan a cabo secuencialmente en un mismo tanque.

En su forma más simple, un reactor batch consiste en un simple tanque equipado con un ingreso para el agua servida cruda, un sistema de aeración, un mecanismo de decantación para remover el sobrenadante después de la sedimentación y un mecanismo de control de tiempo y secuencia de los procesos.

El principio de la secuencia de tratamiento de los sistemas SBR obedece a 5 etapas de acuerdo al siguiente detalle:

- LLENADO
- REACCIÓN (Aeración)
- SEDIMENTACIÓN (Sedimentación / Clarificación)
- VACIADO EFLUENTE
- REPOSO

La última etapa es necesaria en una configuración que considera múltiples tanques, donde uno de ellos no está todavía lleno (durante períodos de bajo caudal) y otro completó su ciclo y está a la espera de recibir aguas servidas crudas.

Dado que la aeración y sedimentación ocurren en el mismo tanque, no se pierden lodos durante la fase de REACCIÓN y no debe recircularse ninguna cantidad del Sedimentador para mantener un contenido dado de lodos en el tanque de aeración.

El volumen de lodos, y en consecuencia la edad del lodo en un sistema SBR está controlado solamente por la evacuación de lodos.

Las ventajas comparativas de este sistema con respecto a los convencionales, puede resumirse del siguiente modo:

- Un tanque SBR sirve como tanque ecualizador durante la etapa de LLENADO, pudiendo en consecuencia tolerar mayores caudales y/o altas cargas orgánicas de DBO sin degradar la calidad del efluente.
- Dado que la descarga del efluente es periódica, es posible, dentro de ciertos límites, mantener el efluente hasta que alcance los requerimientos de calidad estipulados.
- Los Sólidos Suspendidos del Licor Mezclado pueden mantenerse en el tanque tanto como sea necesario.
- No se requiere de bombas de retorno de lodos, dado que el Licor Mezclado se encuentra siempre en el reactor.
- La separación sólido – líquido ocurre bajo condiciones cercanas a la quietud. No existen cortocircuitos durante la etapa de SEDIMENTACIÓN. Adicionalmente, reactores de gran tamaño alcanzan tasas superficiales de sedimentación bajas, permitiendo en consecuencia la sedimentación de partículas pequeñas que en sistemas de flujo continuo pueden salir junto con el efluente.
- Crecimientos filamentosos pueden ser controlados variando las estrategias de operación durante el LLENADO.
- Un sistema SBR puede ser operado para alcanzar nitrificación, desnitrificación y remoción de fósforo sin adición de reactivos químicos.

Entre las desventajas, se puede citar la creciente sofisticación requerida para los tiempos de operación y sensores de niveles en la medida que los sistemas van aumentando en tamaño.

- **Alternativas en Base a Lagunas Aeradas**

Analizando lo detallado anteriormente, se puede apreciar que el grado de remoción de DBO de las Lagunas Aeradas Facultativas es menor al que alcanzan las Lagunas Aeradas a Mezcla Completa y Lagunas Aeradas Multicelulares, lo que sumado a las características de su propia configuración no permiten asegurar que alcancen la calidad establecida al efluente a todo evento.

En cuanto al resto de las Lagunas Aeradas (Mezcla Completa y Multicelulares), cualquiera de las configuraciones entregará una calidad de efluente en el rango de 30 a 40 mg/l, pudiendo algunas muestras llegar a valores más elevados cuando ocurran eventos como ascenso de sólidos de la zona de lodo de las lagunas de sedimentación donde tiene lugar la estabilización anaeróbica, por lo que el alcanzar un efluente final inferior a 35 mg/l de DBO a todo evento (para el escenario de descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución) lleva asociado un riguroso y continuo grado de control del sistema en término de todos los parámetros operacionales, así como la adopción preventiva de medidas ante síntomas que el comportamiento del sistema muestre.

En consecuencia, y a objeto de poder considerar a las Lagunas Aeradas como alternativa viable para dar cuenta de la normativa vigente, se adoptará un límite en términos de concentración de DBO afluente, constituido en este caso por el que presentan las aguas servidas netamente domésticas, cuyo rango en el país varía entre 100 y 250 mg/l.

En relación a la remoción de Nitrógeno y Fósforo, ninguna de las alternativas de lagunas aeradas remueve más de un 10% ya que básicamente todo el lodo volátil biodegradable será destruido en el sistema, liberando el Nitrógeno y Fósforo removidos en el agua servida en el proceso de síntesis.

Considerando lo anteriormente establecido, el análisis comparativo del grado de remoción alcanzado por las diferentes alternativas en término de los parámetros de interés mostrado anteriormente, puede resumirse del siguiente modo:

PARÁMETRO	GRADO REMOCIÓN [%]			
	L Activado	LAMComp	LAMultic	LAF
DBO	90 – 95	80 – 85	80 – 85	70 – 80
Sólidos Suspendedos Totales	90 – 95	80 – 90	80 – 90	80 – 90
Nitrógeno Kjeldahl Total	Nitrif Completa	No nitrifica	No nitrifica	Nitrif. Parcial
Fósforo Total	10 – 25	No remueve	No remueve	Mínima

En términos de configuración de las componentes unitarias a adoptar, las Lagunas Aeradas Multicelulares se diferencian de las Lagunas Aeradas a Mezcla Completa seguidas de Lagunas de Sedimentación en que mientras estas últimas consideran en general 2 lagunas (una a mezcla completa y otra de sedimentación con o sin aeración parcial) construidas en serie, con un período de retención total de 4 – 6 días a caudal de diseño (3 – 5 días en la Laguna Aerada y 1 día en la Laguna de Sedimentación), las Lagunas Aeradas Multicelulares propiamente tales consisten en 3 – 4 lagunas aeradas (una a mezcla completa y dos o tres con aeración parcial) construidas en serie, con un período de retención total de 4,0 – 5,0 días a caudal de diseño (2 días en la Laguna Aerada y 2 ó 3 días en la Laguna de Sedimentación).

En ambos casos, la primera laguna es aerada a un nivel tal que mantendrá toda la biomasa en suspensión (mezcla completa), mientras que las celdas subsecuentes serán aeradas a niveles lo suficientemente bajos para permitir sedimentar los sólidos sedimentables provenientes de la primera celda.

Como se puede apreciar, las componentes unitarias de ambas configuraciones son similares. Por otro lado, la cinética de las Lagunas Aeradas Multicelulares (Rich) predice una calidad del efluente que permitiría dar cuenta del DS 90/00 en términos de Materia Orgánica, por lo cual se tomará dicha configuración como base para definir la configuración a adoptar para este tipo de sistemas.

En virtud a lo anterior, y luego de tanteos sucesivos con los períodos de retención de las Lagunas y la cinética asociada, se puede concluir que para alcanzar el requerimiento de DBO efluente (35 mg/l) es suficiente adoptar un Tiempo de Retención de 3 [días] en la Laguna Aerada seguido de 2 (dos) Lagunas de Sedimentación en serie con un Tiempo de Retención de 1 [día] cada una.

Considerando el requerimiento de infraestructura (y los consecuentes costos de operación asociados) de esta configuración, se aprecia la conveniencia de adoptarla como solución como base para el diseño de los sistemas de tratamiento

En consecuencia, se recomienda utilizar como base del diseño una configuración que contemple una Laguna Aerada a Mezcla Completa con un Tiempo de Retención no inferior a 3 [días], seguida de dos Lagunas de Sedimentación parcialmente aeradas en serie, cada una con un Tiempo de Retención entre 1 y 2 días (descontando el volumen ocupado por el lodo en las Lagunas de Sedimentación).

Considerando la variación de la calidad del efluente en función del Tiempo de Retención de la Laguna de Sedimentación, y que ya el Modelo adoptado predice valores del efluente más altos que los que se obtienen utilizando las ecuaciones y constantes cinéticas de Rich (del orden de 10 mg/l), se adoptará como criterio de diseño un **Tiempo de Retención mínimo de la Laguna de Sedimentación de 1 día.**

En cuanto a la Transferencia de Oxígeno, Aeración y Mezcla requeridos, para fines de diseño, los aeradores mecánicos son tasados en términos de Eficiencia de Transferencia de Oxígeno (N), expresada como Kg O₂/KWH en condiciones Standard entregado por los proveedores, y que debe ser corregido para las condiciones de campo específicas de cada localidad.

En términos de los requerimientos de oxígeno, se recomienda utilizar el valor recomendado por Alem, vale decir, 1,25 [KgO₂/KgDBO].

En cuanto a los Aeradores, se recomienda adoptar aeradores superficiales de alta rotación con una transferencia de oxígeno en condiciones estándar de 1,5 [KgO₂/KWH].

Para las Lagunas de Sedimentación parcialmente aeradas, se utilizarán también aeradores superficiales de alta rotación.

Adicionalmente, se considera una densidad de potencia mínima para mezcla completa de 5,5 [W/m³.] y de 1,5 – 2 [W/m³.] para las Lagunas de Sedimentación.

Cabe destacar que para el escenario de descarga a cuerpos de agua con dilución, pueden considerarse otras alternativas de tratamiento como Tratamiento Biológico por Cultivo Fijo, pero cuyos costos de inversión y operación no serán inferiores a las de Lagunas Aeradas Multicelulares.

Finalmente, y al igual que en el caso del Saneamiento Descentralizado, un aspecto que se debe tomar en consideración es que no es posible definir la tecnología de tratamiento a implementar solamente en función de la población, toda vez que también dependerá de otros factores como la calidad requerida por la normativa de emisión en función del escenario de descarga, etc.



2.2.4 / Criterios de Diseño de las Soluciones de Tratamiento Adoptadas

A continuación, se presenta un resumen de los Criterios de Diseño específicos a adoptar para cada alternativa de tratamiento definida como viable para emplazar en Sistemas Centralizados del Sector Rural, los que obedecerán al siguiente detalle:

- **Condiciones de Borde**

Las Bases de Cálculo y Criterios de Diseño de los sistemas Descentralizados en base a Fosas Sépticas fueron detallados anteriormente, por lo que el presente punto se ceñirá a los sistemas Centralizados

- **Número de Unidades Requeridas en las Diferentes Componentes Unitarias de las Ptas**

En el presente punto, se presenta un análisis del número de unidades consideradas en las diferentes componentes unitarias de las plantas de tratamiento de aguas servidas, incluyendo la consideración de incorporar o no unidades en *stand by*.

Considerando el tamaño de la población de las localidades, desde el punto de vista del óptimo económico se recomienda adoptar un tren de tratamiento para Lodos Activados por Aeración Extendida y un tren para las Lagunas Aeradas Multicelulares para poblaciones de hasta 5.000 habitantes. En el evento de existir poblaciones mayores, se deberían adoptar dos o más trenes. En cuanto a las unidades en *stand by*, si se cuenta con un solo tren, el considerar unidades en *stand by* implicaría que se duplicarían las componentes unitarias y de ser 2 trenes, una unidad en *stand by* implicaría aumentar las componentes unitarias en un 50 %.

Al analizar las implicancias económicas que ello significaría para los órdenes de magnitud de la población servida de las localidades, se puede concluir que no es dable considerar componentes unitarias con unidades en *stand by*.

Para dar cuenta de lo anterior, el diseño del proceso deberá contemplar las adopciones necesarias para operar el proceso de tratamiento sin detención. Así, por ejemplo, el sistema de Aeración garantizará efectuar reparaciones y mantenimiento sin interrumpir el tratamiento en ninguna de las configuraciones. En el caso de los sistemas en base a Lodos Activados, donde se contempla Aeración por difusión, ello se puede lograr con una parrilla de difusores fragmentable y desmontable (con lo cual se podrá extraer alguna de sus secciones para su mantención o reparación, manteniendo el resto de las secciones en operación al interior del tanque de Aeración) y con el equipamiento adicional necesario que permita asegurar la continuidad en el abastecimiento de oxígeno al sistema de Aeración. En el caso de las Lagunas Aeradas (Mezcla Completa o Multicelulares) se contempla Aeración por medio de Aeradores Superficiales, por lo que se contará con uno en stock para efectos de sustitución de aquel que se deba sujetar a reparación o mantención.

Otro ejemplo lo constituye la Sedimentación Secundaria en un sistema de Lodos Activados, donde la variable crítica está constituida por el puente barredor. De presentarse problemas con su equipamiento, la componente unitaria pasará a operar como Sedimentación Secundaria Estática (sin barredor) en tanto se dé cuenta de su mantención o reparación, la cual puede efectuarse en la componente o fuera de ella. Si la detención toma un tiempo que altere el balance entre la carga de sólidos aplicada y la capacidad de almacenamiento de lodos, se podrá contemplar la instalación temporal de bombas adicionales que permitan evitar acumulación excesiva de lodos en las zonas sin barrido.

- **Consideraciones de Diseño de Componentes Unitarias Comunes a todas las Alternativas de Tratamiento**

A continuación, se detallan las componentes unitarias específicas comunes a considerar en el diseño de cualquier sistema de tratamiento:

- **Tratamiento Preliminar**

Se deberá contemplar la implementación de Cámara de Rejas en todos los sistemas. En las localidades cuya población sea menor a los 5.000 habitantes se recomienda considerar Rejas del tipo Manual contemplando una en *Stand By*.

En cuanto a la componente de Desarenación – Desengrasado, se recomienda que para poblaciones menores a 5.000 habitantes sea del tipo Manual y cuente con una sola bomba de extracción de arenas.

- **Desinfección**

Según si la población servida sea menor a 5.000 habitantes, se recomienda que el sistema de cloración del efluente sea en base de Hipoclorito de Sodio, y contemplar una cámara de contacto que permita la mezcla adecuada del desinfectante con las aguas servidas tratadas considerando un período de retención mínimo de la unidad de 30 minutos a condiciones de cualquier caudal medio de diseño.

- **Deshidratación y Disposición de Lodos**

En los sistemas en base a Lagunas Aeradas Multicelulares, los lodos generados en las PTAS serán deshidratados una vez al año en período de verano mediante Lechos de Secado, para posteriormente ser dispuestos en vertederos autorizados.

No ocurre lo mismo con los lodos de las PTAS en base a Lodos Activados, los que al generarse en forma continua requieren de deshidratación y disposición a una frecuencia semanal como máximo. Para ello, se recomienda considerar deshidratación mecanizada en base a Filtro Banda, Centrífuga, Filtro Prensa, etc.

- **Obras Eléctricas y de Control**

Las Obras Eléctricas y de Control a considerar serán al menos las siguientes:

Obras Eléctricas. Suministro de energía eléctrica y Subestación. Alimentación y Fuerza para equipos de bombeo Planta Elevadora, equipos de Aeración, Bombas de proceso y Desinfección. Alimentación para iluminación recinto y edificaciones.

Generador de Emergencia.

Equipos de Control Básicos para el Sistema de Tratamiento. Sensores de Oxígeno Disuelto, medidores de pH, medidores de cloro residual.

Equipos de medición de Caudal (afluente, efluente, *by-pass*).

- **Lagunas Aeradas Multicelulares**

En lo referido al tratamiento propiamente tal, las Lagunas Aeradas Multicelulares pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación, cuyos principales criterios de diseño están claramente definidos, y pueden resumirse de acuerdo al siguiente detalle:

- **Criterios de Diseño**

Los criterios de diseño más relevantes son los siguientes:

- Tiempo de retención 3 días (Mezcla Completa)
- Demanda de Oxígeno 1,25 [KgO2/KgDBO]

El modelo a usar para el diseño será el de O'Connor & Eckenfelder, para las constantes cinéticas recomendadas por Alem, las que han demostrado su validez en Chile en el sistema de Lagunas Aeradas de Copiapó, y que obedecen al siguiente detalle:

CONSTANTE CINÉTICA	Desig	Unidad	Valor	
			5 < T < 14 °C	T > 14 °C
Coefficiente de Producción Celular	Y	[gSSV/gDBO]	0,7	0,7
Coefficiente de Respiración Endógena	b	[1/día]	0,06	0,08
Coefficiente de Degradación	k'	[1/día]	0,03	0,05

En cuanto al resto de las principales variables del modelo adoptadas para el dimensionamiento, son las siguientes:

VARIABLE	Unidad	Valor
Razón SSV/SST		0,85
Reducción Anaeróbica SSV 1er año	[%]	60
Humedad lodo de fondo	[%]	95
Concentración lodo de fondo	[Kg/m3.]	50
Humedad lodo purgado	[%]	97
Concentración lodo purgado	[Kg/m3.]	30
SST Efluente Laguna Sedimentación	[mg/L]	25

Las lagunas serán equipadas con Aeradores, los que pueden ser del tipo flotante, fijo o sumergido y rápido o lento, siendo los más comunes los flotantes de alta o baja rotación. En la elección del aerador se deberá considerar la potencia necesaria para suplir tanto los requerimientos de oxígeno como también la potencia necesaria para proveer mezcla completa (mantención de los sólidos en suspensión).

Considerando los criterios de diseño señalados, el dimensionamiento del sistema de tratamiento deberá dar cuenta de los siguientes criterios:

- El Período de Retención en la Laguna Aerada Multicelular de cualquier escenario del año (Media anual, Punta y No Punta) y a lo largo del período de previsión deberá tener un período de retención mínimo de 3 días, trabajando a profundidad en el rango de 2,5 – 3,5 metros.
- En la Laguna de Sedimentación Parcialmente Aerada, el tiempo de retención deberá tener un mínimo de 2,0 días descontando el volumen ocupado por los lodos. Un tiempo mayor en la Laguna Aerada sólo redundará en un mayor costo, en tanto que en la laguna de sedimentación, aumenta las posibilidades de que se generen algas en el efluente. La Laguna deberá estar dividida en 2 celdas por medio de una cortina.
- En término de los requerimientos de oxígeno, se deberán asumir valores mayores a los predichos por los modelos con el fin de absorber cargas *peak* y las fluctuaciones propias de las aguas servidas. Algunos fabricantes recomiendan usar 1 [KgO₂/KgDBO], en tanto que autores como Alem prefieren usar un valor más conservador de 1,25 [KgO₂/KgDBO].
- Para proveer el grado de Aeración y agitación necesarios en la Laguna Aerada se recomienda considerar referencialmente Aeradores superficiales con una Transferencia de Oxígeno en condiciones estándar de 1,5 [KgO₂/KWH]. Esta transferencia es del orden de un 10% menor a lo normalmente usado, y se debe al efecto que se produce al operar en un estanque (laguna) con una menor densidad de potencia que la usada en las pruebas de determinación de la transferencia estándar.
- Adicionalmente, se deberá contemplar una densidad de energía mínima para mezcla completa entre 5 y 6 [W/m³].
- En la Laguna de Sedimentación Parcialmente Aerada se deberá prever la inclusión de mínimo 1 (un) aerador superficial por celda para satisfacer la densidad de mezcla requerida.
- Para la desinfección por Cloración, se deberá considerar un estanque de contacto con un tiempo de retención mayor a 30, a condiciones de cualquier caudal medio (anual, Punta y No Punta) y estará

constituido por determinado número de canales de ancho y profundidad de la masa líquida que permitan un adecuado contacto de las aguas servidas con el Desinfectante.

- En cuanto al sistema de cloración se recomienda adoptar Hipoclorito de Sodio o Cloro Gas según la población servida a tratar sea menor o mayor a 10.000 habitantes respectivamente.
- Se recomienda considerar una dosificación de 7 [mg/l] de cloro para lograr el abatimiento bacteriológico requerido.
- Considerando que no se requiere deshidratación continua de los lodos a lo largo del año, se recomienda efectuarlo por Lechos de Secado. Se recomienda definir el efectuar la deshidratación durante 3 meses del verano, por lo cual la producción anual de lodos será deshidratada en 90 días. Las condiciones de borde adoptadas para el dimensionamiento deberán contemplar una altura de lodos máxima de 30 cm y un tiempo de Retención de los lodos de 21 días (tiempo establecido en CEXAS Melipilla) para deshidratación de lodos en el verano.
 - **Consideraciones Adicionales**

El resumen de los criterios adicionales de Diseño a emplear en los sistemas en base a Lagunas Aeradas Multicelulares, obedecerá al siguiente detalle:

- **Caudales**

COMPONENTE UNITARI	CAUDAL						CRITERIO
	MÍNIMO	MEDIO			MÁXIMO		
		Anual	Verano	Invierno	MENS	HOR.	
Planta Elevadora	X						Tiempo Retención menor a 20 min.
Caudal Bombeo						X	Número de partidas por hora
							10% superior a Q _{máx}
Tratamiento Preliminar							
Medidor de caudal	X					X	Medición en todo el rango
Rejas						X	Velocidad no superior a 1 m/s
Desarenador	X					X	Tiempo de retención entre 3 y 10 min.
						X	Tasa de decantación entre 15 y 100 m/h

Laguna Aerada Multicelular.		X	X	X	X		Período Retención 3 días
Laguna Sedimentación Parcialmente Aerada (2)		X	X	X	X		Per Ret 1 día descont Vol. Lodos
Cloración		X	X	X			Tiempo Retención de 30 min.

- **Cargas**

COMPONENTE UNITARIA	CARGA						CRITERIO
	MÍNIMA	MEDIA			MÁXIMA		
		Anual	Verano	Invierno	MENS	HOR.	
CIRCUITO LÍQUIDO							
Aeración Lag. Aer. Multicelular		X	X	X			Determina Consumos Energía
					X		Define Capacidad Aer. para C Org.
CIRCUITO DE LODOS							
Lechos Secado			X				Carga < 125 Kg/m2/año
			X				Período Secado 28 días
			X				Altura Lodo en Lechos 30 cm.

- **Otras Variables**

COMPONENTE UNITARIA	CONDICIÓN						CRITERIO
		MEDIA			MÁXIMA		
		Anual	Verano	Invierno	MENS	HOR.	
Lag Aerada Multicelular		X	X	X	X		Pot Inst : Mayor 5 W/m3. ó Req Aer.
Laguna Sedimentación Parcialmente Aerada							Pot Inst : 1,5 – 2 W/m3.
Remoción Nitrógeno		X	X	X			Agregado FeCl3 para cumplir Cal Ef.
Remoción Fósforo		X	X	X			Cloración o precipitación química



- **Lodos Activados**

En lo referido al tratamiento propiamente tal, los principales criterios de diseño de los Lodos Activados están claramente definidos, y pueden resumirse de acuerdo al siguiente detalle:

Los parámetros de diseño de un sistema de Lodos Activados son la Edad del Lodo (θ_c) que indica el tiempo que el lodo debe permanecer en el sistema y la relación Alimento/Microorganismos, conocido como F/M por sus siglas en inglés (Food/Microorganisms). La aplicación de parámetros de diseño como el Tiempo de Retención hidráulico no tienen sentido teórico, y los valores que se encuentran en la bibliografía son cuando mucho apropiados para aguas servidas domésticas.

Para Aeración Extendida y Aguas Servidas Domésticas, la Edad del Lodo o Tiempo de Retención Celular oscila entre 20 y 30 [días], en tanto que para Lodos Activados a Media Carga, Convencionales, Mezcla Completa, Contacto-Estabilización, varía entre 5 y 15 [días]. Se acepta que un proceso con una Edad del Lodo mayor a 20 – 25 [días] producirá un lodo mineralizado que no necesitará digestión posterior, mostrando la experiencia que en determinadas PTAS se han encontrado lodos que con una edad de 20 días no se encuentran estabilizados del todo.

La razón F/M se determina dividiendo los Kg. de Alimento o Carga Orgánica del afluente (DBO [mg/l] * Caudal [m³./día] / 1000 expresada en Kg. DBO/día) por la cantidad en Kg. de Sólidos Suspendidos del Licor Mezclado en el tanque de aeración. Dicha cantidad de Sólidos Suspendidos se puede calcular considerando la parte volátil (SSVLM) o los totales (SSLM), siendo los volátiles un 75% aproximadamente de los totales. La cantidad de Sólidos se calcula como el producto de la concentración de SSLM o SSVLM (2 a 6 [Kg.SSLM/m³] dependiendo del proceso) y el volumen del estanque. Lo anterior se resume como:

$$F/M = \frac{CO \text{ [Kg.DBO/día]}}{(SSLM \text{ o SSVLM [Kg/m}^3\text{.)} * V \text{ [m}^3\text{.]}}$$

La razón F/M variará entre 0,05 – 0,15 y 0,2 – 0,04 [Kg.DBO/KgSSVLM/día] para procesos por Aeración Extendida y Lodos Activados a Media Carga o Convencionales respectivamente .

La relación entre la Edad del Lodo y F/M se obtiene a partir de:

$$\theta_c \text{ [días]} = 1 / (P_x * F/M) \quad (\text{con F/M en [Kg.DBO/KgSSLM/día]})$$

Px es la cantidad de lodo en exceso que se produce en el tratamiento biológico, la que para aguas servidas domésticas oscila entre 0,6 y 1,5 Kg. de sólidos suspendidos totales por Kg. de DBO removida, según el tipo de tratamiento. Algunos valores típicos para Px en aguas servidas son 0,7 – 0,8 para Aeración Extendida, 1,0 – 1,3 para Lodos Activos Convencionales y a Media Carga y 1,3 – 1,6 para Alta Tasa.

Como criterio de diseño, los rangos normalmente adoptados para las diferentes versiones más comúnmente adoptadas de Lodos Activos corresponden al siguiente detalle.

- **Lodos Activos**

PROCESO	Edad Lodo [días]	F/M KgDBO/KgSSVLM/d	SSLM [mg/l]	Recirc Or/Q	Rem DBO %
Media Carga o Convencional	5 – 15	0,2 – 0,4	1500 – 3000	0,3 – 0,8	85 – 95
Aeración Extendida (Excepto Zanja Oxidación)	20 – 30	0,05 – 0,15	3000 – 6000	0,5 – 1,5	75 – 95
Alta Tasa	5 – 10	0,4 – 1,5	4000 – 10000	1 – 5	75 – 90
Zanja Oxidación	10 – 30	0,05 – 0,3	3000 – 6000	0,8 – 1,5	75 – 95
Reactor Secuencial Discontinuo		0,05 – 0,3	1500 – 5000	N/A	85 – 95

El resumen de los criterios de Diseño a emplear en los sistemas de Lodos Activos por Aeración Extendida, obedecerá al siguiente detalle_

- **Caudales**

COMPONENTE UNITARIA	CAUDAL					CRITERIO	
	MÍNIMO	MEDIO			MÁXIMO		
		Anual	Verano	Invierno	DIARIO		HOR.
Planta Elevadora	X						Tiempo Retención menor a 20 min.
Caudal Bombeo						X	Número de partidas por hora
							10% superior a Qmáx.



Tratamiento Preliminar							
Medidor de caudal	X					X	Medición en todo el rango
Rejas						X	Velocidad no superior a 1 m/s
Desarenador	X					X	Tiempo de retención entre 3 y 10 min.
						X	Tasa de decantación entre 15 y 100 m/h
Sedimentación Secundaria		X	X	X			Criterio ATV
						X	Criterio ATV
Lodo Activado Retorno					X		Entre 50 y 150 % del Qmedio
Cloración		X	X	X			Tiempo Retención de 30 min.
						X	Tiempo de Retención de 15 min.

- Cargas

COMPONENTE UNITARIA	CARGA						CRITERIO
	MÍNIMA	MEDIA			MÁXIMA		
		Anual	Verano	Invierno	DIARIA	HOR.	
CIRCUITO LÍQUIDO							
Estanque Aeración Carga DBO							
		X	X	X			Define volumen de la unidad
Sedimentación Secundaria Carga de Sólidos							
						X	Criterio ATV



COMPONENTE UNITARIA	CARGA						CRITERIO
	MÍNIMA	MEDIA			MÁXIMA		
		Anual	Verano	Invierno	DIARIA	HOR.	
Aeración							
Carga DBO		X	X	X			Determina Consumos Energia
Carga DBO					X		Define Capacidad Aeración
Carga DBO						X	Define Capacidad Instalada
CIRCUITO DE LODOS							
Lodo Activado Exceso							
Carga de sólidos					X		Proporcional a la Carga de DBO
Espesamiento Gravitacional							
Carga de sólidos					X		Tasa < 30 kg./m2/d
Digestión Aeróbica							
Carga de sólidos		X	X	X			Tiempo de retención sobre 15 d
Carga SSV		X	X	X			Se requiere remoción sobre 38%
Digestión Anaeróbica							
Carga de sólidos		X	X	X			Tiempo de retención sobre 15 d
Carga SSV		X	X	X			Se requiere remoción sobre 38%
Deshidratación							
Carga de sólidos		X	X	X			Se requiere secado sobre 18%
Equipamiento Dig. Anaerób.							
Carga de sólidos		X	X	X			Depende del volumen del reactor

- Otras Variables

COMPONENTE UNITARIA	CONDICIÓN						CRITERIO
	MÍNIMA	MEDIA			MÁXIMA		
		Anual	Verano	Invierno	DIARIA	HOR.	
CIRCUITO LIQUIDO							
Estanque Aeración Edad Lodo (SRT) SSLM Remoción NKT		X	X	X			Entre 5 y 30 días
		X	X	X			Entre 2.000 y 4.000 mg/L
		X	X	X			Nitrificación para NK _{Tef} <50 mg/l.
Sedimentación Secundaria IVL							
						X	Valor de diseño 150 ml/g (ATV)
Aeración Temperatura agua							
			X		X	X	Temperatura más desfavorable
Remoción Fósforo		X	X	X	X		Agregado FeCl ₃ para cumplir Cal Ef
CIRCUITO DE LODOS							
Digestión Aeróbica Temperatura lodo							
				X			Temperatura más desfavorable
Aeración Digestor Aeróbico Reducción SSV KgO ₂ /KgSSVr							
		X	X	X			38 % para estabilizar Lodos
	X	X	X				2,3 KgO ₂ /KgSSV

A la luz de las tablas anteriores, se presenta a continuación un detallado específico de las condiciones de borde y de diseño de las configuraciones por Lodos Activados en base a Aeración Extendida, considerada la más conveniente para su implementación en el Sector Rural.

- Condiciones Generales.
 - Temperatura Aguas Servidas.
 - Invierno variable en cada localidad.
 - Verano variable en cada localidad.
 - Altitud variable en cada localidad.
- Calidad del Efluente más Restrictiva (Cuerpo de Agua Sin Capacidad de Dilución)
 - DBO 35 mg/l
 - Sólidos Suspendidos 35 mg/l
 - Coliformes Fecales 1000 NMP/100ml.

Con respecto a la calidad establecida a los SST del efluente, el comportamiento de un sistema de tratamiento por Lodos Activados alcanza la remoción de DBO en forma asociada a los SST y en el orden establecido (90 – 95 %), no siendo dable segregar entre una eficiencia alta de remoción de DBO (35 mg/l en el efluente) y una eficiencia baja de remoción de SST (80 mg/l en el efluente). Adicionalmente, la optimización de la dosificación de Cloro para la desinfección del efluente es directamente proporcional al contenido de SST, de modo que mientras más baja la concentración de este parámetro se requerirá una menor dosis de Cloro. A objeto de tener coherencia entre los parámetros al analizar esta alternativa, se establece un límite en Sólidos Suspendidos Totales (SST) de 35 en lugar de 80 mg/l, consistente con el límite de 35 mg/l en términos de DBO5 y con una adecuada desinfección del agua servida tratada.

- Tipo Aeración Extendida.
 - Producción Lodos 0,85 Kg./Kg.DBOREM
 - Tanque Aeración
 - OD en el Tanque 2 mg/l
 - SSTLM 3,0 – 4,0 Kg./m3
 - Edad del Lodo 25 días.
 - Profundidad 3,0 – 5,0 m.
 - Sistema Aeración.
 - Difusión
 - Requerimiento Oxígeno 1,5 Kg./Kg.DBOREM + 4,6 Kg./Kg.NH3REM
- 2,8 Kg./Kg. NO3



- Valor α 0,70 (aeración por Difusión)
- Valor β 0,95
- Transferencia Oxígeno 5,23 % / m (aeración por Difusión)

- Sedimentación Secundaria.
 - Criterio Diseño ATV (Alemania)
 - Conc. Lodo Sedimentado 6,7 – 7,5 Kg/m³.
 - Índice Volum. Lodos (IVL) 150 ml/l
 - Profundidad Componente 3,0 – 4,5 m.
 - Altura Elev. Recirculación 4 m.

- Desinfección.
 - Cloración.
 - Período Retención > 30 min. a Q_{medio}

- Tratamiento Lodos.
 - Espesamiento Lodo Secundario.
 - Conc. Lodo Espesado 25 Kg/m³.
 - Profundidad Componente 3,5 – 4,0 m.
 - Tasa Carga < 30 Kg./m²./día.



Recomendación Final

La presente Guía¹ da cuenta de las principales características técnicas del espectro de alternativas viables de considerar para las poblaciones del Sector Rural, debiendo destacar que tanto en el Saneamiento Centralizado como Descentralizado, no es posible definir la tecnología de tratamiento a implementar solamente en función de la población, toda vez que también dependerá de otros factores como las condiciones locales, calidad requerida por la normativa de emisión en función del escenario de descarga, etc.

Adicionalmente, se debe considerar que una vez definida la adopción del sistema a implementar, se deberá establecer la alternativa y configuración más adecuada desde el punto de vista de la configuración y simplicidad operativa, así como los Costos de Inversión y Operación y Mantenimiento.

¹ Comentario del editor: El presente trabajo es el resultado de un estudio efectuado por el departamento de gestión de inversiones en el marco de generar alternativas que permitan subsanar la demanda de infraestructura de aguas y saneamiento en las zonas rurales. El presente documento es un compilado de elementos factibles a desarrollar, por los distintos instrumentos de acción del aparato público.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DEL INTERIOR
SUBDERE

MORANDÉ 115, PISOS 7, 10, 11 Y 12 - SANTIAGO CENTRO
FONO: (56 2) 6363600
WWW.SUBDERE.GOV.CL

CHILE SE DESCENTRALIZA CUANDO SUS TERRITORIOS SE DESARROLLAN



Banco Mundial
www.bancomundial.org



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DEL INTERIOR
SUBDERE

MORANDÉ 115, PISOS 7, 10, 11 Y 12 - SANTIAGO CENTRO
FONO: (56 2) 6363600

WWW.SUBDERE.GOV.CL