



Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural

Unidad de Saneamiento Sanitario
2018

© Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo

Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural

Año 2018

Registro de Propiedad Intelectual N° A-288356

I.S.B.N.: 978-956-8468-54-5

Coordinación y edición

Unidad de Saneamiento Sanitario, SUBDERE

Apoyo en producción gráfica

Centro de Documentación y Publicaciones, CEDOC - SUBDERE

Copygraph Impresiones

Diagramación e impresión

Copygraph

Fotografías

Banco fotográfico, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo,
SUBDERE

Textos

Jacobo Homsí Auchen, Krisol

Eduardo Alarcón Martínez, Krisol

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.

Impreso en Chile

Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural

Unidad de Saneamiento Sanitario
2018

Índice de Contenidos

PRESENTACIÓN	25
INTRODUCCIÓN	27
CAPÍTULO 1	
Agua potable y tecnologías de tratamiento	35
1.1 Antecedentes generales.....	35
1.1.1 Contaminación de las fuentes naturales de agua.....	35
1.1.1.1 Obras de captación superficial.....	36
1.1.1.2 Obras de captación subterránea	36
1.1.2 Cambio climático y legislación y normativa aplicable al agua potable en el sector rural.....	37
1.1.3 Parámetros contaminantes de las aguas en el sector rural.....	40
1.1.4 Clasificación de fuentes de captación.....	41
1.2 Tecnologías de tratamiento del agua potable.....	42
1.2.1 Selección técnica de tecnologías.....	45
1.2.1.1 Tipo de fuentes de captación.....	46
1.2.1.2 Remoción de materias en suspensión.....	47
1.2.1.3 Remoción de materias coloidales.....	47
1.2.1.4 Remoción de sustancias disueltas oxidables.....	47
1.2.1.5 Remoción de sustancias disueltas no oxidables.....	47
1.2.1.6 Eliminación de microorganismos patógenos.....	48
1.2.2 Matriz de decisión para la selección de tecnologías.....	48
1.3 Desarrollo de las tecnologías.....	50
1.3.1 Tecnologías tradicionales.....	50
1.3.2 Nuevas tecnologías presentes en el mercado.....	51
1.3.3 Soluciones innovadoras.....	52
1.4 Análisis de tecnologías de agua potable.....	54
1.4.1 Experiencia nacional.....	54
1.4.2 Limitantes y restricciones.....	55

1.4.3 Propuesta de proyectos piloto.....	59
1.5 Consideraciones para la evaluación de tecnologías.....	61
1.5.1 Campos de aplicación.....	61
1.5.2 Criterios generales para la evaluación.....	63
1.5.2.1 Bases de cálculo generales.....	63
1.5.2.2 Tamaño de las soluciones de tratamiento de agua potable.....	64
1.5.2.3 Proyección de la población.....	64
1.5.2.4 Caudales de diseño.....	65
1.5.2.5 Alcances de la evaluación en el sistema de agua potable.....	66
1.6 Antecedentes de diseño de plantas de tratamiento.....	67
1.6.1 Planta de tratamiento con tecnología de desinfección.....	67
1.6.1.1 Descripción de la planta tipo.....	67
1.6.1.2 Bases de cálculo.....	68
1.6.1.3 Criterios de diseño.....	69
1.6.2 Planta de tratamiento con tecnología de filtración directa.....	69
1.6.2.1 Descripción de la planta tipo.....	69
1.6.2.2 Bases de cálculo.....	71
1.6.2.3 Datos técnicos de diseño.....	71
1.6.3 Planta de tratamiento con tecnología de filtración - coagulación - floculación.....	72
1.6.3.1 Descripción de la planta tipo.....	72
1.6.3.2 Bases de cálculo.....	73
1.6.3.3 Datos técnicos de diseño.....	74
1.6.4 Planta de tratamiento con tecnología para remoción de hierro y manganeso.....	75
1.6.4.1 Descripción de la planta tipo.....	75
1.6.4.2 Bases de cálculo.....	77
1.6.4.3 Datos técnicos de diseño.....	78
1.6.5 Planta de tratamiento con tecnologías de intercambio iónico.....	78
1.6.5.1 Descripción de la planta tipo.....	78
1.6.5.2 Bases de cálculo.....	80
1.6.5.3 Datos técnicos de diseño.....	80
1.6.6 Planta de tratamiento con tecnologías de lechos de adsorción.....	81
1.6.6.1 Descripción de la planta tipo.....	81
1.6.6.2 Bases de cálculo.....	83
1.6.6.3 Datos técnicos de diseño.....	83
1.6.7 Planta de tratamiento con tecnologías de membranas.....	84
1.6.7.1 Descripción de la planta tipo.....	84
1.6.7.2 Bases de cálculo.....	86
1.6.7.3 Datos técnicos de diseño.....	87

1.6.8 Antecedentes adicionales para las tecnologías de tratamiento.....	87
1.6.8.1 Fuentes de energía.....	87
1.6.8.2 Control operacional.....	87
1.7 Estimación de costos de tecnologías de tratamiento (población rural concentrada).....	88
1.7.1 Inversión inicial.....	88
1.7.1.1 Criterios para la inversión inicial.....	88
1.7.1.2 Criterios para la reposición de equipos.....	90
1.7.1.3 Análisis comparativo de costos de inversión.....	90
1.7.2 Costos de operación y mantenimiento.....	92
1.7.2.1 Criterios para los costos de operación y mantenimiento.....	92
1.7.2.2 Análisis comparativo de costos de operación.....	93
1.8 Tecnologías para población rural semiconcentrada.....	94
1.9 Tecnologías para población rural dispersa.....	95
1.10 Proveedores de tecnologías.....	96
1.10.1 Consideraciones generales.....	96
1.10.2 Entrevistas con proveedores.....	97
1.10.3 Resultados de la muestra referencial de proveedores.....	98
1.11 Redes de agua potable.....	100
1.11.1 Bases de cálculo.....	100
1.11.2 Criterios de diseño.....	101
1.11.2.1 Redes de agua potable.....	101
1.11.2.2 Sistemas de elevación.....	104
1.11.2.3 Desinfección.....	104
1.11.2.4 Normativa y disposiciones.....	104
CAPÍTULO 2	
Sistemas de aguas servidas.....	107
2.1 Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas.....	107
2.1.1 Tecnologías de tratamiento de aguas servidas aplicadas a sistemas particulares de tratamiento de aguas servidas.....	107
2.1.2 Tecnologías de tratamiento de aguas servidas aplicadas a localidades semidispersas o aglomeradas.....	108
2.2 Análisis de tecnologías.....	111
2.2.1 Experiencia nacional.....	111
2.2.2 Limitantes y restricciones.....	111
2.2.3 Propuesta de proyecto piloto.....	112
2.3 Consideraciones para el diseño y evaluación de tecnologías de tratamiento de aguas servidas.....	114

2.3.1 Campos de aplicación.....	114
2.3.2 Criterios generales.....	114
2.3.2.1 Bases de cálculo.....	114
2.4 Diseño de plantas de tratamiento de aguas servidas.....	123
2.4.1 Consideraciones básicas.....	123
2.4.2 Tecnologías de tratamiento de aguas servidas aplicadas a sistemas particulares de tratamiento de aguas servidas.....	128
2.4.2.1 Generalidades.....	128
2.4.2.2 Consideraciones técnicas.....	130
2.4.3 Tecnologías de tratamiento de aguas servidas aplicadas a localidades semidispersas o aglomeradas.....	134
2.4.3.1 Generalidades.....	134
2.4.3.2 Sistemas de tratamiento del tipo no convencional.....	135
2.4.3.3 Sistemas de tratamiento del tipo convencional.....	139
2.4.3.4 Resumen de ventajas desventajas y eficiencias de remoción de tecnologías.....	170
2.4.3.5 Análisis de alternativas y definición del tipo de tratamiento a adoptar.....	175
2.4.3.6 Proveedores de sistemas de tratamiento de aguas servidas.....	177
2.5 Estimación de costos de inversión y operación de tecnologías de tratamiento para poblaciones semidispersas o aglomeradas.....	180
2.5.1 Costos de inversión y operación.....	180
2.5.1.1 Consideraciones generales.....	180
2.5.1.2 Costos de inversión.....	183
2.5.1.3 Costos de operación.....	185
2.5.2 Criterios para la reposición de equipos.....	187
2.5.3 Estimación de costos de inversión y operación para soluciones individuales.....	187
2.6 Redes de alcantarillado.....	188
2.6.1 Sistemas de alcantarillado urbano tradicional.....	188
2.6.2 Proposiciones a considerar en la eventual norma de redes de aguas servidas rurales.....	190
2.6.2.1 Entrega del agua desde la salida de la fosa con elevación de cargo del cliente.....	190
2.6.2.2 Mantenimiento del diámetro mínimo de la norma urbana.....	191
2.6.2.3 Profundidad de las tuberías.....	192
2.6.2.4 Minimización de accesos de registro y limpieza.....	192
2.6.3 Alcantarillado en vacío.....	192
2.6.4 Alcantarillado en presión.....	195
2.6.4.1 Uso de tecnología y energía eléctrica.....	198

CAPÍTULO 3

Estudio tarifario tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas.....	207
3.1 Metodología y criterios de evaluación.....	207
3.1.1 Moneda de valorización.....	207
3.1.2 Horizonte de análisis.....	207
3.1.3 Identificación de costos de inversión y reposición.....	207
3.1.4 Identificación de costos de operación y mantención.....	208
3.1.5 Corrección a precios sociales y tasa de descuento.....	209
3.1.6 Tarifas tratamiento agua potable y aguas servidas.....	211
3.2 Resultados de la evaluación social.....	212
3.2.1 Plantas de tratamiento de agua potable.....	212
3.2.2 Plantas de tratamiento de aguas servidas.....	214
3.3 Resultados y conclusiones evaluación privada.....	215
3.3.1 Plantas de tratamiento de agua potable.....	216
3.3.2 Plantas de tratamiento de aguas servidas.....	218

CAPÍTULO 4

Tratamiento de lodos.....	223
4.1 Clasificación sanitaria de los lodos.....	225
4.1.1 Lodos estabilizados o con reducción del potencial de aireación de vectores sanitarios.....	225
4.1.1.1 Alternativas.....	225
4.1.1.2 Análisis y conclusiones.....	227
4.1.2 Lodos higienizado.....	228
4.1.2.1 Lodos clase A.....	228
4.1.2.1.1 Alternativas.....	228
4.1.2.1.2 Análisis y conclusiones.....	231
4.1.2.2 Lodos clase B.....	232
4.1.2.2.1 Alternativas.....	232
4.1.2.2.2 Análisis y conclusiones.....	234
4.2 Manejo sanitario de lodos.....	235
4.3 Almacenamiento de lodos en la PTAS.....	235
4.3.1 Almacenamiento de lodos estabilizados.....	235
4.3.2 Almacenamiento de lodos clase B.....	236
4.4 Transporte de lodos.....	236
4.5 Disposición de lodos.....	236
4.5.1 Disposición en rellenos sanitarios.....	236
4.5.2 Disposición en monorrellenos.....	237
4.6 Excepciones al manejo sanitario de lodos.....	237
4.7 Aplicación de lodos al suelo.....	237

4.7.1 Plan de aplicación de lodos al suelo (plan de aplicación).....	237
4.7.2 Área de aplicación de lodos al suelo.....	238
4.7.3 Suelos en que no se podrá efectuar aplicación de lodos.....	238
4.7.4 Concentración de metales pesados del suelo para aplicación de lodos.....	239
4.7.5 Tasa máxima de aplicación de lodos al suelo.....	239
4.7.6 Concentración de metales pesados de lodos clase A y B para aplicación de lodos al suelo.....	239
4.7.7 Condiciones de aplicación de lodos clase B.....	239
4.7.8 Procedimientos de medición y control.....	240

CAPÍTULO 5

Reutilización de aguas servidas tratadas.....	243
5.1 Antecedentes generales.....	243
5.2 Potenciales usos de las aguas servidas tratadas.....	244
5.3 Análisis de la normativa nacional vigente.....	245
5.3.1 Uso para bebida de animales.....	245
5.3.2 Uso para riego.....	245
5.4 Normativa internacional.....	247
5.4.1 Directrices de la Organización Mundial de la Salud.....	247
5.4.2 Reutilización de aguas servidas tratadas en Israel.....	252
5.4.3 Directrices de la agencia de protección ambiental (EPA).....	252
5.5 Reutilización de aguas en el sector rural.....	256
5.6 Limitantes para el reúso de aguas servidas tratadas en el sector rural.....	257
5.6.1 Aspectos normativos.....	257
5.6.2 Aspectos económicos.....	257
5.6.3 Aspectos organizacionales.....	258
5.6.4 Aspectos de percepción.....	258

CAPÍTULO 6

Normativa vigente de emisión y calidad asociada a aguas servidas en el sector rural.....	261
6.1 Introducción.....	261
6.2 Normativa vigente aplicable al sector rural.....	261
6.2.1 Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. D.S. 90/2000.....	261
6.2.2 Ds nº 46/2002. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas (2002).....	263
6.2.3 Nch 1.333 Of. 1978. Requisitos de calidad de agua para diferentes usos.....	264
6.2.4 Nch 409 Norma sobre calidad del agua potable.....	269
6.2.5 Nch 777 Agua potable, fuentes de abastecimiento y obras de captación. Parte 1: terminología, clasificación y requisitos.....	269

6.2.6 Normativa asociada al servicio de alcantarillado y saneamiento rural.....	269
6.3 Incidencia de la aplicación de la normativa de emisión en el sector rural.....	271
6.3.1 Establecimiento emisor.....	271
6.3.2 Concentración de parámetros de interés.....	274
6.3.3 Soluciones de tratamiento y calidad del efluente.....	274
6.3.3.1 Descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución.....	274
6.3.3.2 Descarga a un cuerpo de agua con capacidad de dilución.....	276
CAPÍTULO 7	
Guía de evaluación de sistemas de aguas servidas.....	281
7.1 Lodos activados.....	281
7.1.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación.....	281
7.1.1.1 Caudales.....	281
7.1.1.2 Características de las aguas residuales.....	282
7.1.1.3 Características de parámetros de proceso.....	283
7.1.2 Aspectos cualitativos de parámetros operacionales.....	283
7.1.3 Aspectos cuantitativos de parámetros operacionales.....	284
7.1.3.1 Registros y control.....	284
7.1.3.2 Registros y parámetros de control.....	285
7.2 Lagunas aireadas multicelulares.....	288
7.2.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación.....	288
7.2.1.1 Caudales.....	288
7.2.1.2 Características de las aguas residuales.....	289
7.2.2 Factores que afectan el proceso de tratamiento en base a lagunas aireadas.....	290
7.2.2.1 Parámetros de control operacional.....	290
7.2.2.1.1 Parámetros operacionales.....	290
7.2.2.1.2 Parámetros de laboratorio.....	292
7.2.3 Características de parámetros operacionales del proceso.....	292
7.2.4 Consideraciones específicas del control del sistema de tratamiento.....	294
7.2.4.1 Tiempo de retención y eficiencia del sistema.....	294
7.2.4.2 Aireación y mezcla.....	295
7.2.4.3 Desinfección por cloración.....	295
7.2.4.4 Deshidratación y disposición de lodos.....	295
7.2.4.5 Elementos complementarios.....	296
7.2.4.6 Detección de anomalías.....	296
7.3 Tratamiento primario solo o químicamente asistido.....	296
7.3.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación.....	296
7.3.1.1 Caudales.....	297

7.3.1.2 Características de las aguas residuales.....	297
7.3.2 Consideraciones específicas del control del sistema de tratamiento.....	298
7.3.2.1 Tiempo de retención y tasa hidráulica.....	298
7.3.2.2 Desinfección por cloración.....	299
7.3.2.3 Deshidratación y disposición de lodos.....	299
7.3.3 Características de parámetros operacionales de los procesos de tratamiento primario y primario químicamente asistido (CEPT).....	299
7.3.3.1 Tratamiento primario seguido de desinfección.....	300
7.3.3.2 Tratamiento primario químicamente asistido seguido de desinfección.....	300
7.3.4 Verificación operacional de los criterios de diseño.....	301
7.4 Lombrifiltros.....	302
7.4.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación.....	302
7.4.1.1 Caudales.....	302
7.4.1.2 Características de las aguas residuales.....	303
7.4.2 Criterios de diseño y control de variables operacionales del proceso.....	303
7.4.2.1 Caudal.....	304
7.4.2.2 Tasa superficial y carga orgánica volumétrica.....	304
7.4.2.3 Otras variables.....	304
7.5 Lagunas de estabilización.....	305
7.5.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación.....	305
7.5.1.1 Caudales.....	305
7.5.1.2 Características de las aguas residuales.....	306
7.5.1.3 Variables que definen el comportamiento del sistema.....	307
7.5.2 Criterios de diseño y control de variables operacionales del proceso.....	308
7.5.3 Variables cualitativas en lagunas facultativas.....	309

CAPÍTULO 8

Guía diagnóstica operacional sistemas de tratamiento de aguas servidas.....	313
8.1 Guía para el diagnóstico cualitativo y estado operacional de las plantas de tratamiento de aguas servidas.....	313
8.1.1 Evaluación obras civiles (OOC).....	313
8.1.2 Evaluación de equipos.....	314
8.1.2.1 Planta elevadora aguas servidas (PEAS).....	314
8.1.2.2 Tratamiento preliminar.....	315
8.1.2.3 Tratamiento primario.....	318
8.1.2.4 Tratamiento secundario.....	318
8.1.2.4.1 Reactores biológicos.....	318
8.1.2.4.2 Sedimentación secundaria.....	320
8.1.2.5 Desinfección y decoloración.....	320

8.1.2.6	Espesamiento de lodos.....	322
8.1.2.6.1	Espesamiento gravitacional.....	322
8.1.2.6.2	Espesamiento mecanizado.....	323
8.1.2.7	Digestión aeróbica.....	323
8.1.2.8	Acumulación de lodos.....	324
8.1.2.9	Deshidratación de lodos.....	326
8.1.2.9.1	Deshidratación mecanizada (filtro de banda, filtro de prensa, centrifuga).....	326
8.1.2.9.2	Deshidratación gravitacional por lecho de secado	326
8.1.2.10	Recirculación sobrenadantes.....	326
8.1.2.11	Equipo dosificación de cal.....	327
8.1.2.12	Manejo y disposición de lodos.....	327
8.1.3	Otros.....	328
8.2	Guía referencial para el diagnóstico cuantitativo de las plantas de tratamiento de aguas servidas.....	328
8.2.1	Tratamiento primario.....	329
8.2.2	Tratamiento secundario.....	330
8.2.2.1	Lodos activados.....	330
8.2.2.2	Biofiltros.....	331
8.2.2.3	Biodiscos.....	332
8.2.2.4	Lombrifiltros.....	333
8.2.2.5	Lagunas aireadas.....	333
8.2.2.6	Lagunas facultativas.....	334
8.2.3	Desinfección.....	335
8.2.4	Espesamiento.....	336
8.2.5	Digestión aeróbica.....	336
8.2.6	Deshidratación de lodos.....	337
8.2.6.1	Deshidratación mecanizada.....	337
8.2.6.2	Lechos de secado.....	338
8.3	Información complementaria para el diagnóstico cuantitativo plantas de tratamiento de aguas servidas. Situaciones excepcionales en la operación.....	339
8.3.1	Parámetros complementarios utilizados en el control operativo de las ptas.....	339
8.3.1.1	Generalidades.....	339
8.3.1.2	Parámetros operacionales de control.....	340
8.3.2	Situaciones excepcionales en la operación de la PTAS.....	342
CAPÍTULO 9		
Diagnóstico de plantas de tratamiento de aguas servidas.....		347
9.1	Introducción.....	347

9.2 Campañas de aforo y caracterización de PTAS.....	348
9.3 Bases de cálculo generadas a partir de las campañas.....	351
9.4 Diagnóstico de las plantas.....	353

CAPÍTULO 10

Glosario de agua potable, aguas servidas y bibliografía.....	357
---	------------

10.1 Bibliografía.....	357
10.2 Glosario agua potable y aguas servidas.....	358

ANEXOS

Se encuentran en formato digital en el siguiente link: <http://www.subdere.gov.cl/programas/division-desarrollo-regional/unidad-saneamiento-sanitario>

Índice de Tablas

Tabla N° 1.	Requisitos de Calidad para el Agua Potable - Norma NCh409/1 of. 2005.....	39
Tabla N° 2.	Nómina de parámetros de contaminación en fuentes de servicios del sector rural.....	40
Tabla N° 3.	Clasificación de fuentes de captación (SISS 3603/09).....	41
Tabla N° 4.	Eficiencia de tecnologías en remoción de contaminantes.....	45
Tabla N° 5.	Resumen de tecnologías tradicionales para el tratamiento de agua potable.....	51
Tabla N° 6.	Nuevas tecnologías disponibles para tratamiento de agua potable en el sector rural.....	52
Tabla N° 7.	Evaluación de experiencia nacional.....	55
Tabla N° 8.	Limitantes y restricciones de las tecnologías de tratamiento.....	56
Tabla N° 9.	Evaluación operacional de tecnologías de tratamiento.....	59
Tabla N° 10.	Resumen campo de aplicación de tecnologías de tratamiento A.P.....	63
Tabla N° 11.	Proyección de población en el periodo de previsión.....	65
Tabla N° 12.	Proyección de caudales.....	66
Tabla N° 13.	Bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definida con tecnología de desinfección.....	68
Tabla N° 14.	Datos técnicos de diseño tecnología de desinfección.....	69
Tabla N° 15.	Bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definida con tecnología de filtración directa.....	71
Tabla N° 16.	Datos técnicos de diseño tecnología de filtración directa.....	72
Tabla N° 17.	Bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definidas con tecnología filtración - coagulación - floculación.....	74
Tabla N° 18.	Datos técnicos de diseño tecnología filtración - coagulación - floculación.....	75
Tabla N° 19.	Bases de cálculo adoptadas para tecnología para remoción de hierro y manganeso.....	77
Tabla N° 20.	Datos técnicos de diseño tecnología para remoción de hierro y manganeso.....	78
Tabla N° 21.	Bases de cálculo adoptadas para el diseño de la tecnología de intercambio iónico.....	80
Tabla N° 22.	Datos técnicos de diseño tecnología de intercambio iónico.....	81

Tabla N° 23.	Bases de cálculo adoptadas para el diseño de la tecnología de lechos de adsorción.....	83
Tabla N° 24.	Datos técnicos de diseño tecnología de lechos de adsorción.....	84
Tabla N° 25.	Bases de cálculo adoptadas para el diseño de la tecnología de membranas.....	86
Tabla N° 26.	Datos técnicos de diseño tecnología de membranas.....	87
Tabla N° 27.	Áreas de terreno en función de las tecnologías.....	89
Tabla N° 28.	Resumen de inversiones por tecnología y población abastecida (\$).....	90
Tabla N° 29.	Resumen de costo operacional por tecnología y población abastecida del horizonte del periodo de previsión (M\$/año).....	93
Tabla N° 30.	Listado referencial de tecnologías y proveedores de plantas de tratamiento de agua potable.....	98
Tabla N° 31.	Resultados de vivienda. Censo 2002.....	118
Tabla N° 32.	Indice habitacional sector rural.....	119
Tabla N° 33.	Dotación AP sector rural.....	121
Tabla N° 34.	Capacidad referencial filtros prensa.....	127
Tabla N° 35.	Capacidad referencial filtros banda.....	127
Tabla N° 36.	Capacidad referencial centrífugas.....	128
Tabla N° 37.	Alternativas típicas de tratamiento de aguas servidas en sistemas descentralizados.....	129
Tabla N° 38.	Criterios de diseño para el dimensionamiento de una fosa séptica.....	132
Tabla N° 39.	Eficiencias remoción lagunas de estabilización.....	136
Tabla N° 40.	Criterios de diseño lodos activados.....	142
Tabla N° 41.	Criterios de diseño biofiltros.....	144
Tabla N° 42.	Criterios de diseño contactores biológicos rotatorios.....	147
Tabla N° 43.	Eficiencias remoción lagunas aireadas a mezcla completa.....	151
Tabla N° 44.	Eficiencias remoción lagunas aireadas multicelulares.....	153
Tabla N° 45.	Criterios cineticos de diseño lagunas aireadas multicelulares.....	153
Tabla N° 46.	Criterios de diseño lagunas aireadas multicelulares.....	154
Tabla N° 47.	Eficiencias remoción tratamiento primario.....	157
Tabla N° 48.	Requerimiento cal para mantener el pH en 12 por 30 minutos LEBANON, OHIO, USA.....	158
Tabla N° 49.	Estudios piloto dosis de cal para mantener el pH sobre 11 por al menos 14 días.....	159
Tabla N° 50.	Eficiencias remoción tratamiento primario químicamente asistido.....	160
Tabla N° 51.	Comparativa de eficiencias en PTAS CEPT.....	160
Tabla N° 52.	Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de aguas servidas.....	171
Tabla N° 53.	Resumen eficiencias de remoción de las tecnologías.....	174
Tabla N° 54.	Listado referencial de tecnologías y proveedores.....	179
Tabla N° 55.	Bases de cálculo.....	180
Tabla N° 56.	Condiciones de borde para valorización PTAS.....	182
Tabla N° 57.	Costos referenciales de inversión PTAS.....	183
Tabla N° 58.	Costo de inversión terreno PTAS.....	183

Tabla N° 59.	Equipamiento básico de terreno PTAS.....	185
Tabla N° 60.	Costos referenciales de operación PTAS.....	186
Tabla N° 61.	Costos de personal y/o operarios de las PTAS.....	186
Tabla N° 62.	Costos inversión fosas sépticas.....	188
Tabla N° 63.	Vida útil de componentes.....	208
Tabla N° 64.	Remuneraciones de mano de obra.....	209
Tabla N° 65.	Criterios de factores de corrección a precios sociales.....	209
Tabla N° 66.	Factores de corrección.....	210
Tabla N° 67.	Descomposición de gastos de operación y mantenimiento PTAP.....	210
Tabla N° 68.	Descomposición de gastos de operación y mantenimiento PTAS.....	211
Tabla N° 69.	Valor actual de costos PTAP (M\$).....	212
Tabla N° 70.	Costo anual equivalente PTAP (M\$).....	213
Tabla N° 71.	Valor actual de costos PTAS, VAC (M\$).....	214
Tabla N° 72.	Costo anual equivalente PTAS (M\$).....	215
Tabla N° 73.	Tarifa para tecnología desinfección.....	216
Tabla N° 74.	Tarifa para tecnología filtración directa.....	216
Tabla N° 75.	Tarifa para tecnología filtración con coagulación.....	217
Tabla N° 76.	Tarifa para teconología filtración en lecho directa remoción fierro y manganeso.....	217
Tabla N° 77.	Tarifa para teconología intercambio iónico.....	217
Tabla N° 78.	Tarifa para teconología filtración en lechos de adsorción.....	218
Tabla N° 79.	Tarifa para teconología proceso de membranas.....	218
Tabla N° 80.	Tarifa para tecnología lagunas aireadas.....	218
Tabla N° 81.	Tarifa para tecnología lodos activados.....	219
Tabla N° 82.	Tarifa para tecnología lombrifiltro.....	219
Tabla N° 83.	Valores tarifarios empresas RM.....	220
Tabla N° 84.	Requisitos de calidad para aguas de riego (Norma NCh1333/87).....	246
Tabla N° 85.	Requisitos de salinidad para aguas de riego (Norma NCh1333/87).....	247
Tabla N° 86.	Riesgos sanitarios por el uso de aguas servidas para irrigación.....	248
Tabla N° 87.	Medidas de protección y reducciones asociadas de organismos patógenos.....	249
Tabla N° 88.	Requisitos para reutilización de agua servidas tratadas (Ministerio Salud Pública Israel).....	252
Tabla N° 89.	Requisitos para aguas de riego vida acuática (D. Salud Pública Arizona USA).....	253
Tabla N° 90.	Requisitos para reutilización de aguas servidas tratadas (EPA/2012).....	254
Tabla N° 91.	Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales (DS 90/2000).....	263
Tabla N° 92.	Detalle parámetros norma de calidad para riego.....	265
Tabla N° 93.	Clasificación de aguas Ayers.....	267
Tabla N° 94.	Concentración de metales para riego según la EPA.....	268
Tabla N° 95.	Registros y control de parámetros a lo largo de la PTAS.....	284
Tabla N° 96.	Registro de parámetros en determinados puntos PTAS.....	285

Tabla N° 97.	Registros diarios de operación PTAS.....	286
Tabla N° 98.	Rangos de parámetros operacionales.....	342
Tabla N° 99.	PTAS a evaluar.....	347
Tabla N° 100.	PTAS evaluadas.....	349
Tabla N° 101.	Bases de cálculo a partir de la campaña de aforo y caracterización.....	351
Tabla N° 102.	Bases de cálculo del diseño.....	352

Índice de Figuras

Figura N° 1.	Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de agua potable.....	42
Figura N° 2.	Operaciones y procesos comunes en el tratamiento de agua potable.....	43
Figura N° 3.	Configuraciones integradas de trenes de tratamiento de agua potable.....	44
Figura N° 4.	Diagrama de decisión para la selección de tecnologías.....	49
Figura N° 5.	Resumen de soluciones innovadoras.....	53
Figura N° 6.	Sistema de sanitización de agua mediante plasma.....	60
Figura N° 7.	Esquema de sistema de agua potable en el sector rural.....	66
Figura N° 8.	Esquema planta de tratamiento tipo con tecnología de desinfección.....	67
Figura N° 9.	Esquema planta de tratamiento tipo con tecnología filtración directa.....	70
Figura N° 10.	Esquema planta de tratamiento con tecnología filtración con coagulación-floculación.....	72
Figura N° 11.	Esquema planta de tratamiento hierro-manganeso con lechos activos.....	76
Figura N° 12.	Esquema planta de tratamiento por intercambio iónico.....	79
Figura N° 13.	Esquema planta de tratamiento de arsénico por lechos de adsorción.....	81
Figura N° 14.	Esquema planta de tratamiento de desalinización mediante membranas.....	85
Figura N° 15.	Costos de inversión por tecnología y población.....	91
Figura N° 16.	Costos de operación por tecnología y población.....	94
Figura N° 17.	Esquema de tecnologías de tratamiento para población rural semiconcentrada.....	95
Figura N° 18.	Dispositivos de tratamiento de agua para viviendas.....	96
Figura N° 19.	Mapa de alternativas de tratamiento de aguas servidas.....	109
Figura N° 20.	Índice habitacional.....	118
Figura N° 21.	Dotación AP sector rural (VI R).....	121
Figura N° 22.	Comparación costos desinfección aguas servidas.....	126
Figura N° 23.	Planta individual de lodos activados	134
Figura N° 24.	Esquema sistema lodos activados por aireación extendida.....	140
Figura N° 25.	Lodo activado compacto por aireación extendida enterrado.....	141
Figura N° 26.	Esquema sistema filtros biológicos (biofiltros).....	143
Figura N° 27.	Esquema sistema contactor biológico rotatorio (biodiscos).....	145
Figura N° 28.	Esquema contactor biológico rotatorio (biodisco).....	146

Figura N° 29.	Esquema sistema de lagunas aireadas mezcla completa.....	150
Figura N° 30.	Esquema sistema de lagunas aireadas multicelulares.....	152
Figura N° 31.	Esquema sistema lombrifiltro.....	161
Figura N° 32.	Esquema del sistema Biotreat.....	167
Figura N° 33.	Layout sistema Biotreat.....	167
Figura N° 34.	Esquema lecho verde vertical de juncos.....	168
Figura N° 35.	Sistema de aireación lecho verde vertical de juncos.....	169
Figura N° 36.	Diagrama de decisiones de selección de tecnologías de tratamiento de aguas servidas.....	177
Figura N° 37.	Costos de inversión PTAS.....	184
Figura N° 38.	Costos de operación y mantenimiento.....	187
Figura N° 39.	Sistema de alcantarillado por vacío.....	193
Figura N° 40.	Planta elevadora tradicional construida in situ.....	200
Figura N° 41.	Sección transversal eyector neumático Shone.....	202
Figura N° 42.	Valor actual de costos PTAP (M\$).....	212
Figura N° 43.	Costo anual equivalente PTAP (M\$).....	213
Figura N° 44.	Valor actual de costos PTAS, VAC (M\$).....	214
Figura N° 45.	Costo anual equivalente, CAE, M\$.....	215
Figura N° 46.	Combinación de medidas de protección sanitaria para la reducción de patógenos en el uso de aguas servidas para irrigación.....	250
Figura N° 47.	Ciclo sanitario para la reutilización de aguas servidas tratadas.....	256

Índice de Fotografías

Fotografía N° 1.	Lodo activado compacto por aireación extendida.....	141
Fotografía N° 2.	Biofiltro construido y en operación.....	144
Fotografía N° 3.	Contactador biológico rotatorio construido y en operación.....	145
Fotografía N° 4.	Medios soporte para biomasa fija sistema mixtos.....	148
Fotografía N° 5.	Laguna aireada a mezcla completa construida y en operación.....	148
Fotografía N° 6.	Detalle emplazamiento sistema aireación superficial laguna aireada a mezcla completa.....	149
Fotografía N° 7.	Detalle sistema aireación superficial laguna aireada a mezcla completa.....	149
Fotografía N° 8.	Lombrifiltro construido y en operación.....	162
Fotografía N° 9.	Lombrices en hábitat del lombrifiltro.....	162
Fotografía N° 10.	Humedal construido y en operación.....	165
Fotografía N° 11.	Sistema Biotreat construido y en operación.....	166
Fotografía N° 12.	Sistema de lecho verde vertical de juncos construido.....	170
Fotografía N° 13.	Plantas elevadoras de pequeña magnitud.....	191
Fotografía N° 14.	Puerto Gaviota.....	194
Fotografía N° 15.	Isla Toto.....	194
Fotografía N° 16.	Catálogo sistema alcantarillado en presión.....	195
Fotografía N° 17.	Detalle catálogo sistema alcantarillado en presión.....	196
Fotografía N° 18.	Planta elevadora prefabricada.....	201

Presentación

**SUBSECRETARIO DE DESARROLLO REGIONAL, FELIPE SALABERRY SOTO,
LIBRO “ESTUDIO DE SOLUCIONES SANITARIAS PARA EL SECTOR RURAL”
Santiago, marzo de 2018**

Fortalecer las capacidades técnicas, institucionales y el capital humano de los gobiernos regionales y los municipios para el diseño e implementación de políticas, planes y programas de desarrollo regional y local, impulsando la innovación, la competitividad, la creación de redes y el fortalecimiento de las identidades territoriales, es uno de los objetivos estratégicos de la Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE).

En este contexto, el significativo déficit que existe en las zonas rurales de nuestro país de infraestructura de agua potable y saneamiento, así como la complejidad técnica que revisten la operación de estos sistemas, inspiraron el *“Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural”*, realizado por profesionales de la Unidad de Saneamiento Sanitario de la SUBDERE.

Este trabajo cobra especial relevancia dado que la sequía que afecta a varias zonas de nuestro territorio es una realidad que llegó para quedarse, situación que pone de relieve la necesidad de innovar respecto a la administración de los recursos hídricos y la búsqueda de nuevas tecnologías, tanto para la potabilización de las aguas, como para el tratamiento y reutilización de las aguas servidas.

Actualmente, una significativa cantidad de los sistemas de tratamiento asociados a iniciativas que se han financiado con recursos del Estado presentan problemas operacionales. Una parte importante de ello es consecuencia de la concepción de diseños “tipo” y/o que no consideran soluciones acordes a las condiciones específicas de la localidad en estudio. En este sentido, esta publicación entrega las nociones y herramientas básicas necesarias para determinar la solución idónea para cada una de ellas, incluyendo, además, una revisión de las tecnologías que se encuentran presentes en el mercado, sean tradicionales o nuevas.

Por otra parte, entendemos que establecer un análisis comparativo de tecnologías es imprescindible para definir soluciones acordes y coherentes para cada localidad, considerando, aparte de la inversión inicial, variables claves para la sostenibilidad del ser-

vicio, como la adopción tecnológica y los costos de operación y mantenimiento que se traducirán en tarifa. A propósito de esto último, este estudio provee las herramientas que permiten definir una metodología del cálculo (tarifario) derivado de los costos de operación y mantención del sistema, indicador indispensable en la etapa de diseño.

Esperamos que este estudio sea una herramienta útil para la extensa red de agentes públicos y comunitarios que hoy participan del diseño y gestión de soluciones de saneamiento sanitario. A la vez, es una muestra de nuestro compromiso permanente con el desarrollo de infraestructura de agua potable y saneamiento, sobre todo con nuestros compatriotas que aún carecen de dichos servicios.

Introducción

La Unidad de Saneamiento Sanitario de la División de Desarrollo Regional de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (SUBDERE), ha desarrollado el "Estudio de soluciones sanitarias para el sector rural" a través del cual se puedan establecer los criterios cualitativos y cuantitativos que deben tenerse en cuenta para la formulación, preparación, construcción y explotación de Iniciativas de Inversión (IDI) del ámbito sanitario (distribución y tratamiento del agua potable y recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas), traduciéndose en una guía que proporcione el material de apoyo, destinado tanto a los profesionales del sector público que formulan iniciativas de inversión como a los encargados de la operación y mantenimiento de sistemas de agua potable y saneamiento del sector rural (APR), cobrando relevancia la necesidad de innovar respecto a la administración de los recursos hídricos con nuevas tecnologías tanto para la potabilización de las aguas como para el tratamiento y reutilización de las aguas servidas.

El objetivo general del estudio propende a mejorar la eficacia, eficiencia, sostenibilidad y sustentabilidad de la inversión pública, mediante la evaluación de los antecedentes necesarios para un adecuado desarrollo e implementación de tecnologías en el ámbito de la potabilización y distribución del agua y de la recolección y tratamiento de las aguas servidas; de la disposición de las aguas servidas tratadas y de las soluciones particulares de alcantarillado sanitario rural.

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes.

- Definir criterios generales para una adecuada selección de soluciones de abastecimiento de agua potable y evacuación, disposición y reutilización de aguas servidas en comunidades rurales concentradas, semiconcentradas y dispersas, contemplando aspectos técnicos, legales, normativos, ambientales y sociales.
- Incorporar tecnologías innovadoras potencialmente aptas y aplicables al sector rural, en el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano y de aguas servidas domiciliarias.
- Elaborar una guía que defina los protocolos generales de control operacional y de mantención adecuada de los sistemas de tecnología establecida en el tratamiento de aguas servidas.

- Elaborar un cálculo tarifario derivado de los costos de operación y mantenimiento de las soluciones propuestas.
- Evaluar las soluciones viables para el tratamiento de lodos provenientes de las PTAS en el sector rural.
- Evaluar la reutilización de las aguas servidas tratadas para riego en el sector rural.

El presente estudio contiene los criterios de gestión integrada de las iniciativas de inversión en el sector rural relacionada con la definición de las soluciones a implementar en una determinada localidad, sea en agua potable o aguas servidas.

contempla en consecuencia el tratamiento y distribución de agua potable, así como la recolección y tratamiento de aguas servidas, debiendo destacar que tanto las redes de distribución de agua potable como las de recolección de aguas servidas tienen soluciones propias de la ingeniería que las sustenta, por lo que en estos ítemes se señalan recomendaciones y muestran avances o nuevas tecnologías que se presentan en el actual estado del arte.

Considerando que cada proyecto es casuístico y que, en consecuencia, requiere un análisis detallado de las características, especificidades y particularidades propias que cada uno de ellos posee, la secuencia del proceso contempla en todos los casos un análisis técnico constituido por varias etapas, y la subsecuente evaluación económica que permita definir la solución a implementar, lo que troncalmente puede resumirse de acuerdo al siguiente detalle.

- Definición de las bases de cálculo.
 - Características específicas del afluente.
 - Calidad requerida del efluente.
- Planteamiento de alternativas viables de tratamiento
 - Principales características de las alternativas de tratamiento
 - Eficiencias de las alternativas de tratamiento en función de los parámetros de interés.
 - Variables adicionales de incidencia en la modulación del sistema de tratamiento.
- Dimensionamiento de alternativas de tratamiento seleccionadas a nivel de ingeniería de procesos.
- Análisis económico de alternativas de tratamiento.
 - Costos de inversión de las alternativas de tratamiento.
 - Costos de operación y mantenimiento, incluyendo transporte y disposición de lodos.
 - Valor presente de costos.

Un aspecto de alta importancia lo constituyen las bases de cálculo y su representatividad en el sector rural, por lo que el estudio delimita las principales variables asociadas a las condiciones específicas propias del sector rural.

Seguidamente, y en forma previa al desarrollo del dimensionamiento de las alternativas de tratamiento viables de aplicar, se efectúa un análisis de modularización por etapas en base a las principales características de caudal y carga orgánica a lo largo del período de previsión. Ello es especialmente importante al inicio del período de previsión por el número de usuarios conectados y también en aquellos casos en que la localidad está sujeta a variaciones significativas en el tiempo como por ejemplo los balnearios de alta afluencia estival, donde se presentan variaciones mensuales de los parámetros de diseño (lo que origina que no sólo se deba tomar en cuenta las variaciones entre el inicio y fin de cada etapa, sino también los valores correspondientes a los meses de menor y mayor aporte de cada año).

En cuanto a las alternativas de tratamiento propiamente tales, se debe evaluar la aplicabilidad de determinados tipos de tratamiento, primeramente en forma global, y luego específicamente en función de las características específicas de cada localidad. Así por ejemplo, en el tratamiento de las aguas servidas domésticas se debe analizar entre otros el orden de magnitud de la población a servir, la complejidad operacional del sistema y la disponibilidad de terreno.

De la misma forma, si no se dispone de suficiente terreno o las características específicas de la localidad no hacen aconsejable la implementación de sistemas del tipo no convencional, se deberá analizar el espectro de tecnologías del tipo convencional, y preseleccionar la alternativa que se adecue a los requerimientos específicos, considerando las principales características de las alternativas de tratamiento y los consecuentes requerimientos que lleve implícitos.

Los capítulos más importantes del presente estudio están dedicados a las alternativas de tratamiento del agua potable y de las aguas servidas tanto para soluciones individuales como semidispersas o aglomeradas. En estos se detallan las principales características técnicas de cada una, sus ventajas, desventajas, eficiencias de remoción de los parámetros de interés, etc.

Una vez delimitadas las alternativas de tratamiento viables de aplicar, se debe evaluar el cumplimiento de las condiciones de borde específicas del proyecto y, de ser así, efectuar un dimensionamiento de las mismas a nivel de ingeniería de procesos, lo que comprenderá el análisis las obras a ejecutar, definición de las dimensiones y principales características técnicas y operativas del sistema de tratamiento.

Efectuado el dimensionamiento de las alternativas de tratamiento, se procede con el análisis económico de cada una de ellas para generar una estimación de los programas de costos de inversión y costos de operación, mantenimiento y reposición, de modo que a la luz de los valores presentes de costos se pueda definir la alternativa más conveniente a adoptar.

Los costos de inversión, se subdividen básicamente en obras civiles y equipos. Los costos de las primeras se deben calcular sobre la base de las cubicaciones de las obras proyectadas y los precios unitarios locales, en tanto que el costo de los equipos se estima sobre la base de cotizaciones de mercado.

En cuanto a los costos de operación, se deben desglosar en costos fijos de operación (personal, gastos administrativos, etc.) y costos variables (fundamentalmente energía eléctrica, reactivos, transporte y disposición de lodos, etc.), los que deben ser estimados con un grado de precisión adecuada al momento de su evaluación.

Siguiendo la secuencia metodológica recientemente detallada, la estructura del estudio considera fundamentalmente el análisis de los siguientes aspectos troncales:

- Bases de cálculo en el sector rural

Las bases de cálculo deben ser lo más representativas posible de las condiciones y características reales de las aguas de la localidad en análisis y la calidad requerida del efluente, pues ello permitirá no solamente dimensionar adecuadamente el tratamiento requerido, sino también evaluar a cabalidad las alternativas de tratamiento que cumplirán con los requisitos y condiciones de borde.

- Guía de tecnologías existentes

Se detallan tecnologías de soluciones tanto tradicionales como innovadoras presentes en el mercado nacional e internacional en lo referido tanto al tratamiento de agua para el consumo humano como de las aguas servidas domiciliarias, respaldadas con información de fabricantes y/o proveedores.

Se incorporan los distintos tipos de tecnologías existentes, detallando las ventajas y desventajas de cada una de ellas en términos de operación, mantenimiento, grado de tratamiento, flexibilidad de calibración para dar cumplimiento a los parámetros exigidos por la normativa vigente, recuperación frente a emergencias (puesta en marcha), efectos frente a eventos inesperados, tales como aporte de RILES, etc.

Se incorporan referencialmente algunas tecnologías innovadoras que están iniciando su emplazamiento en el mercado y que presentan ventajas para su aplicación en el sector rural.

- Análisis de alternativas

Se estandarizan y definen los criterios de selección de las alternativas en base a parámetros cuantitativos y cualitativos debidamente respaldados y documentados, los que permiten efectuar el análisis que permita definir la viabilidad de aquellas tecnologías aplicables al entorno específico de cada proyecto.

- Evaluación económica de las soluciones de tratamiento

La metodología de evaluación económica para las diferentes alternativas propuestas se basa en lo señalado al respecto en el Sistema Nacional de Inversiones (NIP vigente).

Asimismo, se evalúa la viabilidad de aplicar procedimientos simplificados de evaluación en el caso de alternativas de soluciones sencillas, particularmente aquellas de carácter individual.

- Determinación de tarifas

Efectuado el correspondiente estudio de los costos de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, se procede a estimar la tarifa correspondiente a cada una de las soluciones recomendadas.

- Legislación y normativa existente

Se efectúa un levantamiento de la legislación y normativa existente, a partir del cual se verifica el efecto y brechas de aplicación que tienen en la realidad del mundo rural (línea base para los diseños, especialmente en lo referido a las bases de cálculo a adoptar y los requerimientos establecidos por la normativa vigente de calidad del efluente y manejo de lodos). Ello, junto con la identificación de las regulaciones existentes en torno al tema, permite delimitar los organismos y/o instituciones que deben propender a la difusión y discusión de las propuestas, así como las reglamentaciones y/o normativas que deben complementarse y/o ajustarse y/o elaborarse.

- Metodología de diagnóstico de PTAS

A partir de los antecedentes del Catastro Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas que proporcionó la Unidad de Saneamiento Sanitario, se definió en conjunto una muestra representativa de 5 PTAS para evaluar in situ las condiciones reales de su infraestructura sanitaria.

El diagnóstico de la muestra se basa en un levantamiento de las instalaciones y su estado de operación, junto con la ejecución de una campaña de monitoreo del afluente y efluente de la planta con medición de parámetros que permiten evaluar el cumplimiento de la normativa de emisión vigente.

Con la evaluación de los antecedentes y los resultados de la campaña de aforo y caracterización del afluente se aplica una guía de diagnóstico de procesos, para lo cual se definen los aspectos que se deben contemplar por componente unitaria y sus equipos asociados, de manera que puedan servir para propender a una operación eficiente y adecuada.

- Tratamiento de lodos para el cumplimiento de la normativa vigente

En este punto se analizan y proponen las alternativas viables establecidas en la normativa vigente para el tratamiento de lodos provenientes de las PTAS (Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, DS 04/2009), realizando una evaluación técnica de las alternativas viables de implementar en el sector rural y que permiten disminuir el volumen de lodos y su clasificación para su posterior reutilización en el ámbito agrícola.

- Reutilización de las aguas servidas tratadas

Se analiza la calidad de las aguas establecida por la normativa vigente para riego de cultivos agrícolas. Adicionalmente, se analiza la normativa internacional para el reuso de aguas servidas tratadas.

- Consolidación de la información

El contenido del estudio recibió los ajustes y/u observaciones de los organismos técnicos competentes relacionados con el tema, que permiten generar un producto consensuado con definición de criterios que permite su aplicación en todos los ámbitos asociados al sector rural.

Sentado lo anterior, se presenta a continuación el desarrollo del estudio, debidamente sistematizado en los tópicos pertinentes recientemente señalados.

Capítulo 1



Ercilla, Región de La Araucanía

Agua potable y tecnologías de tratamiento

1. Agua potable y tecnologías de tratamiento

1.1 Antecedentes generales

La provisión de agua potable es un servicio reconocido mundialmente por sus beneficios en la salud y en el bienestar de las personas y constituirse en una base para el desarrollo económico y social de los países y de las comunidades, constituyendo su acceso uno de los derechos humanos básicos y un componente fundamental de las políticas eficaces de protección de la salud pública.

Asimismo, la experiencia ha demostrado que las medidas destinadas a mejorar el acceso al agua potable favorecen en particular a los pobres, tanto de zonas rurales como urbanas, y pueden ser un componente eficaz de las estrategias de mitigación de la pobreza¹.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define el agua de consumo inocua (agua potable), como aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida.

Las regulaciones en el país con respecto a los requisitos de calidad del agua potable son aplicables a todo el territorio nacional y, por lo tanto, aplican a los sistemas de agua potable públicos y privados, urbanos y rurales y definen técnicamente el agua potable como el agua que cumple con los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección descritos en la NCh 409/1, de modo que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano².

1.1.1 Contaminación de las fuentes naturales de agua

Las razones que justifican la aplicación de diferentes operaciones y procesos de tratamiento para potabilizar el agua, radican en las condiciones de calidad que presentan las fuentes de abastecimiento, empleadas para captar aguas crudas o naturales para la producción de agua potable.

La extracción de aguas desde las fuentes de abastecimiento se efectúa mediante obras de captación que se clasifican según el origen de las aguas naturales.

1 Guidelines for Drinking Water - WHO 2006.

2 Agua Potable - Parte 1 - Requisitos INN NCh409-1/2005.

1.1.1.1 Obras de captación superficial

Obras físicas que permiten extraer aguas de fuentes superficiales como ríos, esteros, canales, lagos o lagunas y últimamente desde el mar. Consisten habitualmente en tomas laterales con muros de represamiento y cámaras de captación o tomas en profundidad sumergidas directamente en los cuerpos de agua.

La operación de captación de las aguas puede ser de tipo gravitacional o con la asistencia de estaciones elevadoras.

Desde el punto de vista de la calidad, las fuentes de abastecimiento con obras de captación superficial están influenciadas particularmente por las condiciones climáticas que causan el contacto del agua de escorrentía con los diversos materiales del suelo, de los residuos de la vida animal y de la vegetación.

La actividad de orden antropogénico es una fuente de contaminación importante de las aguas superficiales que permite que los desechos de los centros urbanos o rurales concentrados se incorporen directa o indirectamente contaminando los cuerpos de aguas superficiales.

El régimen climático y los eventos atmosféricos tienen una predominancia relevante y finalmente determinan el patrón de variabilidad de carácter estacional en la calidad de las aguas en todo el país.

1.1.1.2 Obras de captación subterránea

Obras y equipamiento que permiten extraer aguas subterráneas, a distintas profundidades y de diversos acuíferos, normalmente con sistemas de elevación y que consisten en drenes, punteras, norias o pozos profundos.

Cabe destacar que en la actualidad se está cuestionando que los drenes y punteras e incluso las norias correspondan a esta categoría, porque si bien las obras que se construyen están destinadas a extraer agua bajo la superficie, el origen de esta aguas es de carácter superficial, ya que sus regímenes de recarga de las fuentes y su calidad se ve influenciada por las condiciones atmosféricas y las actividades inmediatas que ocurren en la superficie del área aportante.

Desde el punto de vista de su calidad, las fuentes de tipo subterráneo están más protegidas de los eventos atmosféricos o climáticos y de las actividades humanas con la particularidad ya señalada de los casos de obras como drenes y punteras que están afectas a una influencia intermedia en este sentido.

Sin embargo, no se puede descartar los efectos de la infiltración de contaminantes provenientes de vertederos o de la explotación ganadera y agrícola o de tranques de almacenamiento de residuos mineros o industriales. La contaminación por infiltración cobra una importancia particular también en la zona rural, en donde no existen solu-

ciones de saneamiento integral que obligan al uso de pozos negros o donde no existen sitios de disposición sanitaria de las basuras.

En general, el factor más importante que determina la calidad de las aguas subterráneas corresponde a procesos naturales de mineralización natural de las aguas debido a las características geológicas de los suelos y la disolución de minerales en las diferentes zonas de los acuíferos.

En las zonas costeras existe, además, una marcada influencia del mar sobre las fuentes subterráneas, provocándose fenómenos de intrusión salina en los acuíferos.

1.1.2 Cambio climático y legislación y normativa aplicable al agua potable en el sector rural

Durante las últimas décadas se ha sumado un nuevo factor en el cambio de las condiciones de disponibilidad y calidad de las aguas tanto de fuentes superficiales como subterráneas y que está afectando seriamente el volumen de agua para la producción de agua potable y la capacidad de tratamiento de los sistemas diseñados o existentes para tal efecto.

En efecto, el aumento de los gases de efecto invernadero, asociado fundamentalmente a diversas actividades antropogénicas, está ocasionando cambios climáticos evidentes, entre los cuales cabe destacar como importantes para los efectos de este estudio, el aumento paulatino pero continuo de la temperatura, modificaciones en los patrones de precipitación y cambios en la intensidad y la frecuencia de eventos climáticos extremos. Las consecuencias de estos cambios climáticos en el conjunto de las actividades económicas, la población y los ecosistemas, son ciertamente significativas, aumentarán a lo largo del siglo y en muchos casos serán difícilmente reversibles³.

Este factor está afectando directamente muchas fuentes de captación de sistemas de agua potable, ya sea al disminuir la disponibilidad de agua, reduciendo los caudales de los cuerpos superficiales o los niveles de los pozos, o desmejorando su calidad por el incremento de los eventos de turbiedades o de contaminación de las aguas superficiales por la presencia descontrolada de algas, o por una reducción en la dilución de minerales en las aguas de pozos.

En materia de tratamiento, la capacidad y tecnologías instaladas en los sistemas de agua potable es sobrepasada por los niveles de contaminación de las fuentes de captación durante estos eventos, generando problemas finalmente en la calidad del agua potable suministrada a la población.

3 La economía del cambio climático 2010 CEPAL.

En lo referido a la legislación y normativa aplicable al agua potable en el sector rural, se puede establecer que si bien en Chile existe una norma de carácter nacional que establece los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección que debe cumplir el agua potable, la fiscalización de los servicios de agua potable rural corresponde a los Servicios de Salud, para cuyo efecto utilizan el Reglamento de los Servicios de Agua Potable Destinados al Consumo Humano, que fuera oficializado mediante el Decreto N°735/1969 del Ministerio de Salud.

El año 2006, se introdujeron modificaciones de algunos de sus artículos para actualizar los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable, conforme a las Guías para la Calidad del Agua Potable Vol. 1 1995 de la Organización Mundial de la Salud y a la nueva Norma Chilena NCh409/1. Of. 2005.

La siguiente tabla resume los requisitos de calidad exigidos por la autoridad sanitaria que deben cumplir los servicios de agua potable del sector rural, en el nivel del sistema de distribución:

TABLA N° 1
Requisitos de calidad para el agua potable – Norma NCh409/1 of. 2005

Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite máximo	Tolerancia
Tipo I. Microbiológicos y turbiedad				
Coliformes totales		Presencia	≥ 1 UFC o NMP/100ml	Presencia en 1 muestra mensual si se analizan menos de 10 en el mes
Coliformes totales		Presencia	≥ 1 UFC o NMP/100ml	Presencia en el 10% de las muestras si se analizan 10 o más en el mes
Coliformes totales		UFC o NMP/100ml	≥ 5 UFC o NMP/100ml	1 muestra cuando se hayan analizado menos de 20 en el mes
Coliformes totales		UFC o NMP/100ml	≥ 5 UFC o NMP/100ml	% de las muestras cuando se hayan analizado 20 o más muestras
Escherichia Coli		UFC o NMP/100ml	0	Ausencia de E.Coli
Turbiedad		UNT	≤ 2UNT	Promedio mensual
Turbiedad		UNT	> 4 UNT	1 muestra cuando se analicen menos de 20 en el mes
Turbiedad		UNT	> 4 UNT	5% de las muestras cuando se hayan analizado más de 20 en el mes
Tipo II. Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud				
Elementos esenciales				
Cobre	Cu	mg/l	2,0	-
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	-
Fluoruro	F-	mg/l	1,5	-
Hierro	Fe	mg/l	0,3	-
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	-
Magnesio	Mg	mg/l	125	-
Selenio	Se	mg/l	0,01	-
Zinc	Zn	mg/l	3,0	-
Elementos o sustancias no esenciales				
Arsénico	As	mg/l	0,01	-
Cadmio	Cd	mg/l	0,01	-
Cianuro	CN-	mg/l	0,05	-
Mercurio	Hg	mg/l	0,001	-
Nitrato	NO ₃ -	mg/l	50	-
Nitrito	NO ₂ -	mg/l	3	-
Razon Nitrato + Nitrito	-	mg/l	1	-
Plomo	Pb	mg/l	0,05	-
Sustancias orgánicas				
Tetracloroetano	-	µg/l	40	-
Benceno	-	µg/l	10	-
Tolueno	-	µg/l	700	-
Xilenos	-	µg/l	500	-
Plaguicidas				
DDT+DDD+DDE	-	µg/l	2	-
2,4-D	-	µg/l	30	-
Lindano	-	µg/l	2	-
Metoxicloro	-	µg/l	20	-
Pentaclorofenol	-	µg/l	9	-
Productos secundarios de la desinfección				
Monocloramina	-	mg/l	3	-
Dibromoclorometano	-	mg/l	0,1	-
Bromodichlorometano	-	mg/l	0,06	-
Tribromometano	-	mg/l	0,1	-
Triclorometano	-	mg/l	0,2	-
Trihalometanos	-	mg/l	1	-
Tipo IV. Parámetros organolépticos				
Físicos				
Color verdadero	-	UPTCo	20	-
Sabor	-	-	Inspida	-
Olor	-	-	Inodora	-
Inorgánicos				
Amoniaco	NH ₃	mg/l	1,5	-
Cloruro	Cl-	mg/l	400	-
pH	-	-	6,5 < pH < 8,5	-
Sulfato	SO ₄ --	mg/l	500	-
Solidos disueltos totales		mg/l	1500	-
Orgánicos				
Compuestos fenólicos	Fenol	µg/l	2	-
Tipo V. Parámetros desinfección				
Cloro residual libre		mg/l	2,0	Concentración máxima permitida
Cloro residual libre		mg/l	0,2	Concentración mínima permitida

Para verificar el cumplimiento de estos requisitos, la caracterización del agua tratada por los sistemas debe efectuarse mediante operaciones de muestreo y ensayos de laboratorio de carácter oficial, que se encuentran regulados en el país y reconocidos oficialmente cuando estas operaciones son ejecutadas por laboratorios acreditados bajo la norma ISO 17.025

1.1.3 Parámetros contaminantes de las aguas en el sector rural

Si bien la norma de agua potable regula parámetros microbiológicos, físicos y químicos de calidad que alcanzan un número total de 43 parámetros, existen suficientes antecedentes históricos y estadísticos que permiten establecer cuáles de ellos son los parámetros de contaminación más frecuentes en las fuentes de captación de los servicios de agua potable rural.

TABLA N° 2
Nómina de parámetros de contaminación en fuentes de servicios del sector rural

Parámetros frecuentes de contaminación	Tipo de contaminación	Efectos	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Turbiedad	Física	Apariencia del agua	■	
Color verdadero	Física	Apariencia del agua	■	■
pH	Química	Corrosividad	■	■
Hierro	Química	Apariencia, sabor y olor	■	■
Manganeso	Química	Apariencia, sabor y olor		■
Arsénico	Química	Salud	■	■
Nitratos	Química	Salud		■
Amoniaco	Química	Sabor, olor	■	■
Boro	Química	Salud y cultivos	■	■
Cloruros	Química	Sabor		■
Sulfatos	Química	Salud y sabor	■	■
Sólidos disueltos totales	Química	Salud y sabor	■	■
Coliformes totales	Microbiológica	Salud	■	■
Escherichia Coli	Microbiológica	Salud	■	■

Como se puede apreciar, los parámetros de contaminación que deberán ser controlados en una planta de tratamiento dependen en alguna medida del tipo de fuente de captación que se disponga en un sistema rural, aun cuando hay problemas de conta-

minación de las aguas naturales que son comunes independientemente de su origen y modalidad de captación.

1.1.4 Clasificación de fuentes de captación

En Chile se dispone de un instructivo técnico que es utilizado para clasificar en cinco clases las fuentes en zonas urbanas de acuerdo a la calidad de sus aguas y que es totalmente aplicable a las fuentes de abastecimiento en sistemas rurales.

Este sistema de clasificación determina además los procesos más adecuados para la potabilización de las aguas.

TABLA N° 3
Clasificación de fuentes de captación (SISS 3603/09)

Clase I	Comprende las fuentes subterráneas, cuyas aguas son factibles de potabilizar solo con el proceso de desinfección.
Clase II	Comprende fuentes subterráneas que por su turbiedad requieren ser tratadas con procesos de filtración directa en lecho granular y las fuentes superficiales que requieren ser tratadas con un proceso de filtración directa.
Clase III	Comprende las aguas que son factibles de potabilizar mediante procesos de coagulación, floculación, decantación y filtración con procesos complementarios de corrección de pH, las aguas que son factibles de potabilizar con procesos complementarios de oxidación o de adsorción, y las aguas que son factibles de potabilizar mediante la combinación de los procesos antes mencionados.
Clase IV	Comprende las aguas de fuentes superficiales de Clase III, que por sus altas turbiedades pueden requerir además procesos previos de presedimentación.
Clase V	Comprende las aguas en que los procesos antes mencionados no son suficientes para su potabilización y se deben aplicar procesos especiales adicionales o en forma independiente (ozonización, intercambio iónico, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración u osmosis inversa).

En la medida que la clasificación de fuente es numéricamente mayor, aumenta el grado y complejidad del tratamiento, debiendo destacar que los requerimientos de tratamiento establecidos para la Clase I son aplicables, en general, a todas las restantes por tratarse del proceso de desinfección, que debe aplicarse independientemente de los procesos de tratamiento previamente aplicados.

Las clases II, III y IV corresponden a aguas que requieren de procesos de clarificación de distinta intensidad y en algunos casos complementados con procesos de oxidación, mientras que la última clase, agrupa las aguas con requerimientos superiores de tratamiento.

1.2 Tecnologías de tratamiento del agua potable

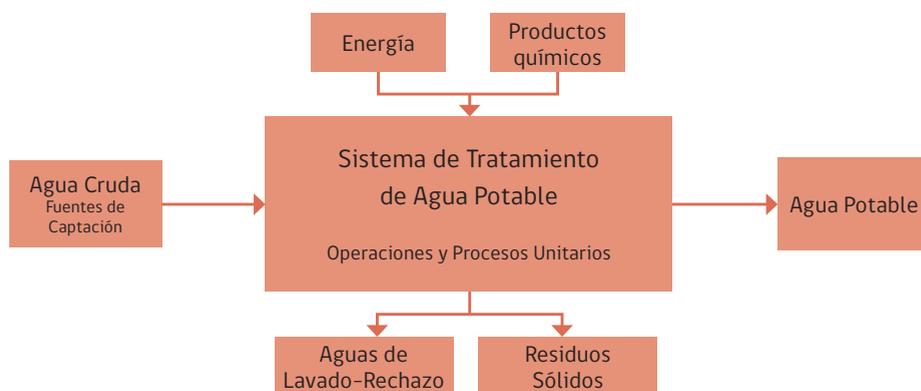
El tratamiento de aguas extraídas desde cuerpos de agua naturales o artificiales tiene como propósito el remover todas las materias en suspensión que pudieran afectar su apariencia y reducir la concentración de aquellos elementos o sustancias que se encuentran en estado disuelto, a los niveles aceptables por la norma de agua potable.

Un segundo propósito del tratamiento contempla la eliminación de microorganismos de carácter patógeno, habitualmente de origen intestinal, que se encuentran en las aguas crudas y que son transmisores de enfermedades de carácter infeccioso.

El tratamiento del agua combina e integra una serie de operaciones físicas y de procesos químicos unitarios que son seleccionados en función del grado y tipo de contaminación de las aguas de la fuente de captación y del alcance de los requisitos de calidad establecidos para el producto final.

El siguiente esquema conceptual muestra las componentes básicas de un sistema de tratamiento de agua potable, el cual requiere de una materia prima de entrada constituida por las aguas crudas naturales captadas mediante obras de captación construidas en la zona de ubicación de las fuentes de abastecimiento, de insumos que principalmente consisten en energía para la operación del equipamiento y en productos químicos para los procesos.

FIGURA N° 1
Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de agua potable



Los contaminantes que son removidos en el sistema por el concepto de conservación de la materia, son transformados o trasferidos, generándose su salida del sistema en las operaciones de lavado de las unidades de tratamiento. Adicionalmente estos sistemas generan la emisión de residuos sólidos por el agotamiento de materiales filtranteres, resinas, membranas o lechos de adsorción que deben ser reemplazados cada cierto tiempo.

El producto final del proceso es agua potable apta para el consumo, que debe mantener sus requisitos de calidad hasta el punto de uso de la población.

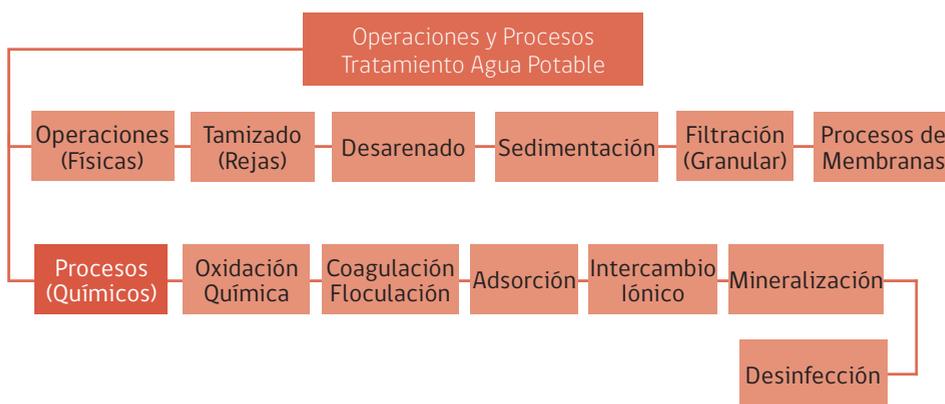
Las operaciones y procesos del tratamiento de agua potable están regidos fundamentalmente por los principios de separación sólido-líquido debido al hecho que la mayoría de los contaminantes pueden presentarse en estado particulado coloidal o suspendidos. En aquellos casos que el contaminante se encuentra en estado disuelto se recurre a procesos previos de oxidación para lograr su cambio de estado.

No obstante lo anterior, algunos de los elementos o sustancias que se requiere remover no pueden ser cambiados de estado y tienen que ser retirados directamente del agua mediante procesos de intercambio iónico o de membranas.

Por último la eliminación de microorganismos patógenos se lleva a cabo mediante procesos físicos o químicos que logran penetrar la estructura celular y comprometer los procesos metabólicos celulares provocando su muerte y destrucción.

Las operaciones y procesos unitarios que están normalmente presentes en los sistemas de tratamiento de agua potable en el sector rural del país se presentan sistematizados en la siguiente figura.

FIGURA N° 2
Operaciones y procesos comunes en el tratamiento de agua potable



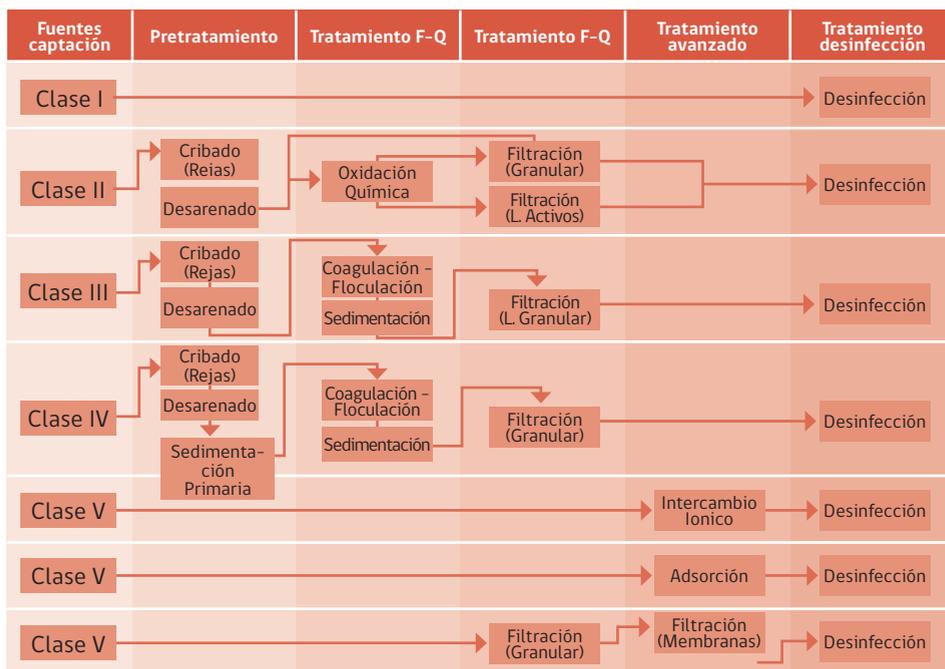
Las diferentes tecnologías existentes en el mercado consideran este tipo de operaciones o procesos en forma usualmente combinada siendo presentados bajo denominaciones comerciales a veces patentadas y con marcas registradas. Un análisis técnico de los principios y fundamentos de estas tecnologías permite identificar las operaciones o procesos unitarios referidos en el esquema.

Para abordar el tratamiento de agua potable en forma integral, haciendo uso de las tecnologías que se revisan más adelante, es preciso combinar las componentes unitarias del tratamiento, las cuales se ordenan secuencialmente para acondicionar las aguas y remover los contaminantes por etapas.

Se distinguen cuatro etapas en las configuraciones de los sistemas de tratamiento de agua potable, en función de la intensidad del grado de tratamiento: Pretratamiento, tratamiento físico químico convencional, tratamiento avanzado y al final tratamiento de desinfección.

El siguiente esquema muestra diversas configuraciones de sistemas de tratamiento, con las operaciones y procesos unitarios requeridos en función de las clases de fuentes de abastecimiento.

FIGURA N° 3
Configuraciones integradas de trenes de tratamiento de agua potable



Cuando se emplean fuentes superficiales para el abastecimiento de los sistemas, el primer nivel (pretratamiento) reúne operaciones físicas destinadas a la remoción de elementos flotantes, de material particulado discreto (arena) y de sólidos sedimentables.

El segundo nivel tiene como propósito transferir los contaminantes a la fase sólida mediante procesos físico-químicos como la oxidación y la coagulación - floculación, para luego separarlos de las aguas mediante operaciones físicas de sedimentación y filtración.

El tercer nivel corresponde a un nivel avanzado que está destinado a separar de las aguas contaminantes disueltos mediante procesos de intercambio iónico, filtración en lechos de adsorción y procesos de membranas como la ultrafiltración y osmosis inversa.

Finalmente, el último nivel corresponde a un tratamiento de carácter básico, aplicable en todos los casos y que consiste en la desinfección del agua para eliminar microorganismos, quedando esta etapa al final de todo el proceso para evitar interferencias o formación de subproductos en las fases previas y reducir los costos de este proceso en particular.

La eficiencia de las principales tecnologías aplicables en el sector, en la remoción de los diversos contaminantes presentes en las aguas crudas se muestra en la siguiente tabla:

TABLA N° 4
Eficiencia de tecnologías en remoción de contaminantes

Parámetros frecuentes de contaminación	Filtración directa	Filtración c/ oxidación y coagulación-floculación	Filtración lechos activos (Green-sand)	Intercambio iónico	Filtración lechos adsorción	Procesos membranas osmosis	Desinfección química c/ cloro
Turbiedad	óptima	óptima	pobre	regular	regular	óptima	pobre
Color verdadero	buena	óptima	buena	pobre	buena	-	pobre
pH	-	-	-	-	-	-	-
Amoniaco	pobre	buena	-	-	-	buena	regular
Hierro	buena	buena	óptima	-	-	óptima	-
Manganeso	buena	buena	óptima	-	-	óptima	-
Arsénico	regular	buena	buena	-	óptima	óptima	pobre
Nitratos	pobre	pobre	pobre	óptima	pobre	óptima	pobre
Boro	-	pobre	-	buena	-	regular	-
Cloruros	pobre	pobre	pobre	buena	pobre	óptima	pobre
Sulfatos	pobre	pobre	pobre	óptima	pobre	óptima	pobre
Sólidos disueltos totales	pobre	pobre	pobre	pobre	pobre	óptima	pobre
Coliformes totales	regular	buena	pobre	pobre	pobre	óptima	óptima
Escherichia coli	regular	buena	pobre	pobre	pobre	óptima	óptima

P= Pobre (0-20%)

R= Regular (20-60%)

B= Buena (60-90%)

O= Óptima (90-100%)

1.2.1 Selección técnica de tecnologías

Uno de los problemas que deben enfrentar los responsables de los planes y programas de inversión en infraestructura en el sector rural, lo constituye la selección de la tecnología apropiada para el tratamiento y producción de agua potable en cada caso específico, según las condiciones de calidad de las fuentes de abastecimiento disponibles.

La definición de la solución para adoptar las alternativas más convenientes es en primer término de carácter eminentemente técnico, luego de lo cual las alternativas técnicas viables de implementar son sujetas a una evaluación de orden económico. Las tecnologías en el tratamiento de agua potable son muy selectivas y específicas en función de los contaminantes presentes en las fuentes, de modo que en muchos casos no existen alternativas y si las hay, se da en pocos casos.

No obstante, lo que se debe enfrentar es la selección de una serie de ofertas técnicas con diferentes nombres comerciales o marcas patentadas, que no permiten identificar a veces una misma tecnología.

Es precisamente para este efecto y en apoyo a la toma de decisiones, que se describe a continuación una herramienta metodológica sencilla, que permita seleccionar la tecnología apropiada en cada caso, disponiendo como antecedentes de entrada, la información de calidad de las fuentes de captación que serán empleadas en cada proyecto.

Los resultados de ensayos practicados a las aguas de la fuente de captación, entregan información valiosa relativa al tipo de fuentes de abastecimiento, obras de captación y estado y naturaleza de los diversos contaminantes presentes en las aguas, la que puede ser utilizada para la selección de la tecnología de tratamiento más adecuada.

A continuación, se presenta un breve análisis del significado e implicancias de cada uno de estos factores, en dicho proceso de selección:

1.2.1.1 Tipo de fuentes de captación

El primer aspecto técnico relevante en la selección de las tecnologías de tratamiento está determinado por el tipo de fuente de captación que empleará el servicio de agua potable rural en su sistema de producción. El tipo de fuente determina en gran medida el estado en que se encuentran normalmente los contaminantes (sólidos suspendidos, coloidales o disueltos), y en función de esto la serie de operaciones y procesos que son eficientes en su remoción.

Habitualmente los contaminantes químicos y físicos se encuentran en las fuentes superficiales como materia en suspensión o coloidal mientras que en las aguas subterráneas se encuentran en la fase disuelta, tal como se analizó y detalló anteriormente.

Las fuentes deben ser clasificadas como superficiales o subterráneas, teniendo en consideración que existen dos o tres casos de fuentes que se definen como subterráneas pero cuyas obras de captación, captan finalmente aguas de origen superficial, como es el caso de drenes, punteras o norias.

La calidad del agua de estas fuentes es influenciada por los eventos de la superficie, siendo a veces necesario optar por tecnologías que están más orientadas al tratamiento de aguas superficiales.

1.2.1.2 Remoción de materias en suspensión

Cuando los contaminantes presentes en las aguas consisten en materias en suspensión que afectan las propiedades de la apariencia del agua (turbiedad y color), las tecnologías emplean operaciones y procesos de separación sólido líquido, como es el caso de la sedimentación y la filtración, ambos normalmente incorporados en los sistemas clasificados como convencionales.

1.2.1.3 Remoción de materias coloidales

Algunos contaminantes se encuentran combinados en dos estados, como sólidos suspendidos y coloidales, afectando la calidad física de las aguas y manifestándose en los parámetros turbiedad y color. En estos casos, las tecnologías involucran procesos para desestabilizar la materia coloidal (coagulación - floculación) y luego agruparla en sólidos de mayor tamaño que puedan ser separados mediante operaciones de sedimentación y/o filtración. Para estos efectos las tecnologías combinan e integran una serie de operaciones y procesos en trenes de tratamiento, lo que permite finalmente la separación de los contaminantes de las aguas en proceso.

1.2.1.4 Remoción de sustancias disueltas oxidables

Este factor es relevante debido al hecho de que algunos contaminantes que se encuentran en estado disuelto en las aguas, son susceptibles de ser oxidados mediante el uso de productos químicos y ser transferidos al estado coloidal, para ser luego removidos mediante las operaciones y procesos descritos anteriormente para esta condición.

Este es el caso de metales normalmente presentes en condiciones anaeróbicas en las aguas subterráneas, como el hierro y el manganeso. Es por ello que los análisis físico-químicos de caracterización de las fuentes deben discriminar si estos metales se encuentran disueltos o suspendidos. Habitualmente los ensayos se refieren por ejemplo a la presencia de hierro como hierro disuelto o hierro total y su diferencia matemática permite establecer si el metal está en forma disuelta.

1.2.1.5 Remoción de sustancias disueltas no oxidables

La presencia de contaminantes que están en la fase disuelta y no son oxidables en las fuentes de captación es determinante para desechar una serie de tecnologías que son ineficientes y escoger aquellas que pueden removerlos directamente desde ese estado. Es el caso de la presencia de nitratos, sulfatos y cloruros, cuya remoción no es factible por los procesos convencionales de tratamiento.

1.2.1.6 Eliminación de microorganismos patógenos

Debido a que los microorganismos de carácter patógeno se encuentran presentes en diferentes concentraciones en todas las fuentes de captación, sean estas superficiales o subterráneas y atendido el hecho que las tecnologías para el tratamiento del resto de los contaminantes físicos y químicos no son eficientes en la remoción de estos organismos al grado de alcanzar reducciones bacterianas que permitan cumplir los requisitos normativos en esta materia, las plantas de tratamiento de agua potable deben incluir siempre al final, una etapa de desinfección del agua tratada.

Lo anterior se hace extensivo aun a aquellos casos en los cuales no se detecte presencia de estos organismos (particularmente de pozos profundos), debido a las exigencias de mantener una concentración residual de desinfectante hasta el punto de consumo en el agua potable distribuida a la población.

Las tecnologías contemplan, para tal efecto, sistemas de dosificación para la cloración del agua tratada, mediante el empleo de soluciones de sales de cloro.

1.2.2 Matriz de decisión para la selección de tecnologías

Teniendo presentes los antecedentes discutidos en el punto anterior, se muestra en la siguiente figura un diagrama o árbol de decisión que permite guiar el proceso de selección de la tecnología de tratamiento.

Para este efecto se debe contar con los antecedentes principalmente relativos a la caracterización de cada fuente de captación. Lo ideal en este tipo de proyectos es contar con una serie de muestreos de las aguas de la fuente, recolectadas en diferentes fechas a lo largo de un año.

En los casos de fuentes superficiales se recomienda tomar muestras trimestrales por un año, una durante el invierno durante eventos de precipitaciones fuertes, otra en el verano durante las épocas de deshielo y las otras dos en los periodos intermedios (época de estiaje en pleno verano y entre el periodo de lluvias y deshielos) con el objeto de capturar la variabilidad estacional y sus efectos sobre la calidad de las aguas.

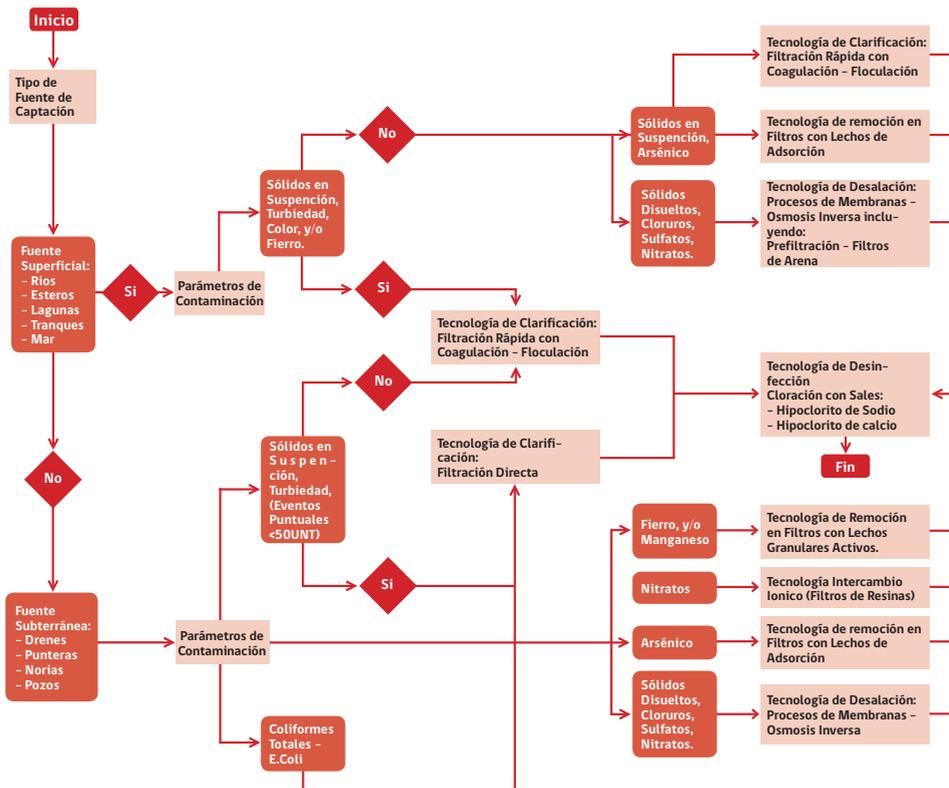
En cuanto a las fuentes subterráneas, presentan en general un comportamiento menos variable, por lo que se recomienda disponer de al menos dos muestras en un periodo anual, una primera en la época de estiaje, cuando la fuente subterránea presente sus niveles freáticos más bajos y la otra al término de la temporada de lluvias. También es de gran utilidad el disponer de los ensayos practicados durante las pruebas de gasto variable efectuadas durante la fase de construcción de los sondajes.

En dichas instancias deben recolectarse muestras bacteriológicas y físico químicas puntuales en envases y preservarlas conforme a lo establecido en Standard Methods Ed.22 AWWA-WEF-WPCF, a las que se debe efectuar los ensayos para determinar todos los parámetros tipo I, II, III, y IV establecidos por la norma Agua Potable Requisitos de Calidad NCh 409/1 of. 2005.

El análisis de toda esta información se efectúa comparando cada parámetro con los límites permitidos por la norma de agua potable, de modo de identificar los parámetros de contaminación de la fuente y calcular los valores máximos y promedios en términos de concentración o en las unidades propias de cada parámetro.

Para emplear el siguiente diagrama se debe considerar el tipo de fuente como parámetro de entrada y luego los parámetros de contaminación, a partir de lo cual se procede a seleccionar la tecnología apropiada para su remoción o eliminación:

FIGURA N° 4
Diagrama de decisión para la selección de tecnologías



Cabe señalar algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta al momento de emplear este diagrama

- Las tecnologías de clarificación pueden ser empleadas en ambos tipos de fuentes y se diferencian por las concentraciones de sólidos en suspensión presentes en las aguas, lo que se manifiesta normalmente en los niveles de turbiedad. La restricción de filtración directa para turbiedades <50 UNT puede ser superior en función de la granulometría utilizada en los lechos filtrantes.

- Respecto de otros contaminantes como fierro, manganeso, nitratos, arsénico, cloruros y sulfatos, las tecnologías son bastante específicas e independientes y normalmente aplican cuando no hay material en suspensión en las aguas, motivo por el cual se emplean preferentemente en aguas de fuentes subterráneas.
- Cuando una fuente presenta altos niveles de sólidos en suspensión o coloidales, con turbiedades importantes y además con presencia de contaminantes disueltos como arsénico, fierro, manganeso, nitratos, etc., se debe evaluar en primer término la eficiencia del proceso de clarificación que se utilizará para reducir los niveles de turbiedad, en la remoción de estos parámetros específicos y eventualmente combinar este proceso con los procesos particulares de cada parámetro.
- La tecnología de desinfección del agua puede utilizarse como proceso único solo en casos de fuentes subterráneas que no presenten parámetros físico-químicos de contaminación. Esta tecnología es común para todas las fuentes y debe ser siempre la última etapa en un tren de tratamiento.
- Todas las fuentes superficiales deben tener un proceso de filtración al menos de tipo directa, para asegurar la retención de los organismos parásitos que no son factibles de eliminar con la desinfección del agua.

1.3 Desarrollo de las tecnologías

1.3.1 Tecnologías tradicionales

Las tecnologías de tratamiento de agua potable introducidas en los servicios de agua potable rural, han estado durante los últimos 30 años orientadas principalmente a resolver los problemas de contaminación bacteriológica y física de las aguas de sus fuentes de captación.

Esta estrategia ha sido la que normalmente adoptan los países en vías de desarrollo cuando se invierte en infraestructura sanitaria en el sector rural, particularmente en lo relativo al abastecimiento de agua potable.

En efecto, los problemas sanitarios asociados a la calidad bacteriológica son los más relevantes debido a las consecuencias endémicas y epidemiológicas que afectan la salud de la población, cuando se consumen aguas con organismos de carácter patógeno, responsables de enfermedades infecciosas transmisibles.

Por su parte los esfuerzos en alcanzar una calidad física aceptable en el agua potable, reduciendo principalmente los niveles de turbiedad y color propios de aguas de origen superficial, son también relevantes para evitar el rechazo de la población al consumo de agua turbia fomentando la búsqueda de fuentes alternativas a fuentes de abastecimiento no seguras. Además, la turbidez y el color en las aguas interfieren técnicamente en el proceso de desinfección, requerido para controlar la calidad bacteriológica referida precedentemente.

La explotación cada vez mayor de fuentes de agua de tipo subterráneo en el país dejó en evidencia otro problema de contaminación química natural de las aguas, producto de las características geológicas de los suelos en diversas zonas de país, lo que llevó también a la necesidad de introducir tecnologías para la remoción de hierro y manganeso.

En este contexto, las tecnologías tradicionales de tratamiento de agua potable en el sector se encuentran precisamente relacionadas con los tipos de contaminación más frecuentes que históricamente se han presentado en las fuentes de abastecimiento empleadas para la producción de agua potable en el sector rural. La siguiente tabla resume las tecnologías apropiadas según el tipo de fuente de captación y el contaminante presente en las aguas crudas:

TABLA N° 5
Resumen de tecnologías tradicionales para el tratamiento de agua potable

Parámetro frecuente de contaminación	Tipo de fuentes frecuentemente comprometidas	Tecnología de tratamiento	Descripción
Coliformes totales - <i>Escherichia Coli</i> .	SUP - SUB	Desinfección química	Dosificación de cloro en solución antes de conducir el agua a los estanques de regulación, los cuales se emplean para proveer el tiempo de contacto necesario para el proceso.
Turbiedad (< 20 UNT)	SUP	Filtración directa	Filtración directa en medios granulares mixtos (arena-antracita).
Turbiedad (>20UNT) - Color	SUP	Filtración - Coagulación/ Floculación	Filtración en medios granulares mixtos (arena-antracita) con agregado de productos químicos coagulantes y floculantes. (Se incluye floco-decantación previa cuando turbiedades son muy altas).
Hierro - manganeso	SUB	Filtración en lechos activos	Filtración en medios granulares mixtos (antracita - green sand plus) con agregado de hipoclorito de sodio y/o permanganato de potasio.

Nivel de eficiencia de estas tecnologías es óptima (90%-100%)

1.3.2 Nuevas tecnologías presentes en el mercado

Durante la última década, los efectos del cambio climático sobre el régimen de recarga de los cauces y acuíferos, ha impactado la disponibilidad y calidad del recurso, tanto en fuentes superficiales como subterráneas. En el caso particular de las fuentes sub-

terráneas, la reducción de los flujos y niveles freáticos por causas de origen geológico o de carácter antropogénico, ha implicado un incremento gradual de las concentraciones de algunos contaminantes presentes en los suelos.

Los contaminantes que se están detectando en forma cada vez más frecuentes son de tipo químico y relacionados con la presencia de sales en las aguas crudas (sulfatos, cloruros), de compuestos aniónicos (nitratos) y de metales como el caso del arsénico, todos regulados por la norma de agua potable vigente en Chile.

Esto ha determinado la necesidad de disponer de tecnologías para el tratamiento del agua potable que permitan remover contaminantes no susceptibles de ser manejados con las tecnologías tradicionales referidas anteriormente.

Este tipo de tecnologías que lleva varios años en el mercado internacional ha entrado muy gradualmente en el país durante los últimos 20 años y particularmente para el caso del sector rural pueden ser calificadas en términos relativos como “nuevas tecnologías” que estarían disponibles y que son aplicables en este sector, cuyo detalle se presenta en la siguiente tabla.

TABLA N° 6
Nuevas tecnologías disponibles para tratamiento de agua potable en el sector rural

Parámetro frecuente de contaminación	Tipo de fuentes frecuentemente comprometidas	Tecnología de tratamiento	Descripción
Arsénico	SUP - SUB	Filtración en tanques de adsorción	Filtración en medios granulares adsorbentes no regenerables, con agregado eventual de ácido para establecer el pH eficiente para el proceso.
Nitratos	SUB	Intercambio iónico	Tratamiento en tanques con resinas regenerables de intercambio iónico.
Cloruros, sulfatos, sólidos disueltos totales	SUB	Tratamiento con procesos de membranas- Osmosis	Prefiltración en lechos granular o filtros de cartucho y tratamiento de osmosis reversa.

Nivel de eficiencia de estas tecnologías es óptima (90%-100%).

1.3.3 Soluciones innovadoras

La búsqueda de soluciones innovadoras en el tratamiento de agua potable se ha focalizado principalmente en encontrar aplicaciones en las categorías de población rural dispersa o eventualmente semiconcentrada.

La siguiente selección de tecnologías destacadas durante los últimos años a nivel mundial se ha efectuado en esta línea, correspondiendo todas a proyectos de innovación que se están aplicando en diversos lugares y que se basan en el uso de la energía solar, la compresión de vapor y el cambio de fases.

FIGURA N° 5
Resumen de soluciones innovadoras



Solarball: se trata de una esfera con un sencillo funcionamiento: se coloca en el agua que se quiera purificar y, una vez llena, la esfera absorbe la luz solar para separar la suciedad y los contaminantes del agua, obteniendo hasta 3 litros de agua limpia y potable al día. El proyecto, denominado Solarball fue finalista en la versión australiana del Concurso Internacional de Diseño James Dyson en 2011.



Slingshot Purificador de Agua: Utilizando un proceso llamado destilación por compresión de vapor, este sistema puede purificar más de 250.000 litros de agua al año, y puede hacerlo con cualquier fuente de agua: residuales, de mar, con residuos químicos, sin importar su grado de suciedad. El sistema solo necesita la energía suficiente para comenzar el primer hervor, poco más para alimentar el compresor y la bomba. Esa energía se suministra a través de un enchufe eléctrico o un panel solar; toda la posterior cocción y enfriamiento es retroalimentada.



Solvatten: (literalmente "agua solar") es un purificador que usa como fuente de energía la radiación UV del sol. Puede ser llenado hasta con 10 litros de agua y se puede obtener agua lista para el consumo después de unas 3 a 5 horas. Se llena de agua el bidón, el cual tiene un filtro para impedir el paso de impurezas de gran tamaño. Después se abre por la mitad como un libro para ponerlo directamente al sol. Las membranas dejan pasar los rayos ultravioletas que destruyen el ADN de las bacterias en el agua. El proceso de purificación dura entre 2 y 6 horas, dependiendo de la cantidad de sol a la que se exponga el bidón.



Plasma Water Sanitation System (PWSS), es un purificador de agua de bajo consumo, que es capaz de eliminar el 100% de gérmenes y bacterias del agua contaminada, ocupando solo 100 watts de energía para sanitizar 35 litros de agua en 5 minutos, y 10 mil litros al día a un costo de 0,05 centavos de dólar por litro. La eliminación de los microorganismos se realiza a través de la transformación de un flujo continuo de agua contaminada en plasma, viéndose afectados por fenómenos como el efecto térmico del plasma, la ionización, la electroporación irreversible y la ruptura del material genético.

De estos casos, el que resulta más atractivo por su principio de funcionamiento y su desarrollo técnico es el caso del plasma, iniciativa surgida en el país, que ha sido patentada y que cuenta con una serie de premios y reconocimientos de carácter internacional.

1.4 Análisis de tecnologías de agua potable

1.4.1 Experiencia nacional

Los años de ejecución continua del Programa de Agua Potable Rural del Ministerio de Obras Públicas (MOP) han permitido alcanzar una vasta experiencia nacional en el conocimiento, diseño, montaje y construcción de plantas de tecnología tradicional de tratamiento identificadas precedentemente.

La totalidad de los servicios de agua potable rural en operación en el país cuentan con el tratamiento de desinfección, mediante sistemas de dosificación de soluciones de sales de cloro como es el caso del hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio.

En cuanto a los servicios con fuentes de captación superficial, prácticamente la totalidad cuenta con plantas de filtración en presión con sistemas de dosificación de coagulantes para la clarificación de las aguas captadas. Para aquellos casos de pozos con presencia de hierro y manganeso se dispone de filtros con lechos activos y sistemas de dosificación de permanganato de potasio.

En el caso de las tecnologías denominadas nuevas en el mercado nacional, están destinadas a la remoción de arsénico, nitratos, sulfatos, cloruros y sólidos disueltos totales y han sido aplicadas recientemente en proyectos muy específicos, debiendo destacar que existe experiencia nacional por su implementación en sistemas de agua potable urbanos de tamaño medio y menor.

Estas tecnologías tienen proyección a los sistemas de agua potable rural, ya que solo requieren modificaciones del equipamiento modular utilizado a la escala de los caudales y volúmenes de operación en el agua potable rural. De hecho, existen en el país sistemas instalados en asentamientos a escala comparable con la de los sistemas rurales que se encuentran en operación.

La siguiente tabla muestra una comparación relativa de tres aspectos relacionados con la experiencia nacional para cada una de las tecnologías de tratamiento.

TABLA N° 7
Evaluación de experiencia nacional

Aspecto evaluado	Desinfección con sales de cloro	Clarificación filtración directa	Clarificación filtración c/ coagulación floculación	Remoción en lechos activos (hierro y manganeso)	Remoción por intercambio iónico (nitratos)	Remoción por lechos de adsorción (arsenico)	Desalación por membranas osmosis inversa
Experiencia nacional							
Tecnología establecida en el sector	5	5	5	5	2	2	2
Experiencia nacional en el diseño	5	5	5	5	3	3	3
Experiencia en montaje y construcción	5	5	5	5	4	4	3
Calificación promedio	5,0	5,0	5,0	5,0	3,0	3,0	2,7

1= Tecnología cumple en forma deficiente con el aspecto calificado

2= Tecnología cumple en forma regularmente adecuada con el aspecto calificado

3= Tecnología cumple en forma adecuada con el aspecto calificado

4= Tecnología cumple en forma muy aceptable con el aspecto calificado

5= Tecnología cumple en forma excelente con el aspecto calificado

Como se puede observar en las primeras cuatro tecnologías, denominadas tradicionales, se obtiene un puntaje promedio de 5, calificación que corresponde al caso de tecnologías que satisfacen plenamente el requisito evaluado, vale decir, están establecidas en el sector rural con plantas construidas y en operación, existiendo mucha experiencia en el diseño, construcción y montaje de estas plantas a nivel nacional.

Las denominadas “nuevas tecnologías” califican con un promedio en torno a 3, vale decir, la experiencia en el diseño, construcción y montaje de estas plantas, y su colocación en el mercado nacional, puede ser calificada como adecuada aunque no existe un número comparable de sistemas operativos como en el caso anterior.

1.4.2 Limitantes y restricciones

La guía de tecnologías y proveedores de servicios para el tratamiento de agua potable incluyó un análisis de las limitantes y restricciones, las que se presentan resumidamente en la siguiente tabla.

TABLA N° 8
Limitantes y restricciones de las tecnologías de tratamiento⁴

Ventajas	Desventajas
Clarificación filtración directa	
Tecnología establecida en el sector y con vasta experiencia nacional en el diseño; No intensiva en obras civiles y con experiencia nacional en montaje de equipamiento	Plantas restringidas a bajos contenidos de sólidos en suspensión, con turbiedades menores a 30 UNT.
Tienen buena tolerancia a las variaciones de flujo, si se mantienen dentro de las tasas de diseño y no requieren modificaciones importantes en las tasas de dosificación de productos químicos, cuando estos se aplican.	Cuando no se operan dentro de las condiciones técnicas de diseño, se comprometen los lechos granulares que finalmente se deben cambiar.
Tecnología con una facilidad de operación aceptable, que puede estar a cargo de personal sin perfil técnico, siempre que se tenga claramente establecidos los procedimientos y restricciones de operación. No requiere de presencia permanente del personal.	
Clarificación filtración c/ coagulación floculación	
Tecnología establecida en el sector y con vasta experiencia nacional en el diseño; No intensiva en obras civiles y con experiencia nacional en montaje de equipamiento	Es una tecnología que tiene una complejidad mayor en su operación, ya que su eficiencia depende de modificaciones permanentes en las condiciones de operación frente a cambios en la calidad del agua de entrada.
Tienen tolerancia a las variaciones de flujo, siempre que se mantengan las condiciones de diseño	La puesta en marcha requiere de pruebas de simulación previas para establecer las dosificaciones de productos químicos.
Buena remoción de sólidos en suspensión, turbiedad y color (80-100%)	Requiere de personal con conocimiento técnico y presencia permanente para la definición y control de las dosis y tasas de aplicación en función de la variabilidad en la entrada.
Remoción por filtración en lechos activos (hierro y manganeso)	
Tecnología establecida en el sector rural, que cuenta con amplia experiencia nacional en el diseño y construcción de plantas	Es una tecnología que tienen una complejidad mayor en su operación, ya que su eficiencia depende de las modificaciones en las condiciones de operación, frente a los cambios en la calidad del agua de entrada.

4 Tabla comparativa desarrollada por la oficina de consultoría en función de la experiencia nacional.

Ventajas	Desventajas
Tiene una alta eficiencia en la remoción de hierro y manganeso, con índices de remoción entre un 80-100%	Requiere de personal con un perfil técnico intermedio y presencia de al menos media jornada para la definición y el control de las dosis de productos químicos, en función de las variabilidades de la calidad de las aguas de entrada.
Capacidad para remover concentraciones de hierro y manganeso propias de aguas subterráneas. En caso de valores extremadamente altos se puede incorporar un flodecantador en línea.	Su recuperación en emergencias operacionales es relativamente lenta, particularmente cuando se produce el agotamiento del lecho.

Remoción por intercambio iónico (nitratos)

Es una tecnología con flexibilidad operacional ya que su eficiencia no se ve afectada con variaciones de caudal o de la calidad de entrada, en la medida que los ciclos de operación y regeneración de la resina se cumplan efectivamente.	Tecnología relativamente nueva, no establecida en el sector rural, que cuenta con menor experiencia nacional en el diseño y construcción de plantas.
Tecnología con facilidad adecuada en la operación, ya que no se requiere el uso de productos químicos durante la operación y solo operaciones batch de regeneración.	Si la planta no es diseñada para el 100% del caudal, el balance mediante mezcla de agua tratada y no tratada es de cuidado, particularmente si las concentraciones de diseño del contaminante no cubren las variaciones de la fuente.
Capacidad para eliminar concentraciones propias de fuentes subterráneas o superficiales. Volumen de resinas y número de filtros se diseña en función de la concentración del parámetro a remover.	Requiere de personal con un perfil técnico medio y con presencia para la operación de al menos media jornada diaria.

Remoción por lechos de adsorción (arsénico)

Tecnología con buena eficiencia de remoción de arsénico, entre 80-100%.	Tecnología relativamente nueva, no establecida en el sector rural y que cuenta con menor experiencia en el diseño y construcción de plantas.
Es una tecnología flexible, ya que acepta variaciones de caudal y de calidad en la entrada, sin requerir modificaciones relevantes en su operación. Número de filtros y volumen de resina se definen en función de concentraciones del parámetro a remover en el proceso.	Si la planta no es diseñada para el 100% del caudal, el balance mediante mezcla de agua tratada y no tratada es de cuidado, particularmente si las concentraciones del contaminante del diseño no cubren las variaciones de la fuente.

Ventajas	Desventajas
	Puede requerir un control operacional mayor en el caso que sea necesaria la corrección de pH, mediante la dosificación y control de pH.
	Puede ser operada por personal con perfil técnico medio y eventualmente con presencia de media jornada.

Procesos de membranas - osmosis inversa	
Tecnología altamente automatizada, que en general requiere más de una supervisión que de una intervención manual del operador.	Tecnología relativamente nueva, no establecida en el sector rural, que cuenta con menor experiencia nacional en el diseño y construcción de plantas.
Es un proceso que no requiere de la dosificación de productos químicos para la remoción de los contaminantes de entrada.	Es una tecnología intensiva en el consumo de energía y en la producción de RILES.
El proceso tiene excelentes índices de remoción para los contaminantes específicos: sulfatos (99%), cloruros (94-96%), nitratos (93-96%), sodio (92-96%), arsénico (94-96%), etc.	La planta requiere de un control estricto del proceso, para prever condiciones que pudieran afectar el equipamiento de procesos y por lo tanto requiere de un perfil técnico mayor. Tiene mucho equipamiento y es más intensiva en mantenimiento.
	La recuperación en casos de emergencia, puede ser lenta si hay daños del sistema de membranas.

Adicionalmente se evaluaron y calificaron diversos aspectos relacionados con su flexibilidad operacional y facilidad de operación, cuyos resultados se pueden resumir en la siguiente tabla:

TABLA N° 9
Evaluación operacional de tecnologías de tratamiento⁵

Aspecto evaluado	Desinfección con sales de cloro	Clarificación filtración directa	Clarificación filtración c/ coagulación floculación	Remoción en lechos activos (hierro y manganeso)	Remoción por intercambio iónico (nitratos)	Remoción por lechos de adsorción (arsénico)	Desalación por membranas osmosis inversa
Flexibilidad operacional							
Tolerancia a variaciones flujo	4	3	3	3	4	4	2
Resiliencia a variaciones del agua cruda	4	3	3	3	4	4	4
Eficacia de remoción	5	5	5	5	4	4	5
Puesta en marcha	5	5	2	3	4	4	4
Mantenimiento	4	4	4	3	3	3	2
Calificación promedio	4,4	4,0	3,4	3,4	3,8	3,8	3,4
Facilidad de operación							
Confiabilidad o robustez del proceso	4	4	4	4	4	4	4
Baja complejidad de operación	5	4	2	2	4	3	2
Recuperación por emergencias operacionales	5	4	3	2	3	3	2
Manejo por personal sin perfil técnico	5	3	1	1	3	3	1
Requerimientos de personal	5	5	1	3	3	3	2
Disponibilidad de insumos y repuestos	5	4	4	4	4	4	3
Calificación promedio	4,8	4,0	2,5	2,7	3,5	3,3	2,3
Valorización final tecnología	4,6	4,0	3,0	3,0	3,7	3,6	2,9

1= Tecnología cumple con el aspecto en forma deficiente

2= Tecnología cumple con el aspecto en forma regularmente adecuada

3= Tecnología cumple con el aspecto en forma adecuada

4= Tecnología cumple con el aspecto en forma muy aceptable

5= Tecnología cumple con el aspecto en forma excelente

1.4.3 Propuesta de proyectos piloto

A la luz de la revisión y análisis de la serie de tecnologías aplicables en agua potable y teniendo en consideración el hecho que la brecha en términos de provisión de agua potable se encontraría fundamentalmente en las categorías de población semiconcentrada y dispersa, se visualiza la necesidad de implementar un proyecto piloto destinado a dar soluciones en dichas categorías.

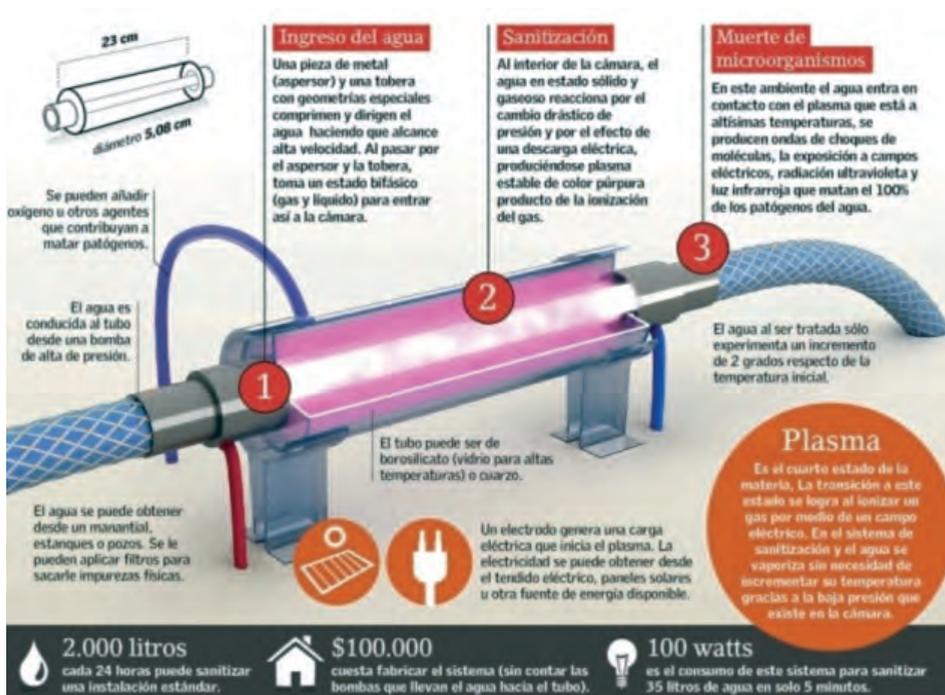
⁵ Tabla comparativa relativa elaborada por la oficina consultora en función de la experiencia nacional.

Desde ese punto de vista, la tecnología más innovadora en la materia corresponde precisamente a la tecnología del plasma desarrollada en Chile y que ha tenido reconocimiento mundial.

El Plasma Water Sanitation System (PWSS) es una innovación desarrollada por el Centro de Innovación Avanzado de Chile (AIC) y consiste en un purificador de agua de bajo consumo, que es capaz de eliminar gérmenes y bacterias del agua contaminada, ocupando solo 100 watts de energía para sanitizar 35 litros de agua en 5 minutos.

El sistema utiliza una descarga controlada de plasma no térmico de bajo consumo, logrando un sistema eficiente que si funciona de forma continua, podría sanitizar más de 10 metros cúbicos de agua al día a un costo de 0,05 centavos de dólar por litro con un costo de inversión asociado del orden de US\$ 200.

FIGURA N° 6
Sistema de sanitización de agua mediante plasma



Fuente: Plasma water sanitation system (pluss) página internet.

Su implementación en el país se lleva a cabo en conjunto con la Fundación Avina y el apoyo del Ministerio de Desarrollo Social a través de su fondo "Línea de Superación de la Pobreza de la División de Cooperación Público-Privada", de modo que la gestión para llevar a cabo un proyecto piloto para el sector rural podría ejecutarse desde el mismo sector público con financiamiento del Estado.

1.5 Consideraciones para la evaluación de tecnologías

1.5.1 Campos de aplicación

Las tecnologías de tratamiento que serán evaluadas económicamente han sido determinadas producto de un proceso de análisis y selección técnica de alternativas para la potabilización del agua y aplican a las condiciones de calidad que presentan habitualmente las fuentes de abastecimiento empleadas en el país para captar aguas crudas o naturales para la producción de agua potable.

Las premisas básicas consideradas en la selección de estas soluciones técnicas han contemplado la provisión de un servicio normalizado en términos de continuidad del abastecimiento y calidad del agua producida.

Estas tecnologías permiten, por lo tanto, dar cumplimiento a la norma de carácter nacional que establece los requisitos microbiológicos y de turbiedad, químicos, organolépticos y de desinfección que debe cumplir el agua potable, cuya fiscalización en el sector rural compete a los Servicios de Salud, en base a su Reglamento de los Servicios de Agua Potable Destinados al Consumo Humano, que fuera oficializado mediante el Decreto N°735/1969 Ministerio de Salud, modificado el año 2006 para actualizar algunos requisitos conforme a las Guías para la Calidad del Agua Potable Vol.1/1995 de la Organización Mundial de la Salud y a la Norma Chilena NCh409/1 of. 2005.

Como se indicara en los antecedentes generales, la fuente de captación constituye uno de los factores más determinantes de un sistema de tratamiento de agua potable, por lo que la presente evaluación es aplicable a sistemas que emplean fuentes de tipo superficial y subterránea.

En el caso de las captaciones superficiales, las soluciones evaluadas son aplicables a fuentes específicas como ríos, esteros, canales, lagos o lagunas que emplean habitualmente tomas laterales con muros de represamiento y cámaras de captación o tomas en profundidad sumergidas directamente en los cuerpos de agua.

Desde el punto de vista de la calidad, las soluciones técnicas que serán evaluadas están dirigidas a la remoción de contaminantes naturales o de carácter antropogénico presentes en este tipo de fuentes que por su naturaleza están influenciadas particularmente por las condiciones climáticas y el contacto del agua de escorrentía con los diversos materiales y residuos de la vida animal y la vegetación del suelo.

También se consideran aquellos contaminantes derivados de la actividad antropogénica y sus desechos provenientes de los centros urbanos o rurales concentrados que pueden comprometer la calidad de las aguas naturales de forma directa o indirecta. Adicionalmente, las soluciones cubren las consecuencias del régimen climático y su cambio actual que es incidente en el patrón de variabilidad de carácter estacional en la calidad de estas fuentes en el país.

La evaluación incluye también a aquellas soluciones que son aplicables mayoritariamente a la operación con captaciones subterráneas que permiten extraer aguas a distintas profundidades y de diversos acuíferos, normalmente con sistemas de elevación y que consisten en drenes, punteras, norias o pozos profundos.

Desde el punto de vista de su calidad, las fuentes de tipo subterráneo están más protegidas de los eventos atmosféricos o climáticos y de las actividades humanas con la particularidad ya señalada de los casos de obras como drenes y punteras que están afectas a una influencia intermedia en este sentido.

Sin embargo, no se pueden descartar los efectos de la eventual infiltración de contaminantes provenientes de vertederos o de la explotación ganadera y agrícola. La contaminación por infiltración cobra una importancia particular también en la zona rural en donde no existen soluciones de saneamiento integral, lo que obliga al uso de pozos negros, o donde no existen sitios de disposición sanitaria de las basuras.

En general, el factor más importante que determina la calidad de las aguas subterráneas corresponde a los procesos de mineralización natural de las aguas debido a las características geológicas de los suelos y la disolución de minerales en las diferentes zonas de los acuíferos.

En las zonas costeras existe además una marcada influencia del mar sobre las fuentes subterráneas, provocándose fenómenos de intrusión salina en los acuíferos.

Desde el punto de vista de las capacidades de las plantas o soluciones adoptadas para el tratamiento del agua potable, se contemplan las categorías y rangos de población del sector rural establecidas en un estudio proporcionado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo que se basó en información del Departamento de Programas Sanitarios de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y del Instituto Nacional de Estadísticas.

En este sentido la evaluación será aplicable a las soluciones definidas para las condiciones de población rural concentrada, población semiconcentrada y población dispersa.

La siguiente tabla presenta un resumen de las tecnologías de tratamiento y su campo de aplicación específico:

TABLA N° 10
Resumen campo de aplicación de tecnologías de tratamiento A.P.

Tecnología	Tipo de fuentes de captación	Población rural concentrada	Población rural semi-concentrada	Población rural dispersa	Parametros contaminantes de la fuente de captación
Desinfección química (cloración)	Sup - Sub	✓	✓	✓	Coliformes totales; E.Coli
Filtración directa	Sub	✓	✓	✓	Turbiedad < 20UNT
Filtración con oxidación - coagulación-floculación	Sup	✓	✓	-	Turbiedad >20UNT, hierro, manganeso
Filtración en lechos activos	Sub	✓	✓	✓	Hierro, manganeso
Intercambio iónico	Sub	✓	✓	✓	Nitratos, sulfatos.
Filtración en lechos de adsorción	Sub	✓	✓	✓	Arsénico
Procesos de membranas -ósmosis	Sub	✓	-	-	Sales disueltas, cloruros

Sup: Fuente superficial

Sub: Fuente subterránea

En el caso de las soluciones definidas para la categoría de población rural dispersa, estas obedecen a plantas de baja capacidad que emplean la tecnología de los casos de plantas para población rural concentrada, mientras que en el caso de las soluciones individuales, corresponden a sistemas que han sido desarrollados para ser instalados en puntos de entrada o de uso al interior de las viviendas, que están basados en los mismos principios de las tecnologías referidas.

1.5.2 Criterios generales para la evaluación

1.5.2.1 Bases de cálculo generales

Para los efectos de diseño de los sistemas de tratamiento de agua potable, se han considerado referencialmente las siguientes bases de cálculo generales.

- **Dotación media de consumo** 150 l/hab/día
- **Densidad habitacional** 4 habitantes/vivienda
- **Tasa de crecimiento de la población** Vegetativa (2% anual)

En lo referido a la dotación media y la densidad habitacional los valores adoptados corresponden a los señalados en el numeral 2.3.2.1 que se detalla más adelante, debien-

do destacar que los valores adoptados para las tres variables señaladas, se encuentran dentro de los rangos propuestos en el proyecto de revisión 2013 de la norma de diseño de proyectos de agua potable rural APR SENDOS-1984.

En cuanto a la tasa de crecimiento anual de la población, y a objeto de generar una base comparativa común entre las diversas tecnologías de tratamiento, se ha considerado referencialmente un valor conservador del 2% como tasa de crecimiento de la población en el sector rural. Donde se cuente con información estadística adecuada para obtener una densidad y/o tasa real de crecimiento o donde se considere que la tasa vegetativa no sería representativa del crecimiento de la población, deberá efectuarse un estudio específico que permita obtener un crecimiento adecuado a la realidad para su adopción.

Finalmente, para los efectos de proyección de crecimiento de la población en localidades balneario, se deberá considerar anualmente como base la población permanente de la localidad a lo largo del año, y añadir la población flotante en período estival, destacando que el sistema de tratamiento debe tener la capacidad y configuración que permita dar cuenta de los requerimientos de calidad en cualquier día del año.

1.5.2.2 Tamaño de las soluciones de tratamiento de agua potable

El tamaño de las soluciones técnicas para el tratamiento de agua potable a evaluar estará determinado por la cantidad de viviendas y la población asociada, definiéndose tres categorías de población rural, correspondientes a concentrada, semiconcentrada y dispersa.

En el caso de la población rural concentrada las soluciones serán evaluadas para diferentes niveles de población: 100, 250, 500, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500, 3.000 y 3.500 habitantes. En cuanto a la población rural semiconcentrada, se contemplará un tamaño medio de 10 viviendas que correspondería a una población de 40 habitantes y en lo que se refiere a soluciones individuales una (1) vivienda.

1.5.2.3 Proyección de la población

En el análisis de la población rural efectuado en el "Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales" (2008), se propone adoptar un índice conservador de 4 habitantes/vivienda para el cálculo de la población beneficiada y una tasa de crecimiento del 2% anual, para los efectos de la proyección de la población futura para las diferentes categorías de población rural, definidas precedentemente.

La siguiente tabla presenta la proyección de población en las diferentes categorías, en un periodo de previsión de 20 años⁶, conforme a lo establecido por el año de previsión de los proyectos respectivos.

6 Metodología formulación y evaluación de proyectos de evacuación, tratamiento y disposición de aguas servidas sector rural MDS-2015.

TABLA N° 11
Proyección de población en el periodo de previsión

Periodo de previsión	Población rural dispersa	Población rural semi-dispersa	Población rural concentrada								
			Nº habitantes	Nº habitantes	Nº habitantes	Nº habitantes	Nº habitantes	Nº habitantes	Nº habitantes	Nº habitantes	Nº habitantes
0	4	40	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
1	-	41	102	255	510	1020	1530	2040	2550	3060	3570
2	-	42	104	260	520	1040	1561	2081	2601	3121	3641
3	-	42	106	265	531	1061	1592	2122	2653	3184	3714
4	-	43	108	271	541	1082	1624	2165	2706	3247	3789
5	-	44	110	276	552	1104	1656	2208	2760	3312	3864
6	-	45	113	282	563	1126	1689	2252	2815	3378	3942
7	-	46	115	287	574	1149	1723	2297	2872	3446	4020
8	-	47	117	293	586	1172	1757	2343	2929	3515	4101
9	-	48	120	299	598	1195	1793	2390	2988	3585	4183
10	-	49	122	305	609	1219	1828	2438	3047	3657	4266
11	-	50	124	311	622	1243	1865	2487	3108	3730	4352
12	-	51	127	317	634	1268	1902	2536	3171	3805	4439
13	-	52	129	323	647	1294	1940	2587	3234	3881	4528
14	-	53	132	330	660	1319	1979	2639	3299	3958	4618
15	-	54	135	336	673	1346	2019	2692	3365	4038	4711
16	-	55	137	343	686	1373	2059	2746	3432	4118	4805
17	-	56	140	350	700	1400	2100	2800	3501	4201	4901
18	-	57	143	357	714	1428	2142	2856	3571	4285	4999
19	-	58	146	364	728	1457	2185	2914	3642	4370	5099
20	-	59	149	371	743	1486	2229	2972	3715	4458	5201

Tasa vegetativa de crecimiento anual del 2,0%.

1.5.2.4 Caudales de diseño

Los requerimientos de agua potable para satisfacer la demanda en los diferentes niveles de la población rural, estimados como caudal medio, máximo diario y caudal de diseño adoptado para el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento, obedecen al detalle que se presenta en la siguiente tabla.

TABLA N° 12
Proyección de caudales

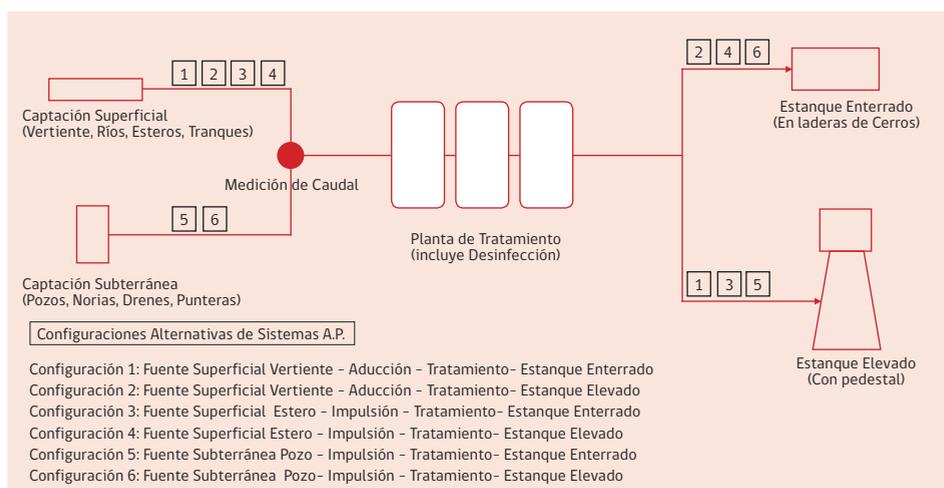
Caudales de diseño	Unidad	Población rural dispersa	Población rural semi-dispersa	Población rural concentrada								
				100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Población Inicial	Habitantes	4	40	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Q medio	l/s	0,10	0,10	0,26	0,64	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03
Q máximo diario	l/s	0,15	0,15	0,39	0,97	1,93	3,87	5,80	7,74	9,67	11,61	13,54
Caudales de diseño	m³/h	0,56	0,56	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76

Dotación: Población rural 150l/hab/día.
Q máximo diario : 1,5 Q medio

1.5.2.5 Alcances de la evaluación en el sistema de agua potable

Todo sistema de agua potable, en el sector rural, está constituido por tres componentes principales: Obras de captación y conducción, planta de tratamiento y estanques de regulación y sistema de distribución, como se puede apreciar en la siguiente figura.

FIGURA N° 7
Esquema de sistema de agua potable en el sector rural



Con el propósito de lograr una efectiva comparación de tecnologías de tratamiento y de separar de sus resultados la incidencia de costos derivados de la diversa combinación de escenarios locales existentes (entre el tipo y localización de fuentes y obras de captación y el tipo y localización de los estanques de regulación), la evaluación económica comprenderá las inversiones en activos y los costos de la fase operacional asociados estrictamente a la etapa central del tratamiento.

1.6 Antecedentes de diseño de plantas de tratamiento

Se describen a continuación los sistemas definidos en función de cada tecnología y de la población abastecida, junto a las bases de cálculo consideradas para el diseño.

Cabe señalar que para los efectos de hacer comparativas las tecnologías y los diferentes tamaños de plantas, se han considerado condiciones medias respecto de las variables de calidad en la entrada, mientras que en la salida se han considerado los requisitos de calidad establecidos por la norma de agua potable vigente en el país.

Para los efectos de presentación, se ha considerado una breve descripción de cada tecnología junto a un esquema de las instalaciones tipo, un resumen de las bases de cálculo y criterios técnicos del diseño.

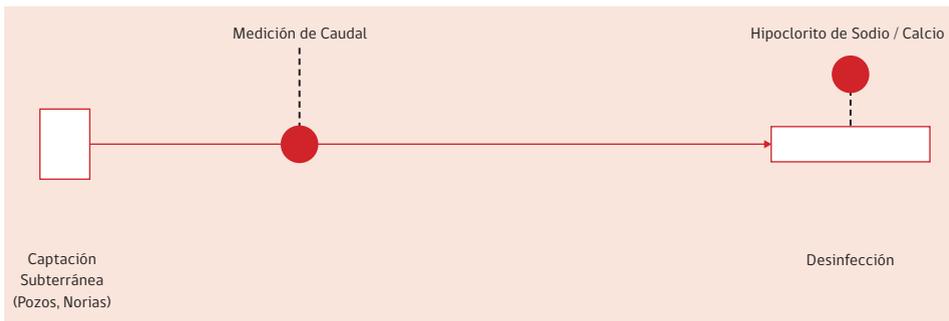
1.6.1 Planta de tratamiento con tecnología de desinfección

1.6.1.1 Descripción de la planta tipo

El tratamiento más básico para la potabilización del agua es la desinfección que tiene como propósito eliminar microorganismos de origen intestinal que son causantes de enfermedades infecciosas. Por esta razón, este tipo de tratamiento es aplicable en todas las plantas al final de todos los procesos y previo al almacenamiento del agua tratada en los estanques de regulación y distribución de agua potable.

Existe un amplio número de casos en que, debido a la buena calidad física y química de las aguas de la fuente, normalmente de origen subterráneo, solo se requiere de este tipo de tratamiento para potabilizar las aguas, de modo que las plantas de tratamiento solo contemplan dicho proceso.

FIGURA N° 8
Esquema planta de tratamiento tipo con tecnología de desinfección



El sistema de tratamiento cuenta con una bomba sumergible que permite elevar las aguas desde la fuente a la planta, la que puede operar con temperaturas de trabajo de

hasta 40 °C, aguas con un contenido de arena máximo de 150 g/m³, con interruptor de nivel externo tipo flotador para protección del equipo, construido en acero inoxidable AISI 304, doble sello mecánico, aislamiento clase F protección IP68 y caudal variable conforme los requerimientos.

En la línea dispone de un sistema de medición de caudal electromagnético con visualización local, de construcción AISI 304 en el tubo de medición y ASTM A 105 con revestimiento de Epoxi de dos componentes resistentes a la corrosión y amplio rango de temperaturas de trabajo, DN65, protección IP67.

El sistema de tratamiento en este caso contempla la dosificación de hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio para la desinfección del agua y está constituido por dos bombas de diafragma simple, con pistón de accionamiento eléctrico, automáticas, con estanque IBC para las soluciones del producto químico y cuenta con un sistema de sensor de cloro libre que controla la dosificación, con interruptor de nivel en bajo en estanque producto, del tipo wall-mounted, con pretil antirrebalse.

1.6.1.2 Bases de cálculo

Las bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definida para los diferentes niveles de población en estudio pueden resumirse del siguiente modo.

TABLA N° 13
Bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definida con tecnología de desinfección

Bases de cálculo										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Dotación	l/hab-día	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Caudal	l/s	0,26	0,64	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03
Caudal máximo diario	l/s	0,39	0,97	1,93	3,87	5,80	7,74	9,67	11,61	13,54
Caudal de diseño	m ³ /h	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
Calidad agua de entrada										
Demanda de cloro	g/m ³	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Calidad agua tratada										
Cloro libre residual	mg/l	0,20-1,00	0,20-1,00	0,20-1,00	0,20-1,00	0,20-1,00	0,20-1,00	0,20-1,00	0,20-1,00	0,20-1,00

Con el objeto de definir una condición estándar que permita evaluar comparativamente los costos para los diferentes niveles de población, se ha adoptado una dosificación de cloro en las aguas crudas de 1 gCloro/m³ (1 mg/l), valor que representa y cubre prácticamente la totalidad de los casos que emplean este tipo de fuentes para dicho proceso. Para la condición de calidad final del agua potable se ha considerado el rango establecido por la norma chilena⁷ como requisito para el proceso de desinfección.

1.6.1.3 Criterios de diseño

En la siguiente tabla se presentan datos técnicos del diseño efectuado para las diferentes poblaciones en función de las bases de cálculo recientemente detalladas. Se ha considerado equipamiento con una línea de respaldo y con la capacidad suficiente para el tratamiento de los caudales proyectados, empleando hipoclorito de sodio como producto desinfectante.

TABLA N° 14
Datos técnicos de diseño tecnología de desinfección

Datos técnicos de diseño										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Bombas dosificadoras	N°	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Caudal mínimo/dosificador	l/h	0,1	0,1	0,5	1	1	1	1	1	1
Caudal promedio/dosificador	l/h	0,5	0,5	2,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Caudal máximo/dosificador	l/h	1,0	1,0	5,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

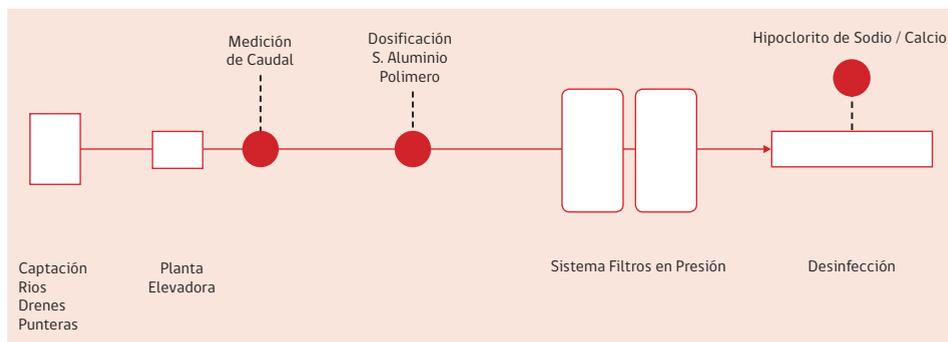
1.6.2 Planta de tratamiento con tecnología de filtración directa

1.6.2.1 Descripción de la planta tipo

Esta tecnología es aplicable para la remoción de bajos contenidos de sólidos en suspensión en aguas superficiales o aguas de fuentes captadas mediante sistemas de drenes o punteras, que habitualmente presentan turbiedades que no exceden 30 UNT y que eventualmente durante el año pueden presentar eventos de hasta 100 UNT.

⁷ Agua Potable Requisitos Parte 1 INN - Nch409/1 of. 2005.

FIGURA N° 9
Esquema planta de tratamiento tipo con tecnología filtración directa



El sistema de tratamiento cuenta con una bomba centrífuga, que permite elevar las aguas de la fuente a la planta, la que puede operar con temperaturas de trabajo de hasta 40 °C, aguas con un contenido de arena máximo de 150 g/m³, con interruptor de nivel externo tipo flotador para protección del equipo, construido en acero inoxidable AISI 304, doble sello mecánico, aislamiento clase F protección IP68, y Q variable de acuerdo a cada caso.

En la línea dispone de un sistema de medición de caudal electromagnético con visualización local, de construcción AISI 304 en el tubo de medición y ASTM A 105 con revestimiento de epoxi de dos componentes resistentes a la corrosión y amplio rango de temperaturas de trabajo, DN65, protección IP67.

El sistema de dosificación de productos coagulantes-floculantes, que se utiliza eventualmente, se compone de sus estanques de producto y equipos dosificadores de membrana simple, de accionamiento automático por pulso.

El tratamiento de clarificación se realiza en unidades de filtración en presión, con lecho mixto arena-antracita para generar pulimiento final y entregar aguas con turbiedades máximas de 2 UNT en el agua tratada; este equipo es automático de FRP con cabezal automático.

El sistema de retrolavado de filtros, consta de bombas centrífugas, construidas en AISI 304 para resistencia a la corrosión, con estanque de agua tratada para evitar el agotamiento del lecho producto de lavados con agua cruda, compuesto de un estanque cilíndrico vertical de fondo plano, autosoportado, de FRP, con sensor de nivel ultrasónico y peras de nivel enclavadas a las bombas para protección por bajo nivel.

Finalmente, el sistema de dosificación de hipoclorito de sodio para la desinfección del agua, está constituido por dos bombas de diafragma simple, con pistón de accionamiento eléctrico, automáticas, con estanque IBC de producto, y cuenta con un sistema de sensor de cloro libre que controla la dosificación, con interruptor de nivel en bajo en estanque producto, del tipo wall-mounted, con pretil antirrebalse.

1.6.2.2 Bases de cálculo

Las bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definida para los diferentes niveles de población en estudio obedecen al siguiente detalle:

TABLA N° 15
Bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definida con tecnología de filtración directa

Bases de cálculo										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Dotación	l/hab-día	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Caudal	l/s	0,26	0,64	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03
Caudal máximo diario	l/s	0,39	0,97	1,93	3,87	5,80	7,74	9,67	11,61	13,54
Caudal de diseño 1	m ³ /h	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
Tiempo de operación	%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Calidad agua de entrada										
Turbiedad	UNT	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Calidad agua tratada										
Turbiedad	UNT	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2

¹ Caudal de diseño corresponde al caudal máximo diario del año 20 (Q promedio año 20 x 1,5)

En este caso se ha establecido como condición estándar de entrada una turbiedad máxima de 100 UNT, la que representa un contenido de sólidos en suspensión susceptibles de ser removidos por este proceso y para los efectos de la calidad de salida del agua tratada un contenido de turbiedad no mayor a 2 UNT, conforme a lo establecido por la normativa vigente.

1.6.2.3 Datos técnicos de diseño

En la siguiente tabla se presentan los datos técnicos del diseño efectuado para las diferentes poblaciones en función de las bases de cálculo recientemente detalladas. Se ha considerado un número variable de unidades de filtración, con áreas crecientes para disponer de la capacidad suficiente para el tratamiento de los diferentes caudales proyectados.

TABLA N° 16
Datos técnicos de diseño tecnología de filtración directa

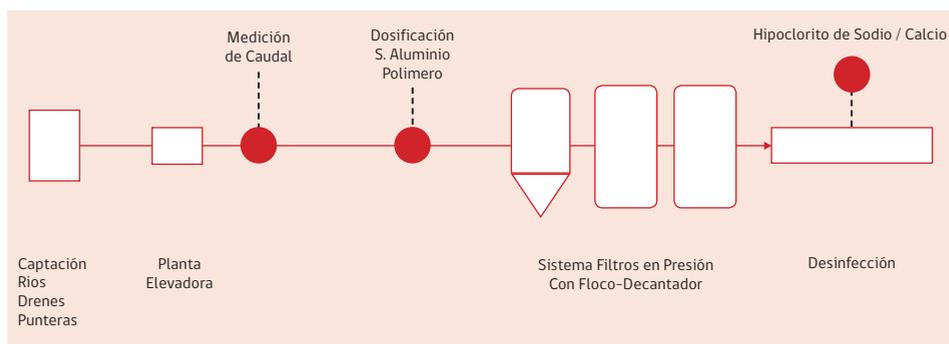
Datos técnicos de diseño										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Filtro en presión	N°	1	2	2	1	2	2	3	3	4
Tasa mínima de servicio	m/h	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tasa máxima de servicio	m/h	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Tasa de retrolavado	m/h	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Área	m ²	0,223	0,223	0,223	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167
Caudal mínimo de servicio	m ³ /h	1,12	1,12	1,12	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84
Caudal promedio de servicio	m ³ /h	2,56	2,56	2,56	13,42	13,42	13,42	13,42	13,42	13,42
Caudal máximo de servicio	m ³ /h	4,01	4,01	4,01	21,01	21,01	21,01	21,01	21,01	21,01
Caudal de retrolavado	m ³ /h	7,2	7,2	7,2	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4	37,4

1.6.3 Planta de tratamiento con tecnología de filtración - coagulación - floculación

1.6.3.1 Descripción de la planta tipo

Este sistema está destinado a la remoción de altas concentraciones de sólidos en suspensión en aguas superficiales que son captadas mediante captaciones laterales directas en ríos o esteros y que se caracterizan por turbiedades variables con eventos estacionales de altas turbiedades que pueden alcanzar hasta 1000 UNT.

FIGURA N° 10
Esquema planta de tratamiento con tecnología filtración con coagulación-floculación



El sistema de tratamiento cuenta con una bomba sumergible multietapa para elevar las aguas desde la fuente a la planta, la que puede operar con temperaturas de trabajo de hasta 40°C, aguas con un contenido de arena máximo de 150 g/m³, y a una profundidad de hasta 20 m bajo el nivel del agua, de funcionamiento continuo S1, con interruptor de nivel externo tipo flotador para protección del equipo, construido en acero inoxidable AISI 304, doble sello mecánico, aislamiento clase F protección IP68 y Q variable de acuerdo a cada caso.

En la línea se dispone de un sistema de medición de caudal electromagnético con visualización local, de construcción AISI 304 en el tubo de medición y ASTM A 105 con revestimiento de epoxi de dos componentes resistentes a la corrosión y amplio rango de temperaturas de trabajo, DN65, protección IP67.

El sistema de dosificación de productos coagulantes-floculantes se compone de sus estanques de producto y equipos dosificadores de membrana simple, de accionamiento automático por pulso.

La unidad de floccodecantación consiste en un cuerpo cilindro-cónico vertical construido de acero con liner de protección interior, con base autosoportante, con un distribuidor interior tipo embudo y geometría constructiva que permite generar la clarificación del agua en una etapa, a presión.

Complementan la unidad anterior los filtros de arena en presión ubicados al final del proceso de floccodecantación para generar pulimiento final y entregar aguas con turbiedades máximas de 2 UNT en el efluente. Este equipo es automático de FRP con cabezal automático.

El sistema de retrolavado de filtros, consta de bombas centrífugas, construidas en AISI 304 para resistencia a la corrosión, con estanque de agua tratada para evitar el agotamiento del lecho producto de lavados con agua cruda, compuesto de un estanque cilíndrico vertical de fondo plano, autosoportado, de FRP, con sensor de nivel ultrasónico y peras de nivel enclavadas a las bombas para protección por bajo nivel.

Finalmente, el sistema de dosificación de hipoclorito de sodio para la desinfección del agua, está constituido por dos bombas de diafragma simple, con pistón de accionamiento eléctrico, automáticas, con estanque IBC de producto y cuenta con un sistema de sensor de cloro libre que controla la dosificación, con interruptor de nivel en estanque producto, del tipo wall-mounted, con pretil antirrebalse.

1.6.3.2 Bases de cálculo

Las bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definidas para los diferentes niveles de población en estudio obedecen al siguiente detalle:

TABLA N° 17
Bases de cálculo adoptadas para la solución de tratamiento definidas con
tecnología filtración – coagulación – floculación

Bases de cálculo										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Dotación	l/hab-día	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Caudal	l/s	0,26	0,64	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03
Caudal máximo diario	l/s	0,39	0,97	1,93	3,87	5,80	7,74	9,67	11,61	13,54
Caudal de diseño ¹	m ³ /h	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
Calidad agua de entrada										
Turbiedad	UNT	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Calidad agua tratada										
Turbiedad	UNT	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2

¹ Caudal de diseño corresponde al caudal máximo diario del año 20 (Q promedio año 20 x 1,5)

En este caso, las condiciones de entrada se han establecido en función de una turbiedad máxima de 100 UNT, que representa un contenido de sólidos en suspensión susceptibles de ser removidos por este proceso que complementa los procesos de floco-decantación seguida de filtración en medio granular. Para los efectos de la calidad de salida del agua tratada se ha establecido un contenido de turbiedad no mayor a 2 UNT, conforme a lo establecido por la norma de agua potable vigente.

1.6.3.3 Datos técnicos de diseño

Se ha considerado un número variable de unidades de floco-decantación y filtración para disponer de la capacidad hidráulica suficiente que permita el tratamiento de los caudales de diseño. Los datos técnicos del diseño para las diferentes poblaciones en función de las bases de cálculo detalladas anteriormente se resumen en la siguiente tabla.

TABLA N° 18
Datos técnicos de diseño tecnología filtración - coagulación - floculación

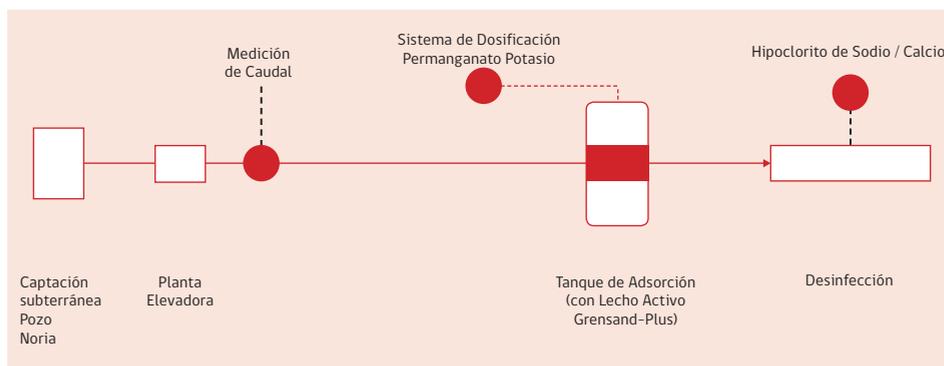
Datos técnicos de diseño										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Floco-decantadores	N°	1	2	3	2	3	2	2	3	3
Tasa de servicio máxima	m/h	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tasa de servicio mínima	m/h	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Área	m ²	0,87	0,87	0,87	2,54	2,54	4,91	4,91	4,91	4,91
Caudal mínimo de servicio	m ³ /h	1,73	1,73	1,73	5,09	5,09	9,82	9,82	9,82	9,82
Caudal promedio de servicio	m ³ /h	3,03	3,03	3,03	8,91	8,91	17,18	17,18	17,18	17,18
Caudal máximo de servicio	m ³ /h	4,3	4,3	4,3	12,7	12,7	24,5	24,5	24,5	24,5
Filtro en presión	N°	1	2	3	2	2	2	3	3	4
Tasa mínima de servicio	m/h	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tasa máxima de servicio	m/h	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Tasa de retrolavado	m/h	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Área	m ²	0,223	0,223	0,223	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167
Caudal mínimo de servicio	m ³ /h	1,12	1,12	1,12	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84
Caudal promedio de servicio	m ³ /h	2,57	2,57	2,57	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43	13,43
Caudal máximo de servicio	m ³ /h	4,02	4,02	4,02	21,01	21,01	21,01	21,01	21,01	21,01

1.6.4 Planta de tratamiento con tecnología para remoción de hierro y manganeso

1.6.4.1 Descripción de la planta tipo

Esta tecnología tiene como objetivo la remoción de los metales hierro y manganeso, cuando se encuentran presentes en forma natural en las fuentes de aguas subterráneas. Normalmente ambos metales están presentes en forma conjunta y las concentraciones de hierro son usualmente mayores que las de manganeso.

FIGURA N° 11
Esquema planta de tratamiento hierro- manganeso con lechos activos



El sistema de tratamiento consta de una bomba sumergible multietapa para elevar las aguas crudas a la planta, en condiciones de temperaturas de trabajo de hasta 40 °C, agua con un contenido de arena máximo de 150 g/m³, con profundidad de hasta 20 m bajo el nivel del agua, de funcionamiento continuo S1, con interruptor de nivel externo tipo flotador para protección del equipo, construido en acero inoxidable AISI 304, doble sello mecánico, aislamiento clase F protección IP68, Q variable según el caso.

Dispone de un sistema de medición de caudal electromagnético con visualización local, de construcción AISI 304 en el tubo de medición y ASTM A 105 con revestimiento de epoxi de dos componentes resistentes a la corrosión y amplio rango de temperaturas de trabajo, DN65, protección IP67.

Cuenta con un sistema de dosificación/regeneración de la arena verde (*greensand*) específica para abatimiento de Fe-Mn, compuesto por un equipo dosificador de permanganato de potasio que consta de un estanque de producto y un equipo dosificador de membrana simple de accionamiento automático por pulso.

El equipo de abatimiento de Fe-Mn está compuesto por un cuerpo cilíndrico vertical (filtro) construido en FRP con liner de protección interior, base autosoportante, distribuidor interior tipo lanza con cabezal ranurado, grava soporte y lecho de arena verde (*greensand*) específica para adsorción de hierro-manganeso. El equipo posee una válvula automática que realiza las etapas de servicio, retrolavado y lavado-enjuague de manera automática, programado por tiempo o por m³ de agua tratada. Se regenera con permanganato de potasio que se dosifica por medio de una bomba dosificadora de producto químico.

El sistema de retrolavado de los filtros consta de bombas centrífugas, construidas en AISI 304 para resistencia a la corrosión, con estanque de agua tratada para evitar el agotamiento del lecho producto de lavados con agua cruda, compuesto de un estanque cilíndrico vertical de fondo plano de FRP, autosoportado, con sensor de nivel ultrasónico y peras de nivel enclavadas a las bombas para protección por bajo nivel.

Posteriormente al sistema de filtros, se contempla un sistema de dosificación de hipoclorito de sodio para la desinfección final del agua tratada, que consta de dos bombas de diafragma simple con pistón de accionamiento eléctrico, automáticas, con estanque IBC de producto, un sistema de sensor de cloro libre que controla la dosificación, con interruptor de nivel en estanque producto, del tipo *wall-mounted*, con pretil antirrebalse.

1.6.4.2 Bases de cálculo

A continuación se presentan las bases de cálculo adoptadas en función de los diferentes niveles de población para la solución de tratamiento.

TABLA N° 19
Bases de cálculo adoptadas para tecnología para remoción de hierro y manganeso

Bases de cálculo										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Dotación	l/hab-día	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Caudal	l/s	0,26	0,64	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03
Caudal máximo diario	l/s	0,39	0,97	1,93	3,87	5,80	7,74	9,67	11,61	13,54
Caudal de diseño ¹	m ³ /h	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
Tiempo de operación	%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Calidad agua de entrada										
Hierro + manganeso	mg/l	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
pH	unidades	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Calidad agua tratada										
Hierro	mg/l	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3
Manganeso	mg/l	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1

¹Caudal de diseño corresponde al caudal máximo diario del año 20 (Q promedio año 20 x 1,5)

Se ha establecido en este caso como condición de entrada una concentración media total de hierro y manganeso de 3,4 mg/l, y para los efectos de la calidad de salida del agua tratada un contenido de estos metales de 0,3 y 0,1 mg/l respectivamente, conforme a lo establecido por la norma de agua potable.

1.6.4.3 Datos técnicos de diseño

En la siguiente tabla se resumen los criterios técnicos del diseño efectuado para las diferentes poblaciones en función de las bases de cálculo señaladas precedentemente. Para disponer de la capacidad química e hidráulica suficiente para el tratamiento de los caudales de diseño proyectados, se ha considerado un número variable de unidades de filtración con contenidos variables de lecho de adsorción.

TABLA N° 20
Datos técnicos de diseño tecnología para remoción de hierro y manganeso

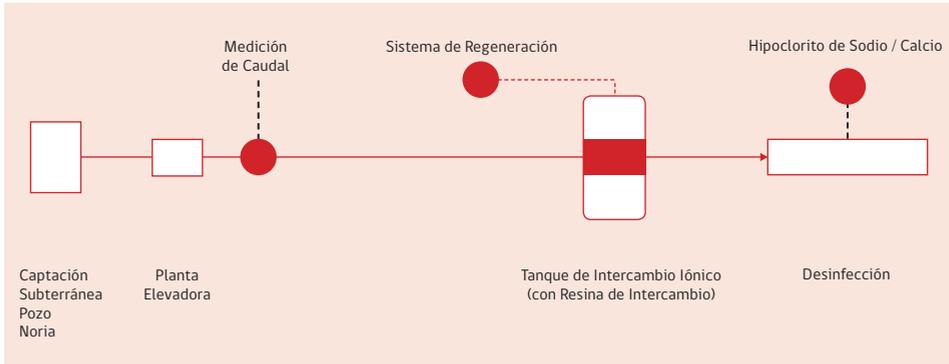
Datos técnicos de diseño										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Filtros	N°	1	3	2	3	2	3	4	4	5
Tasa de mínima servicio	m/h	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tasa máxima de servicio	m/h	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Tasa de retrolavado	m/h	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Área filtro	m ²	0,16	0,16	0,66	0,66	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
Caudal mínimo de servicio	m ³ /h	0,82	0,82	3,28	3,28	5,84	5,84	5,84	5,84	5,84
Caudal promedio de servicio	m ³ /h	1,40	1,40	5,58	5,58	9,92	9,92	9,92	9,92	9,92
Caudal máximo de servicio	m ³ /h	1,97	1,97	7,88	7,88	14,01	14,01	14,01	14,01	14,01

1.6.5 Planta de tratamiento con tecnologías de intercambio iónico

1.6.5.1 Descripción de la planta tipo

Estas plantas tienen como propósito la remoción de nitratos presentes en las aguas, basadas en la tecnología de intercambio iónico que consiste en hacer pasar las aguas crudas por un tanque o filtro que contiene una resina de intercambio que retiene los iones nitrato. Al cabo de cada ciclo de producción, la resina debe ser regenerada mediante una operación de lavado con una solución salina que activa los radicales de la resina para un nuevo ciclo de intercambio. Junto con producir agua potable, las plantas generan agua de rechazo del proceso con el nitrato concentrado.

FIGURA N° 12
Esquema planta de tratamiento por intercambio iónico



Para elevar las aguas crudas a la planta, el sistema de tratamiento dispone de una bomba sumergible multietapa, la que puede operar con temperaturas de trabajo de hasta 40 °C, agua con un contenido de arena máximo de 150 g/m³, con profundidad de hasta 20 m bajo el nivel del agua, de funcionamiento continuo S1, con interruptor de nivel externo tipo flotador para protección del equipo, construido en acero inoxidable AISI 304, doble sello mecánico, aislamiento clase F protección IP68 y caudal variable según requerimiento.

En la línea se cuenta con un sistema de medición de caudal electromagnético con visualización local, de construcción AISI 304 en el tubo de medición y ASTM A 105 con revestimiento de epoxi de dos componentes resistentes a la corrosión y amplio rango de temperaturas de trabajo, DN65, protección IP67.

El sistema de regeneración de la resina de intercambio iónico específica para el proceso de desnitrificación está compuesto de un equipo ablandador de agua, el que se compone de su estanque de salmuera, equipo con válvula automática y resina específica para remoción de dureza cálcica.

La unidad de desnitrificación está compuesta por un tanque cilíndrico vertical construido en FRP con liner de protección interior, base autosoportante, con distribuidor interior tipo lanza con cabezal ranurado, grava soporte y lecho de resina de intercambio iónico A-520 específico para desnitrificación e intercambio de iones. El equipo posee una válvula automática que realiza los ciclos de servicio y el ciclo de regeneración y lavado de manera automática, programado por tiempo o por m³ de agua tratada.

Finalmente, la dosificación de hipoclorito de sodio para la desinfección del agua, consta de dos bombas automáticas de diafragma simple, con pistón de accionamiento eléctrico, estanque IBC de producto, sistema de sensor de cloro libre que controla la dosificación e interruptor de nivel en estanque producto, del tipo *wall-mounted* con pretil antirrebalse.

1.6.5.2 Bases de cálculo

En la siguiente tabla se presentan las bases de cálculo adoptadas para el diseño de la solución de tratamiento definida para los diferentes niveles de población en estudio.

TABLA N° 21
Bases de cálculo adoptadas para el diseño de la tecnología de intercambio iónico

Bases de cálculo										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Dotación	l/hab-día	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Caudal	l/s	0,26	0,64	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03
Caudal máximo diario	l/s	0,39	0,97	1,93	3,87	5,80	7,74	9,67	11,61	13,54
Caudal de diseño	m³/h	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
Tiempo de operación	%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Calidad agua de entrada										
Nitratos	mg/l	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Sulfatos	mg/l	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cloruros máx.	mg/l	155	155	155	155	155	155	155	155	155
Calidad agua tratada										
Nitratos	mg/l	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
Sulfatos	mg/l	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
Cloruros	mg/l	250	250	250	250	250	250	250	250	250

Se han establecido como condición de entrada las concentraciones de nitratos y de iones competidores como sulfato y contenido de cloruros en el agua de la fuente a objeto de no exceder la calidad del efluente tratado en estos parámetros producto del aporte del proceso. A su vez, para la calidad de salida del agua tratada se han tenido en consideración los valores máximos permitidos por la norma de agua potable para estas tres especies químicas.

1.6.5.3 Datos técnicos de diseño

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los datos técnicos del diseño para las diferentes poblaciones en función de las bases de cálculo referidas precedentemente. Para disponer de la capacidad química e hidráulica suficiente para el tratamiento de los diferentes caudales de diseño proyectados se ha contemplado un número variable de tanques de intercambio y de volumen de resina.

TABLA N° 22
Datos técnicos de diseño tecnología de intercambio iónico

Datos técnicos de diseño										
Tanques de intercambio	Nº	1	2	2	3	2	3	4	4	5
Area tanque	m ²	0,10	0,10	0,29	0,29	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Resina	l	80	80,0	250,0	250,0	520,0	520,0	520,0	520,0	520,0
Caudal mínimo de servicio	m ³ /h	0,64	0,6	2,0	2,0	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Caudal promedio de servicio	m ³ /h	1,60	1,60	5,0	5,0	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Caudal máximo de servicio	m ³ /h	2,56	2,56	8,0	8,0	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6
Ciclo de intercambio iónico	h	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0

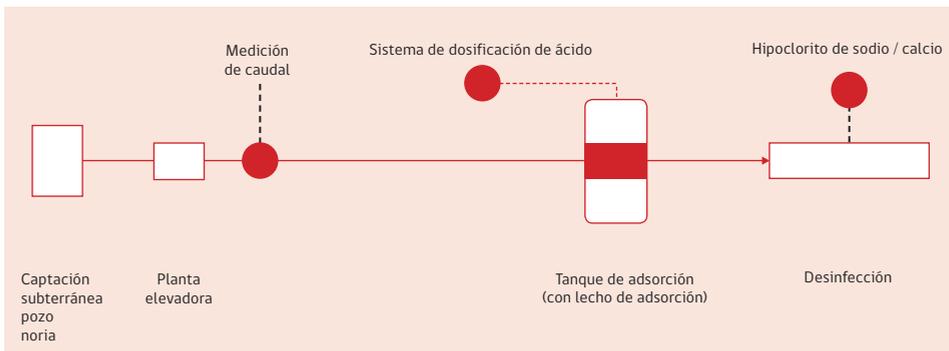
1.6.6 Planta de tratamiento con tecnologías de lechos de adsorción

1.6.6.1 Descripción de la planta tipo

Esta tecnología es empleada para la remoción de arsénico, particularmente cuando está presente en las aguas de fuentes subterráneas. Existen varios materiales de adsorción disponibles para el proceso, destacando que en el mercado nacional los de uso preferente son GEH (granular ferric hydroxide) y bayoxide (óxidos de hierro)

La tecnología se basa en la adsorción del arsénico presente en las aguas crudas a través de un material adsorbente granular que se incorpora como lecho en filtros en presión. Este material tiene una capacidad limitada para la retención del metal, determinada en función de los volúmenes de producción y que cuando se satura es desechado como residuo no peligroso y debe ser reemplazado por material nuevo para la continuidad de la operación del sistema.

FIGURA N° 13
Esquema planta de tratamiento de arsénico por lechos de adsorción



El sistema de tratamiento consta de una bomba sumergible multietapa para elevar el agua a la planta, la que puede operar a temperaturas de trabajo de hasta 40 °C, con aguas con un contenido de arena máximo de 150 g/m³, profundidad de hasta 20 m bajo el nivel del agua, de funcionamiento continuo S1, con interruptor de nivel externo tipo flotador para protección del equipo, construido en acero inoxidable AISI 304, doble sello mecánico, aislamiento clase F, protección IP68, con un caudal variable según requerimiento.

Cuenta en la línea con un sistema de medición de caudal electromagnético con visualización local, de construcción AISI 304 en el punto de medición y ASTM A 105 con revestimiento de epoxi de dos componentes resistentes a la corrosión y amplio rango de temperaturas de trabajo, DN65, protección IP67.

El sistema de dosificación de ácido está compuesto por dos bombas automáticas de diafragma simple, con pistón de accionamiento eléctrico, del tipo *wall-mounted*, con estanque IBC de producto y protección de nivel bajo en estanque, con trampa de vapores ácidos que consta de un filtro con una carga de carbón activo, en sala aislada con pretil antiderrames, y construida en materiales resistentes a la corrosión por vapores ácidos, con sensores de pH que controlan el sistema de dosificación y panel con visualización de valores de pH predosificación y postdosificación.

El tanque de adsorción de arsénico, consiste en un cuerpo cilíndrico vertical construido de FRP con liner de protección interior, con base autosoportante, con un distribuidor interior tipo lanza con cabezal rasurado, grava de soporte y lecho de adsorción de hidróxido puro, hierro sintético especialmente desarrollado para la adsorción del metal en su superficie. El equipo posee una válvula automática que realiza las etapas de servicio, retrolavado y lavado-enjuague de manera automática, programado por tiempo o por m³ de agua tratada, no necesita regeneración y su lecho agotado puede ser descartado sin problemas en vertederos autorizados.

El sistema de retrolavado de filtros consta de bombas centrífugas, construidas en AISI 304 para resistencia a la corrosión, con estanque de agua tratada para evitar el agotamiento del lecho producto de lavados con agua cruda, compuesto de un estanque cilíndrico vertical de fondo plano en FRP, autosoportado, con sensor de nivel ultrasónico y peras de nivel enclavadas a las bombas para protección por bajo nivel.

Finalmente, cuenta con un sistema de dosificación de hipoclorito de sodio para la desinfección del agua, el que consta de dos bombas automáticas de diafragma simple, con pistón de accionamiento eléctrico, dotadas de estanque IBC de producto, con un sistema de sensor de cloro libre que controla la dosificación, con interruptor de nivel en estanque producto del tipo *wall-mounted*, con pretil antirrebalse.

1.6.6.2 Bases de cálculo

En la tabla siguiente se presentan las bases de cálculo adoptadas para el diseño de la solución de tratamiento basada en la tecnología de adsorción para los diferentes niveles de población.

TABLA N° 23
Bases de cálculo adoptadas para el diseño de la tecnología de lechos de adsorción

Bases de cálculo										
Población abastecida (año 0)	Nº habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Dotación	l/hab-día	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Caudal	l/s	0,26	0,64	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03
Caudal máximo diario	l/s	0,39	0,97	1,93	3,87	5,80	7,74	9,67	11,61	13,54
Caudal de diseño	m³/h	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
Tiempo de operación	%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
<u>Calidad agua de entrada</u>										
Arsénico	mg/l	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
pH	unidades	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Sílice	mg/l	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Fosfato	mg/l	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<u>Calidad agua tratada</u>										
Arsénico	mg/l	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,010
pH	unidades	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5

Los criterios de diseño contemplan un tiempo de operación del 50% con una calidad de entrada expresada en términos de concentración de arsénico de 30 ppb y de 30 mg/l y 8 mg/l para las especies competidoras sílice y fosfato respectivamente, así como una condición extrema de pH= 8,0 en el agua cruda. Por su parte para los efectos de la calidad de salida del agua tratada se ha tenido en consideración los valores máximos permitidos por la norma NCh 409/1 of. 2005 de agua potable para el arsénico y el pH.

1.6.6.3 Datos técnicos de diseño

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los criterios de diseño adoptados para las diferentes poblaciones en función de las bases de cálculo referidas precedentemente. Para disponer de los tiempos de residencia hidráulicos adecuados para el tratamiento de los diferentes caudales de diseño se ha contemplado un número variable de tanques de adsorción, proyectados con una vida útil del lecho de adsorción estimada en 16 meses.

TABLA N° 24
Datos técnicos de diseño tecnología de lechos de adsorción

Datos técnicos de diseño										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Tanque de adsorción	N°	2	4	3	3	3	4	3	4	4
Lecho de adsorción	Tipo	GEH	GEH	GEH						
Tasa mínima servicio	m/h	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tasa promedio servicio	m/h	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tasa máxima servicio	m/h	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Área	m ²	0,10	0,10	0,22	0,46	0,66	0,66	1,17	1,17	1,17
Caudal mínimo servicio	m ³ /h	0,50	0,50	1,12	2,28	3,28	3,28	5,84	5,84	5,84
Caudal promedio servicio	m ³ /h	0,99	0,99	2,23	4,56	6,57	6,57	11,67	11,67	11,67
Caudal máximo servicio	m ³ /h	2,0	2,0	4,5	9,1	13,1	13,1	23,3	23,3	23,3
Vida útil promedio del lecho	Meses	16,8	16,9	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8

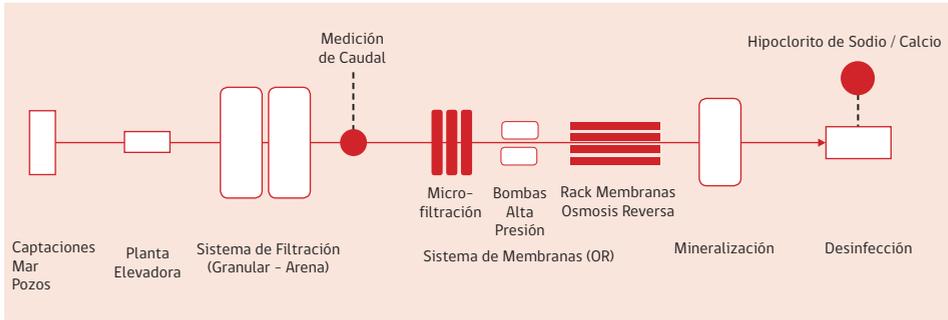
1.6.7 Planta de tratamiento con tecnologías de membranas

1.6.7.1 Descripción de la planta tipo

La tecnología de desalación tiene por objeto la remoción de sólidos disueltos totales que comprenden sales y metales o sustancias disueltas como cloruros, sulfatos, nitratos, dureza, arsénico, hierro, manganeso, nitratos, etc. En consecuencia, se trata de un proceso no selectivo que es aplicable a fuentes de agua salobres superficiales o subterráneas o a aguas salinas o marinas captadas directamente en zonas costeras.

La tecnología se basa en el proceso de filtración a través de membranas de osmosis y contempla en forma previa las componentes unitarias de filtración granular para la remoción de sólidos en suspensión y la microfiltración para eliminación de coloides con el objeto de evitar el depósito e incrustación de estos materiales en las membranas de osmosis.

FIGURA N° 14
Esquema planta de tratamiento de desalinización mediante membranas



El sistema de tratamiento contempla al inicio una bomba sumergible multietapa o centrífuga que puede trabajar con aguas con un contenido de arena máximo de 150g/m³, de funcionamiento continuo S1, con interruptor de nivel externo tipo flotador para protección del equipo, construido en acero inoxidable AISI 304, doble sello mecánico, aislamiento clase F protección IP68 y un caudal variable según el requerimiento.

En la línea de impulsión se dispone de un sistema de medición electromagnético de caudal con visualización local, de construcción AISI 304 en el tubo de medición y ASTM A 105 con revestimiento de epoxi de dos componentes resistentes a la corrosión y amplio rango de temperaturas de trabajo, DN65, protección IP67.

En la etapa de pretratamiento se han contemplado filtros de arena en presión, de cuerpo FRP cilíndrico vertical con válvulas de control automáticas. El sistema de retrolavado consta de bombas centrífugas, construidas en AISI 304 para resistencia a la corrosión, con estanque de agua tratada para evitar el agotamiento del lecho producto de lavados con agua cruda, compuesto de un estanque cilíndrico vertical de fondo plano en FRP, autosoportado, con sensor de nivel ultrasónico y peras de nivel enclavadas a las bombas para protección por bajo nivel.

El sistema de osmosis inversa contiene en primer término un sistema de microfiltración de 5 micras seguido de un sistema de impulsión de alta presión y una serie de tubos en disposición vertical, con sus membranas e instrumentación para su control de funcionamiento. Se incorpora un sistema de medición de caudal del permeado y calidad del agua (conductividad) y de la presión de trabajo de alimentación (mínima de 30 PSI).

Al final del proceso, la planta tipo cuenta con un filtro remineralizador de las mismas características del filtro de arena pero con una carga de calcita que al contacto con el agua acida del permeado disuelve el carbonato de calcio elevando el pH, proporcionando sales de carbonatos y remineralizando el agua.

Finalmente, se dispone de un sistema de dosificación de hipoclorito de sodio para la desinfección del agua tratada, el que consta de dos bombas de diafragma simple, con

pistón de accionamiento eléctrico, automáticas, con estanque IBC de producto. Cuenta adicionalmente con un sistema de sensor de cloro libre que controla la dosificación, con interruptor de nivel en estanque producto, del tipo *wall-mounted*, con pretil anti-reebalse.

1.6.7.2 Bases de cálculo

En la siguiente tabla se presentan las bases de cálculo adoptadas para esta solución de tratamiento basada en la tecnología de membranas para los diferentes niveles de población:

TABLA N° 25
Bases de cálculo adoptadas para el diseño de la tecnología de membranas

Bases de cálculo										
Población abastecida (año 0)	N° habitantes	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Dotación	l/hab-día	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Caudal	l/s	0,26	0,64	1,29	2,58	3,87	5,16	6,45	7,74	9,03
Caudal máximo diario	l/s	0,39	0,97	1,93	3,87	5,80	7,74	9,67	11,61	13,54
Caudal de diseño permeado	m³/h	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
Caudal de diseño alimentación	m³/h	1,86	4,64	9,29	18,57	27,86	37,15	46,43	55,72	65,01
Calidad agua tratada										
Solidos totales disueltos (TDS)	mg/l	≤1.500	≤1.500	≤1.500	≤1.500	≤1.500	≤1.500	≤1.500	≤1.500	≤1.500
Cloruros	mg/l	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400
Sulfatos	mg/l	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400

Teniendo en consideración los rechazos esperados del sistema de membranas de ósmosis inversa para los diferentes iones, las bases de cálculo contemplan una calidad de salida del agua tratada para determinados parámetros de salinidad conforme a lo permitido por la norma de agua potable.

1.6.7.3 Datos técnicos de diseño

El resumen de los criterios de diseño para las diferentes poblaciones en función de las bases de cálculo referidas precedentemente se presenta en la siguiente tabla. Las plantas contempladas para los diferentes niveles de población, contemplan un factor de recuperación de 0,75 y una variación del número de membranas y diámetros para las diferentes capacidades. Los sistemas incluyen tratamiento preliminar y microfiltración para la protección del sistema de membranas.

TABLA N° 26
Datos técnicos de diseño tecnología de membranas

Datos técnicos de diseño										
Población abastecida (Año 0)	N° hab.	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Factor de recuperación	%	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Membranas de OR	N°	12	12	16	12	21	42	42	72	72
Diámetro de membranas	Pulg	4	4	4	8	8	8	8	8	8
Arreglo	-	2-2	2-2	4-3	2-1-1	3-2-2	3-2-1	3-2-1	6-4-2	6-4-2
Elementos/tubo	N°	3	3	3	3	3	3	3	3	3

1.6.8 Antecedentes adicionales para las tecnologías de tratamiento

1.6.8.1 Fuentes de energía

En términos generales, para los tamaños de las instalaciones del sector rural, la operación de las plantas está basada en la conexión de las instalaciones a la red eléctrica de la localidad. En algunos casos de equipamiento de baja potencia y particularmente en plantas dimensionadas para un bajo número de habitantes, pueden utilizarse fuentes de energía alternativa que se están estableciendo en el país últimamente, como son los sistemas con paneles fotovoltaicos, paneles solares, etc.

1.6.8.2 Control operacional

Para efectos del control operacional del sistema se requiere la instrumentación en línea descrita en la introducción de cada una de las tecnologías de tratamiento. Adicionalmente, dicha instrumentación debiera ser complementada con equipamiento de medición de terreno de determinados parámetros específicos entre los que destacan los turbidímetros, medidores de hierro, manganeso, nitratos, cloro residual y medidor de PH.

1.7 Estimación de costos de tecnologías de tratamiento (población rural concentrada)

1.7.1 Inversión inicial

En el presente punto se presenta una estimación de los costos asociados a las alternativas de tratamiento descritas anteriormente. La valorización de los costos de inversión se ceñirá específicamente al sistema de tratamiento propiamente tal, considerando en definitiva las siguientes componentes unitarias.

- Elevación al sistema de tratamiento.
- Sistemas de medición de caudal e instrumentación en línea.
- Unidades de tratamiento en presión.
- Sistemas de dosificación.
- Interconexiones hidráulicas.
- Sistema de fuerza y control e interconexiones eléctricas
- Sistema de control PLC + HMI para control y visualización del equipamiento.

Considerando que existen determinadas componentes unitarias previas y posteriores al sistema de tratamiento que dependen de condiciones geomorfológicas propias y específicas de cada sistema, se excluyó la valorización de los siguientes ítemes.

- Obras de captación.
- Conducciones de transporte del agua a la planta.
- Impulsiones de transporte del agua tratada (fuera del recinto de tratamiento).
- Estanques de regulación de agua potable.

1.7.1.1 Criterios para la inversión inicial

Los costos de inversión se calcularon en base al insumo de determinadas variables de valorización (población, caudal), a partir de las que se genera el dimensionamiento de las componentes unitarias, las cantidades de obra a considerar y las consecuentes valorizaciones debidamente desglosados en ítemes globales producto de aplicar un vector de precios unitarios.

Para el dimensionamiento se adoptaron los criterios tradicionales de diseño de las componentes unitarias involucradas en cada una de las diversas tecnologías detalladas anteriormente para, a partir de ello, proceder con las cubicaciones y obtener finalmente los consecuentes costos directos de inversión, debiendo destacar los siguientes alcances.

- Para la definición física de las plantas, se optó por considerar los sistemas modernos basados en el uso de containers metálicos y el sistema de *skids* para el montaje del equipamiento, lo que reduce considerablemente las obras civiles requeridas y se ajusta de mejor manera a las características del sector rural. Se consideraron terrenos con superficie adecuada para este tipo de solución y los requerimientos son meridianamente constantes para el rango de población estudiado, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

TABLA N° 27
Áreas de terreno en función de las tecnologías

Tecnologías	Población inicial de diseño								
	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
T. Desinfección	150m ²	150m ²	150m ²	150m ²	150m ²	150m ²	150m ²	150m ²	150m ²
TD Filtración	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²
TCF Filtración	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²
T Filtración FeMn	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²
TL Adsorción	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²
TI Iónico	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²
TP Membranas	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²	250m ²

- Considerando los aspectos económicos asociados a los desarrollos más recientes de materiales aplicados en el sector sanitario, se contemplaron unidades de proceso en presión tales como filtros o tanques de proceso construidos en plástico reforzado con fibras poliméricas (PRF).
- Se consideró la dotación de los servicios de provisión de agua y evacuación de las aguas residuales generadas en el proceso.
- Se ha considerado un horizonte de previsión de 20 años, de modo que los costos de inversión consideran tanto la inversión inicial como los costos de reposición de equipos.
- El ítem reposición consideró la reposición de los equipos de bombeo, dosificación e instrumentación de control.

Las condiciones de borde adoptadas para la valorización de las diferentes soluciones sanitarias en materia de tratamiento de agua potable, determinadas en el nivel nacional por unidades de reajustabilidad y el tipo de cambio para las divisas más comunes asociadas a los mercados proveedores del equipamiento requerido, son las siguientes.

Unidad de Fomento (UF) = \$ 26.209

Dólar Americano (US\$) = \$ 667,94

Euro (€) = \$ 736

*Valores al 31 de agosto de 2016.

1.7.1.2 Criterios para la reposición de equipos

Para los efectos de la reposición del equipamiento durante el periodo de vida del proyecto, se contemplaron los criterios establecidos por la "Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Evacuación, Tratamiento y Disposición de Aguas Servidas del Sector Rural", Ministerio de Desarrollo Social, MDS, 2015, estableciéndose lo siguiente:

- Periodo de previsión de proyectos: 20 años.
- Equipos de bombeo: Reposición en el año 10.
- Equipamiento de proceso e instrumentación: Reposición en el año 15.

1.7.1.3 Análisis comparativo de costos de inversión

El resumen de los resultados de la valorización de la inversión total de los proyectos, asociados a los diferentes niveles de población rural, se encuentra detallado "in extenso" en el Anexo N° 5 del presente informe (versión digital) y obedece al siguiente detalle.

TABLA N° 28
Resumen de inversiones por tecnología y población abastecida (\$)

Población inicial (habs)	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Caudal de diseño (l/s)	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
T. Desinfección	\$21.985.515	\$22.239.505	\$23.687.006	\$23.687.006	\$23.935.185	\$23.935.185	\$27.971.652	\$28.134.299	\$28.059.676
T. D Filtración	\$46.796.874	\$49.671.066	\$52.262.582	\$54.229.515	\$54.748.424	\$54.526.042	\$61.286.187	\$61.435.627	\$64.196.123
T. CF Filtración	\$65.824.922	\$85.187.146	\$99.186.662	\$125.225.715	\$155.378.144	\$170.040.226	\$176.314.911	\$228.356.863	\$230.631.899
T.FM Filtración	\$41.671.639	\$50.150.099	\$67.640.746	\$78.569.238	\$93.151.850	\$104.964.523	\$143.505.219	\$143.505.219	\$166.663.101
T.L Adsorción	\$52.138.272	\$45.803.228	\$65.139.073	\$74.436.571	\$81.195.452	\$91.985.186	\$110.056.153	\$126.535.047	\$127.685.775
T.I Iónico	\$45.338.828	\$52.994.649	\$109.382.597	\$142.659.203	\$122.063.763	\$157.952.986	\$193.842.209	\$193.842.209	\$229.731.432
T.P Membranas	\$97.737.210	\$97.737.210	\$126.005.498	\$161.075.679	\$244.771.109	\$304.858.424	\$304.858.424	\$396.877.117	\$396.877.117

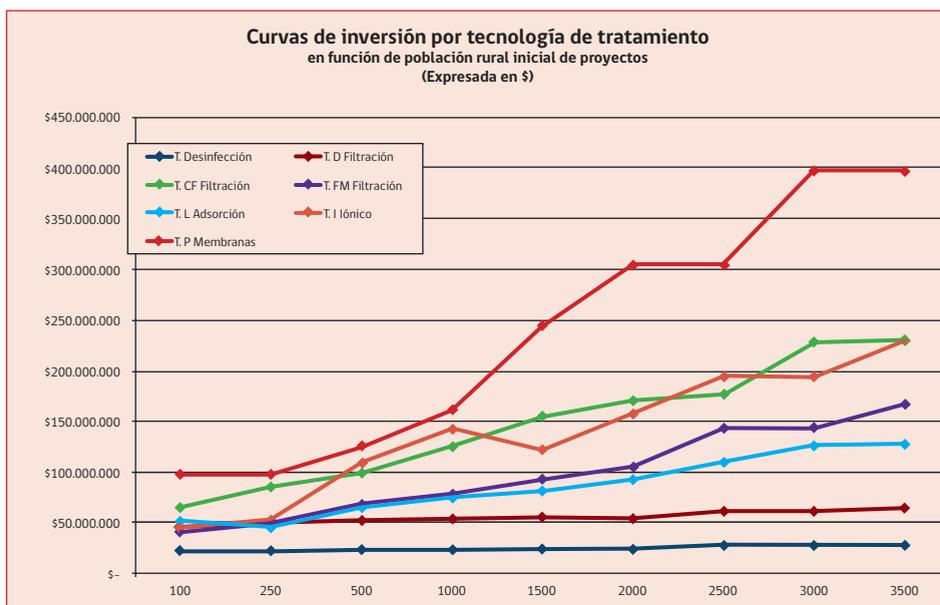
A la luz de la anterior tabla, se puede apreciar que la tecnología de desinfección (que es común a todos los sistemas de tratamiento evaluados) se constituye en el sistema más básico y de menor costo de inversión, fluctuando prácticamente entre MM\$ 21 y 28 según el rango de población del proyecto. Seguidamente se sitúa la tecnología de filtración directa con montos que oscilan entre MM\$ 46 y 64.

Siguen los sistemas de tratamiento con tecnologías de adsorción de metales como hierro, manganeso y arsénico con montos de inversión que fluctúan entre MM\$ 41 y 166 seguidos de los sistemas de filtración con coagulación floculación e intercambio iónico cuyas inversiones se encuentran entre MM\$ 65 y 229.

Finalmente, la tecnología de mayor inversión la constituye la osmosis inversa para desalinización de aguas, con montos que oscilan entre MM\$ 98 y 396, superando en el orden de un 67% el monto de inversión de la tecnología que le precede, para un mismo nivel de población.

En la siguiente figura se presentan las curvas de costos de inversión correspondientes a cada tecnología y la evolución de la inversión en función de la población inicial cubierta por los proyectos respectivos.

FIGURA N° 15
Costos de inversión por tecnología y población



1.7.2 Costos de operación y mantención

1.7.2.1 Criterios para los costos de operación y mantención

Los costos de operación y mantención de cada tecnología se estimaron en función de los gastos requeridos para los diferentes volúmenes de producción de agua potable que satisfagan la demanda de los diferentes niveles de población considerados.

Los ítemes considerados para estos efectos son los siguientes.

- Energía eléctrica.
- Productos químicos.
- Personal de operación.
- Materiales y repuestos de mantención.
- Servicios de laboratorio.
- Reposición de lechos.

En relación con los productos químicos considerados en las tecnologías y sistemas de tratamiento, estos corresponden principalmente a hipoclorito de sodio, coagulantes inorgánicos, productos poliméricos, permanganato de potasio, ácido clorhídrico y productos antiincrustantes.

En relación con el requerimiento de personal, se han contemplado tres niveles de operador para dar cuentas del perfil requerido por las diferentes tecnologías.

- Operador nivel I: Operador básico con estudios de enseñanza media.
- Operador nivel II: Operador con estudios en escuela industrial.
- Operador nivel III: Operador con estudios técnicos (2 años) en el área electromecánica o similar.

En cuanto a los costos de mantención, se estimaron como un 2% del costo de inversión asociado a cada sistema evaluado.

Finalmente, con relación a la reposición de lechos se consideraron los materiales granulados como arena y antracita, lechos de adsorción y resinas de intercambio. En el caso particular de los sistemas de osmosis inversa se han considerado las membranas y filtros de cartucho como insumo de reposición.

1.7.2.2 Análisis comparativo de costos de operación

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los resultados de la valorización de los costos de operación del último año de previsión, asociados a los diferentes niveles de población.

TABLA N° 29
Resumen de costo operacional por tecnología y población abastecida
del horizonte del período de previsión (M\$/año)

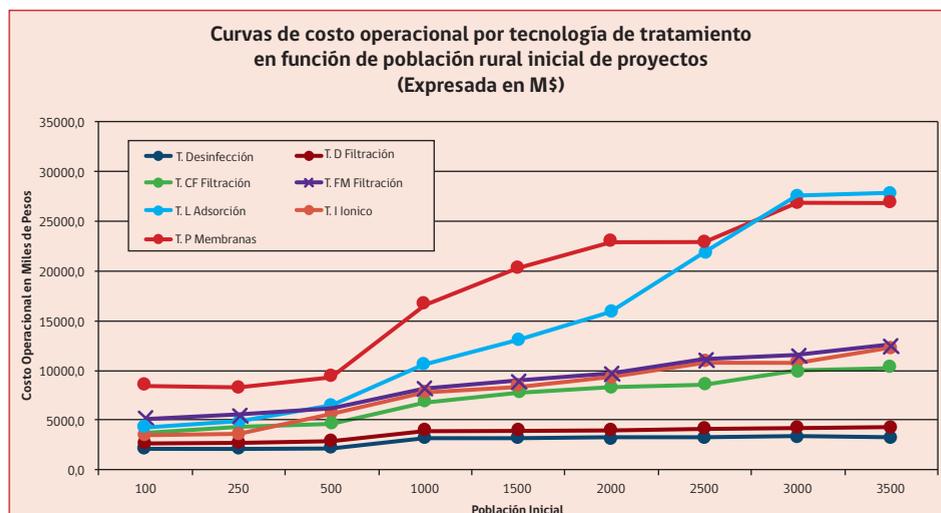
Población inicial (habs)	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Caudal de diseño (l/s)	1,39	3,48	6,97	13,93	20,90	27,86	34,83	41,79	48,76
T. Desinfección	2126,2	2133,6	2162,3	3140,3	3157,1	3168,4	3242,1	3255,9	3266,0
T. D Filtración	2662,1	2739,5	2809,7	3867,4	3916,1	3953,9	4118,9	4162,2	4268,1
T. CF Filtración	3763,3	4272,5	4688,4	6780,1	7679,0	8223,8	8538,1	9949,4	10204,7
TFM Filtración	5205,4	5550,7	6160,9	8182,6	8970,7	9718,3	11090,2	11543,2	12568,9
T.L Adsorción	4175,7	4807,9	6326,9	10542,2	12970,2	15851,1	21794,0	27292,2	27694,3
T.I Iónico	3354,1	3545,2	5533,9	7654,0	8336,0	9242,4	10759,4	10776,8	12293,8
T.P Membranas	8444,8	8261,4	9357,0	16612,2	20302,9	22942,5	22835,0	26826,8	26762,1

A la luz de la tabla, se puede apreciar que los costos de operación más bajos corresponden precisamente a la alternativa más básica, vale decir, la desinfección. Dicho costo será incorporado en todas las demás alternativas de tratamiento, debido al requisito de desinfección exigido a todos los sistemas de agua potable.

Los costos de operación que siguen en magnitud corresponden a los de la filtración directa sola, filtración directa químicamente asistida con coagulación floculación, tecnologías de remoción de hierro y manganeso e intercambio iónico, remoción de arsénico con lechos de adsorción y los procesos de membrana con osmosis inversa.

En la figura siguiente se presenta la distribución de las curvas de costo operacional para los diferentes rangos de población analizados.

FIGURA N° 16
Costos de operación por tecnología y población



Se aprecia que los costos operacionales para los diferentes sistemas y tecnologías se encuentran prácticamente bajo los MM\$ 15/año, con excepción de los casos de adsorción para arsénico y osmosis inversa en los rangos altos de población.

1.8 Tecnologías para población rural semiconcentrada

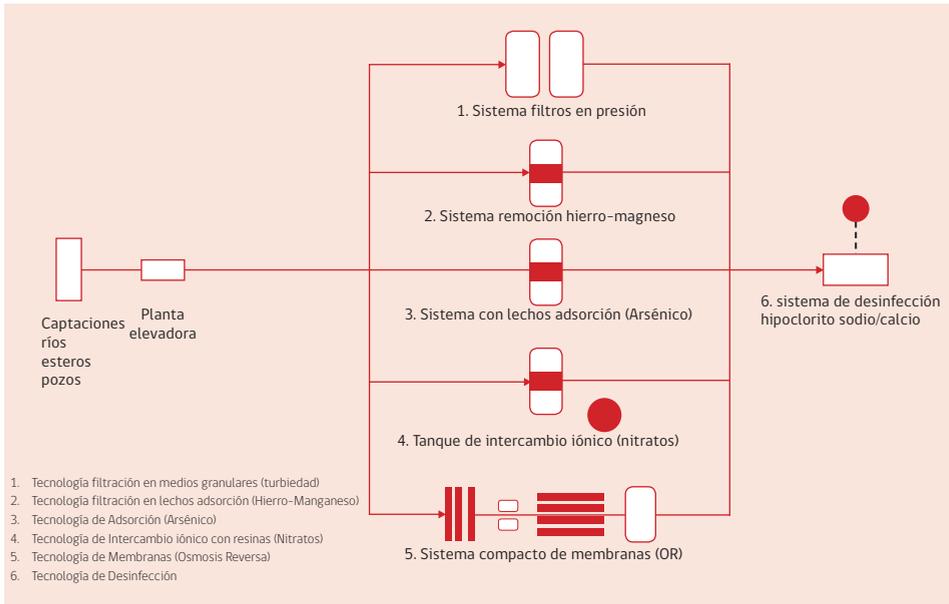
Las tecnologías descritas precedentemente para la población rural concentrada son extensivas y aplicables también para el segmento de población rural denominado semiconcentrado y la diferencia consiste específicamente en que en este caso no hay una red de distribución que transporte el agua potable producida a cada domicilio.

En este contexto se requiere contar con una fuente de abastecimiento común, la planta de tratamiento y un estanque de almacenamiento del agua potable con un pilón comunitario de entrega y, eventualmente, un sistema de distribución local de agua potable a las viviendas.

En la evaluación anterior se consideraron soluciones para poblaciones de 100 habitantes que bien pueden representar a una población rural no concentrada y que permitirían producir agua potable para abastecer alrededor de 25 viviendas. En este escenario, la localización geográfica de dichas viviendas en este caso no permitiría alcanzar la densidad de viviendas por kilómetro que justifique la construcción de una red de distribución de agua potable.

La siguiente figura muestra el esquema de todas las alternativas de sistemas de tratamiento de agua potable sin red de distribución para una población rural dispersa.

FIGURA N° 17
Esquema de tecnologías de tratamiento para población rural semiconcentrada



Estos sistemas tienen en común las obras de captación (sondaje y bomba de elevación), el sistema de desinfección del agua y un estanque de almacenamiento y las diferentes alternativas de tratamiento según la calidad de la fuente.

1.9 Tecnologías para población rural dispersa

La población rural dispersa se distribuye en viviendas no concentradas en una zona geográfica específica, en cuyo caso las soluciones de tratamiento se basan en principios similares a los de las tecnologías descritas anteriormente pero con desarrollo en base a sistemas compactos de uso domiciliario.

Para este propósito se requiere como condición de base, la existencia de un sistema domiciliario básico de agua potable habilitado, compuesto por una noria, una bomba, un sistema de desinfección y un estanque de almacenamiento. En este escenario, en el punto de uso, que tradicionalmente corresponde a la cocina en donde se preparan los alimentos, se interconectan a la línea de agua algunos de los siguientes dispositivos según sea el problema del agua de la noria:

FIGURA N° 18
Dispositivos de tratamiento de agua para viviendas



El tipo de solución individual dependerá de las características de las aguas de la fuente, la que preferentemente debiera ser una noria o pozo para asegurar una mejor calidad de entrada del agua cruda al sistema.

Según los contaminantes del agua puede requerirse un solo dispositivo o la combinación de varios de estos para alcanzar la calidad requerida para el agua de consumo.

1.10 Proveedores de tecnologías

1.10.1 Consideraciones generales

El desarrollo del mercado sanitario en el país, particularmente en lo referente a los sistemas de agua potable tiene prácticamente 50 años, lo que permite hoy tener una oferta sustentable en materia de tecnologías y la experiencia tanto en el campo de los diseños como en la construcción y montaje de plantas de tratamiento de agua potable.

Si bien el mercado de oferta estuvo orientado fundamentalmente en sus inicios hacia la demanda del sector urbano, las últimas tres décadas ha derivado también en la oferta de tecnologías compactas con mayor aplicación en sistemas de agua potable de menor tamaño, como es el caso del sector rural.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en entrevistas a proveedores referenciales de tecnologías relacionadas con el tratamiento de agua potable, cuyo detalle se encuentra en Anexo N° 1 del presente informe (versión digital).

1.10.2 Entrevistas con proveedores

Se realizó una visita a los proveedores de mayor importancia, para cuyo efecto se elaboró un programa de entrevistas basado en una nómina entregada por el mandante y en la información disponible en esta oficina de consultoría.

Durante la entrevista se completó una ficha con información tal como antigüedad de la empresa, ámbito y alcances de sus servicios, identificación de las tecnologías disponibles, concreción de proyectos implementados en el país y disponibilidad de información técnica, como catálogos de equipamiento, etc.

Luego de conocer el portafolio de tecnologías y su aplicabilidad al sector rural, se solicitó a cada uno la entrega de información técnica de estas, su equipamiento, capacidades, etc.

Con el objeto de cubrir el espectro de las distintas alternativas de tratamiento y tecnologías específicas aplicables en el sector rural, la selección referencial de proveedores se basó en los siguientes aspectos:

- Antigüedad en el mercado nacional \geq 10 años.
- Provisión y servicios en el ámbito de las tecnologías de tratamiento de agua potable reconocidas en el país y en el ámbito rural.
- Oferta de tecnologías para las capacidades requeridas en los sistemas rurales.
- Colocación efectiva de proyectos de tratamiento en el país.
- Disponibilidad de información técnica.

Del total de empresas catastradas se seleccionó referencialmente una muestra que permitió cubrir las tecnologías aplicables en el sector rural, debiendo destacar que al momento de definir los proveedores a considerar en un determinado proyecto se debe efectuar una adecuada prospección del mercado disponible, el que en el país es bastante amplio.

1.10.3 Resultados de la muestra referencial de proveedores

Las empresas proveedoras se seleccionaron referencialmente para cubrir prácticamente la totalidad del espectro de tecnologías establecidas aplicables en el sector rural y las soluciones técnicas de cada proveedor corresponden a sistemas con componentes unitarias y equipamiento similares, constituyéndose por lo tanto en alternativas comparables como procesos.

Las tecnologías ofertadas arriban a similares eficiencias de remoción de los parámetros de interés y las diferencias están determinadas prácticamente por los materiales de construcción y fundamentalmente marcas del equipamiento.

En la siguiente tabla se presenta un resumen consolidado de las empresas proveedoras seleccionadas referencialmente, identificándose en cada caso las plantas de tratamiento con sus denominaciones propias disponibles para cada una de las tecnologías previamente descritas.

TABLA N° 30
Listado referencial de tecnologías y proveedores de plantas de tratamiento de agua potable

Tecnologías tratamiento agua potable	Empresas proveedoras de tecnologías			
	AGUASIN (Aguas Industriales Ltda.)	VIGAFLOW (Vigaflow Industrial S.A.)	MANANTIAL (Manantial S.A.)	SIMTECH (Simtech Chile Ltda.)
Clarificación por filtración directa	Plantas de filtros en profundidad series QMA,QAAyQAF; alta tasa; lecho granular mixto	Plantas de filtros AG Plus, en FRP-acero carbono; con lechos granulares 40-120m ³ /h por unidad de filtración (solo filtración directa sin agregado de productos químicos) límite turbiedad 15-20UNT.	Plantas de filtración FAL 950-5100 (Acero 6,0-170m ³ /h-hormigón >125m ³ /h) Tasas 200 m ² /m ² -día turbiedades <100UNT; lechos granulares arena de cuarzo-antracita	-
Clarificación por filtración con coagulación-floculación	Plantas de filtros con flocodecantadores en presión serie FDP, con filtros en profundidad series QMA,QAAyQAF; turbiedades hasta 1000UNT	-	Plantas de filtración FAL 950-5100 (acero 6,0-170m ³ /h-hormigón >125m ³ /h) con sistema seditubos turbiedades >100UNT; lechos granulares arena de cuarzo-antracita	-

Tecnologías tratamiento agua potable	Empresas proveedoras de tecnologías			
	AGUASIN (Aguas Industriales Ltda.)	VIGAFLW (Vigaflow Industrial S.A.)	MANANTIAL (Manantial S.A.)	SIMTECH (Simtech Chile Ltda.)
Remoción hierro y manganeso en lechos activos	Plantas de filtros reductores hierro-manganeso serie ABMA, ABAA y ABAF; alta tasa, con lechos granulares mixto y lecho activo greensand	Plantas de filtros Greensand, en FRP-acero carbono; con lechos granulares (20-125m ³ /h por unidad de filtración)	Plantas de filtración FAL 950-5100 (acero 6,0-170m ³ /h-Hormigón >125m ³ /h) Hierro <1mg/l; Manganeso <3,0mg/l; lechos de adsorción greensand, maddock.	-
Remoción de nitratos por intercambio iónico	Plantas de intercambio iónicos con resinas selectivas	-	-	-
Remoción de arsénico por lechos de adsorción	Plantas de filtros de arsénico con lechos granulares de óxido férrico	Plantas de filtros arsénico, en FRP-acero carbono; con lechos granulares (20-120m ³ /h por unidad de filtración)	Plantas de filtración Arsepur; lechos de adsorción GFO (óxido férrico granular) c/ sistemas de corección de pH; remoción As hasta <2ug/l	Plantas de filtros arsénico, en FRP ; lechos de adsorción GFO (0,25 - 100 m ³ /h por unidad de filtración)
Desalación por membranas osmosis inversa	Plantas de osmosis compactas: agua salobre (1,40-52m ³ /h-1-4 unidades membranas) agua de mar (0,095-0,32m ³ /h-1-4 Unidades de membranas)	Plantas de osmosis compactas: agua salobre (1,40-52m ³ /h-1-4 unidades membranas) agua de mar (0,095-0,32m ³ /h-1-4 unidades de membranas)	-	Plantas compactas de osmosis nirobox-RWL BW-S y BW-M (20-40m ³ /h) pretratamiento con filtración multimedida y ultrafiltración.
Desinfección con sales de cloro	Sistemas de dosificación de sales de cloro con equipos dosificadores para diferentes requerimientos de caudal.	Sistemas de dosificación de sales de cloro con equipos dosificadores para diferentes requerimientos de caudal.	Sistemas de dosificación de sales de cloro con bombas dosificadores para diferentes requerimientos de caudal.	Sistemas de dosificación de soluciones de cloro con bombas dosificadores para diferentes requerimientos de caudal.

Aguas Industriales Ltda. Aguasin Panamericana norte N°18900, Lampa Santiago.

Vigaflow S.A. Ramon Freire 47, Barrio Industrial Los Libertadores, Colina, Santiago.

Manantial Avda. Presidente Errázuriz 3113, Las Condes, Santiago.

Simtech Ltda. Avda. Francisco Bilbao 732, Providencia, Santiago.

Cabe señalar que las diferencias de las empresas referenciales con respecto a otras existentes de menor escala en el mercado nacional se centran fundamentalmente en que ofrecen soporte de ingeniería, capacidad para la colocación de plantas, construcción, montaje, puesta en marcha y servicio postventa.

1.11 Redes de agua potable

En el sector rural, las redes de distribución de agua potable son aplicables en localidades semidispersas o aglomeradas, y por sus propias características requieren de un diseño específico a nivel de ingeniería conceptual y luego de detalles para su implementación.

En el presente punto se presenta un análisis básico de las principales bases de cálculo y criterios de diseño utilizados en el diseño de las redes de agua potable, con recomendaciones para optimizar técnica y económicamente los costos de inversión asociados, y pueden resumirse del siguiente modo.

1.11.1 Bases de cálculo

En lo referido a las bases de cálculo, se pueden precisar y/o recomendar los siguientes aspectos.

- Normalmente los proyectos de instalación o mejoramiento de sistemas de agua potable rural se llaman sin precisar en sus términos de referencia (tr) el sector a abastecer, lo que queda de cargo sea del directorio del comité de agua potable rural, de las autoridades comunales o del consultor.

Se recomienda que el llamado a licitación de un estudio de APR defina e incluya en los TR el territorio operacional actual y futuro del sistema de abastecimiento, seleccionado previamente mediante el análisis de profesionales y visitadoras sociales, de modo de asegurar que no se exceden los límites técnicos ni las bases sociales del programa de APR.

Ello requeriría que la encuesta socioeconómica sea elaborada en forma previa o como primera actividad de la licitación del diseño mismo.

Como resultado de esa encuesta, que debiera incluir también las solicitudes de factibilidad no atendidas a la fecha de la misma, así como los consumos mayores de servicio público (escuelas u otros), debiera fijarse la densidad de habitantes por vivienda a usar en el diseño, hoy inferior a los 6 hab/viv de la norma vigente.

En el caso de existir establecimientos privados de gran potencial de consumo dentro del territorio operacional (agroindustria, hoteles u otros), se recomienda establecer previamente el tipo de servicio que se entregará, ya sea limitando el diámetro del arranque al consumo residencial o mediante acuerdos de cofinanciamiento que permitan ampliar las obras para atender los consumos no residenciales.

- El trabajo previo debiera incluir el levantamiento catastral de las instalaciones existentes, normalmente solicitado junto con el diseño, y el procesamiento de las estadísticas de facturación que generará una dotación de diseño más realista que las dotaciones de norma.

- De igual forma, los períodos de previsión para los distintos tipos de obras deberían definirse en los TR.
- En tanto no se cuente con datos estadísticos que permitan adoptar valores representativos para el sector rural, se recomienda para localidades con poblaciones mayores a 1.000 habitantes uniformar los coeficientes de consumo máximo diario y consumo máximo horario, homologándolos a los de la norma urbana.
- Para la definición de las bases de cálculo y criterios de diseño de los sistemas de redes de agua potable se recomienda que junto con las recomendaciones que se proponen en este capítulo, se consideren las disposiciones específicas para la elaboración de proyectos establecidas en el "Proyecto de Revisión de la Norma de Diseño de Agua Potable Rural APR SENDOS 1984" efectuado en 2013.

1.11.2 Criterios de diseño

En este punto se analizan los criterios de diseño adicionales o complementarios a los utilizados en el dimensionamiento de las redes de agua potable y sus componentes, incorporando las recomendaciones pertinentes para una adopción adecuada.

1.11.2.1 Redes de agua potable

- **Uso de cañerías soldadas, por lo menos en las cañerías principales**

Las cañerías con unión campana y con goma han demostrado que pierden elasticidad con el tiempo. Además, pueden desplazarse con los movimientos telúricos.

Por esa razón, se considera recomendable privilegiar el uso de cañerías de HDPE u otro material que pueda unirse por fusión.

- **Uso de collar de arranque en los arranques domiciliarios**

Se recomienda eliminar la posibilidad que las conexiones domiciliarias se hagan con unión autorroscante, debiendo en su lugar exigirse el uso de collar de arranque.

- **Uso de cañería clase 10 y diseño con presiones mayores a las de la normativa**

La experiencia ha mostrado que el uso de cañerías clase 6 ha generado al menos dos problemas recurrentes:

- Rotura o fisuración por relleno poco cuidadoso con bulldozer.
- Reemplazo completo si se cambian las condiciones de presión, ya sea por cambio de ubicación de estanques o cambio de *setting* en plantas presurizadoras.

La actual normativa de APR limita las presiones máximas a 40 m, básicamente para permitir el uso de cañería clase 6.

Se recomienda contemplar el uso de cañerías clase 10 o superior y permitir, donde las cotas lo permitan, presiones de servicio de hasta 70 mca.

Las presiones mínimas actualmente permitidas (8 mca.) se deben a que una parte importante de los estanques son metálicos elevados. Se recomienda mantener esa presión mínima de servicio, pero solo en servicios abastecidos por ese tipo de estanques y donde no sea posible subir la presión sin subir el estanque. En todo otro caso, la presión mínima de servicio debiera ser 15 mca.

Se debe destacar que estas modificaciones ya se están haciendo efectivas en los diseños inspeccionados por algunas empresas de servicios sanitarios, debido a que existe conciencia del mal servicio que genera la norma antigua.

- **Normas de incendio en el diseño de matrices principales**

Considerando la antigüedad del Programa de Agua Potable Rural, hay localidades que han adquirido características urbanas, como es el caso de Nogales, Gultro, Bollenar, etc.

En ese escenario, los diámetros de las matrices principales pueden estar normalmente cercanos al diámetro que exigiría la condición de diseño con grifos de incendio, ante lo que se recomienda que el diseño de las matrices principales considere las normas de diseño de incendio e incluso la instalación de grifos en el trazado de esas cañerías, lo que dará una mínima cobertura de incendio sin aumentar significativamente el costo.

Obviamente eso implica agregar el volumen de incendio en los estanques, lo que adicionalmente mejorará la seguridad del abastecimiento.

En sectores rurales abastecidos con agua potable que tengan un tamaño mayor a 1.000 habitantes y se densifiquen por efecto de la obra misma, se va haciendo presente la necesidad de permitir que la propia comunidad agregue grifos de incendio, lo que no es posible hacer si no se definió desde el principio en la fase de proyecto.

En ese escenario, se recomienda aumentar el volumen en los estanques de manera que pueda atenderse un incendio aún a costa de la merma posterior en el servicio. Así por ejemplo, para poblaciones de menos de 6.000 habitantes, se debería fijar como volumen mínimo de regulación 115 m³ de un incendio de 2 horas con grifo de 16 l/s, manteniendo la exigencia de volumen de reserva de 2 horas del caudal máximo diario.

Para poblaciones mayores que eventualmente se consideraran rurales, el volumen mínimo de regulación debiera ser el del incendio correspondiente o establecer como recomendación que, cuando sea posible, ningún estanque alimente más de 6.000 personas.

De facilitarse la implementación de estas disposiciones, se debieran suprimir los estanques metálicos elevados y permitir el uso de estaciones presurizadoras con bombas con variador de frecuencia que mantengan la presión de servicio.

- **Otras consideraciones**

- Para permitir consideraciones técnicas que respondan a las condiciones específicas de instalación, la selección de materiales debiera depender del consultor, pero con la exigencia de que se usen siempre materiales autorizados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

- El diámetro de las redes debiera ser determinado con modelación computacional (EPANET o similar) para los caudales futuros y no debiera ser inferior a 63 mm.

- Se recomienda evitar el uso de cañerías clase 6, las que si bien pueden justificarse técnicamente por las presiones a las que quedan sometidas, han constituido una limitante seria para las posteriores extensiones del servicio que requieren levantar las presiones. De hecho, una de las mayores frecuencias de roturas en los servicios APR existentes está asociada a zonas con ese tipo de tubería.

Para permitir el uso de cañería clase 6, tradicionalmente se ha proyectado con presiones extremas muy bajas, criterio que ya se ha modificado en la mayoría de los diseños.

Las presiones extremas de trabajo en la red de la norma actual (8 a 40 m) debieran modificarse para homologarla a los sistemas urbanos (15 a 70 m), lo que exige la eliminación de las cañerías clase 6, de malos resultados prácticos.

- Debido a lo lineal de los trazados de redes, normalmente resulta difícil generar cuarteles independientes. No obstante, sería recomendable establecer, donde sea posible, la obligatoriedad de formar cuarteles independientes de no más de 2.000 m. y que toda matriz deba estar aislada y contar con válvulas cada 800 m. El diseño del acuartelamiento de la red también debe considerar su vaciamiento o lavado con sus respectivas válvulas y puntos de desagüe.

- Adicionalmente, se recomienda que las matrices principales sean diseñadas para caudales de incendio aun cuando este no cubra el 100% del territorio operacional, lo que facilitará también eventuales extensiones no previstas originalmente.

- Las pérdidas en los sistemas existentes normalmente aparecen como altas (aunque normalmente se trata de problemas en la medición más que de pérdidas reales) y considerar como criterio de diseño un porcentaje del orden del 20% pareciera difícil de alcanzar en el corto plazo.

- Se recomienda que en la fase previa al diseño se consulte a la Municipalidad por los permisos de construcción aprobados y en trámite, así como al MINVU acerca de la programación de futuras poblaciones dentro del territorio operacional.

- Se recomienda que todas las válvulas se instalen en cámara, permitiéndose el uso de cámaras prefabricadas de cualquier material aceptado por la SISS.
- Los arranques domiciliarios debieran seguir siendo mono usuario y su diseño debería uniformarse en plano tipo.

1.11.2.2 Sistemas de elevación

- Para definir los caudales de bombeo debiera permitirse elevar fuera de horas de punta todo el tiempo en lugar de las 12 horas de norma, permitiendo entre otros evitar que se sobredimensione innecesariamente el sistema.

1.11.2.3 Desinfección

- La desinfección mayoritariamente aplicada es utilizando el hipoclorito de sodio al 10% como reactivo y parece razonable mantener ese procedimiento por facilidad, simplicidad operativa y costo.

1.11.2.4 Normativa y disposiciones

- Las plantas elevadoras y plantas presurizadoras, deberían regirse por las normas y disposiciones de agua potable urbana y considerar siempre respaldo de energía.

Capítulo 2



Coltauco, Región de O'Higgins

Sistemas de aguas servidas

2 Sistemas de aguas servidas

2.1 Tecnologías para el tratamiento de aguas servidas

2.1.1 Tecnologías de tratamiento de aguas servidas aplicadas a sistemas particulares de tratamiento de aguas servidas

Los sistemas de tratamiento de las aguas servidas provenientes de sistemas rurales descentralizados, vale decir, aquellos que no cuentan con redes de alcantarillado, obedecen a criterios distintos a los de los sistemas centralizados y se aplican cuando obedecen a una baja densidad habitacional o la distancia con respecto a otros alcantarillados existentes es significativa.

Las aguas residuales provenientes de residencias individuales y otras instalaciones comunitarias en localidades sin alcantarillado, son usualmente administradas en forma individual o a través de sistemas locales de tratamiento y disposición.

Considerando que las tecnologías tradicionales aplicables en este ámbito no han sufrido conceptualmente mayores cambios conceptuales o modificaciones sustantivas, se presenta a continuación un resumen de los aspectos de importancia señalados en el "Estudio de Soluciones de Saneamiento Rural" de la División de Desarrollo Regional de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, en el marco del Programa de Infraestructura para el Desarrollo Territorial (PIRDT), 2008, estando en dicho estudio el detalle "in extenso" de los aspectos técnicos asociados. Otras alternativas individuales que han aparecido de la fecha de dicho estudio al presente, se detallan posteriormente.

En general, las alternativas de tratamiento más comúnmente adoptadas en este escenario son 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.

Por otro lado, 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 suspendidos y DBO respectivamente.

La principal ventaja con respecto a los pozos negros y letrinas consiste en que se constituyen en una solución más higiénica y permite instalar dependencias de baño y cocina, confiriéndole un nivel de calidad de vida superior. Adicionalmente, las fosas sépticas pueden ser incorporadas a un sistema centralizado (de implementarse).

En consecuencia, a la luz del 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 considerando como base mínima los sistemas en base a fosas sépticas, constituida en una de las más implementadas.

A modo general, se puede establecer que, para definir la viabilidad de las alternativas de disposición de los efluentes de una fosa séptica en el entorno inmediato, se deben tomar en consideración los siguientes aspectos, según corresponda:

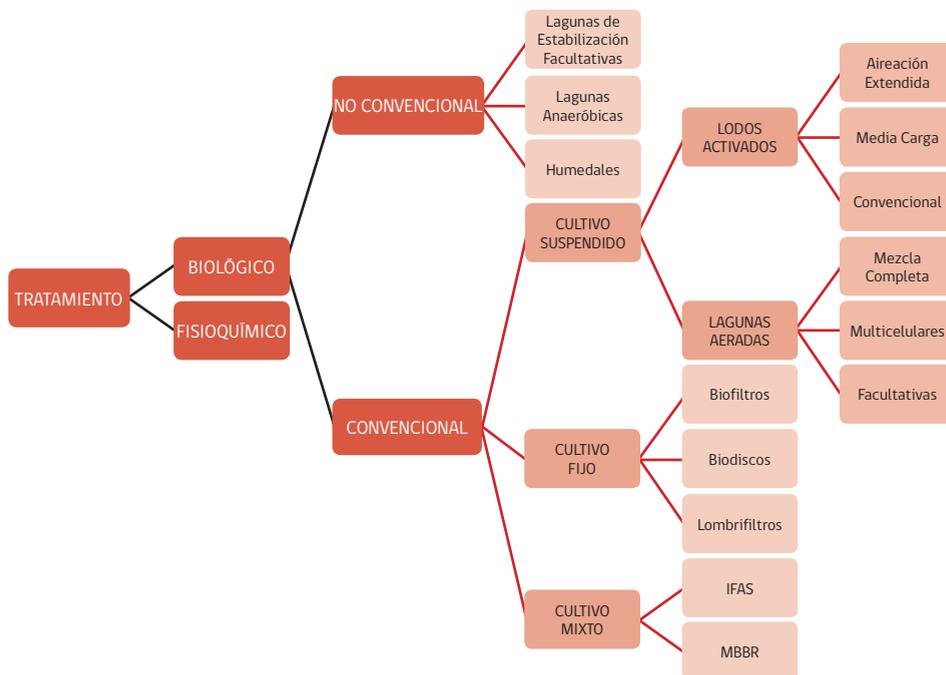
- Mecánica de suelos.
- Material y naturaleza del perfil estratigráfico.
- Permeabilidad.
- Nivel freático.
- Pendiente del terreno.
- Restricciones en la calidad de las aguas subterráneas.
- Disponibilidad de espacio.

2.1.2 Tecnologías de tratamiento de aguas servidas aplicadas a localidades semidispersas o aglomeradas

En el presente punto se detallan las principales características técnicas y económicas asociadas a las alternativas de tratamiento de aguas residuales aplicables a localidades semidispersas o aglomeradas del sector rural.

Para ello, se presenta a continuación el espectro global de alternativas de tratamiento de aguas servidas, las que pueden resumirse en la siguiente figura:

FIGURA N° 19.
Mapa de alternativas de tratamiento de aguas servidas



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 sistema responde fundamentalmente al comportamiento de la 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.) y normalmente no es usado en tratamiento de aguas servidas domésticas, a menos que la calidad del efluente no sea muy restrictiva, puesto que la eficiencia de remoción de los parámetros de interés no es suficiente para dar cuenta de calidades como la establecida por ejemplo en el DS 90/2000 para descarga a cuerpos de agua sin capacidad de dilución.

En cuanto a las alternativas biológicas, las del tipo no convencional son en general sistemas naturales (lagunas facultativas, aeróbicas o anaeróbicas) que requieren grandes áreas de terreno y la mayoría de ellas no cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema, no pudiendo, en consecuencia, asegurar la calidad exigida por la normativa vigente (DS 90/2000) en forma estable. Adicionalmente, ante cualquier desestabilización del sistema la calidad del efluente puede deteriorarse por largos períodos de tiempo.

Por otro lado, las alternativas del tipo convencional son en general sistemas mecanizados que requieren áreas de terreno significativamente menores que las del tipo no convencional y la mayoría de ellas cuenta con variables operativas que permiten controlar el sistema, de modo que aquellas que pueden remover los parámetros de interés hasta la calidad exigida por la normativa vigente (DS 90/2000 o DS 46/2002) en forma estable si están bien operadas.

Las alternativas de tratamiento más importantes del tipo convencional de tecnología establecida son las siguientes:

- Cultivo suspendido aeróbico (lodos activados y lagunas aireadas).
- Cultivo fijo (lechos bacterianos).
- Cultivo mixto (MBBR, IFAS).

- **Tecnologías tradicionales**

Las tecnologías tradicionales o tecnologías más importantes establecidas en el país, pueden resumirse del siguiente modo:

- Biológicas no convencionales.
 - Lagunas de estabilización facultativas.
- Biológicas convencionales.
 - Lodos activados en sus distintas versiones.
 - Biofiltros.
 - Biodiscos.
 - Lagunas aireadas multicelulares.

- **Nuevas tecnologías en el mercado**

Las nuevas tecnologías en el país, pueden resumirse del siguiente modo.

- Cultivo mixto (suspendido + fijo).
 - MBBR.
 - IFAS.
- Biofiltros con medio plástico.

- **Soluciones innovadoras**

En el actual estado del arte, han aparecido tecnologías innovadoras en el país, las que pueden resumirse del siguiente modo:

- Lombrifiltros.
- Humedales en distintas versiones.
 - Biotreat.
 - Lecho verde vertical de juncos.
 - Filtro vegetal con fibra de coco (tipo Ecoflo).

2.2. Análisis de tecnologías

2.2.1 Experiencia nacional

En lo referido a las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) para localidades semidispersas y aglomeradas, el país cuenta con más de 20 años de implementación y operación, habiendo alcanzado a principios de la actual década un 100 % de cobertura en el sector urbano. Ello ha permitido alcanzar una vasta experiencia nacional en el conocimiento, diseño, montaje y construcción de plantas de tratamiento con tecnología tradicional señaladas anteriormente.

Si bien es cierto que los tamaños de los sistemas de tratamiento de las aguas servidas del sector urbano llevan asociado un requerimiento significativamente mayor en términos de infraestructura y personal que los del sector rural, las tecnologías obedecen a los mismos principios de diseño y operación, lo que desde ese punto de vista hace que la experiencia nacional sea extensiva a su aplicación en el sector rural, especialmente en lo que dice relación con las plantas de pequeñas localidades.

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

2.2.2 Limitantes y restricciones

Lo señalado en el numeral anterior permite visualizar las principales restricciones y limitantes actuales en una adecuada operación y mantenimiento de las PTAS en el sector rural, las que en definitiva se ciñen a dos aspectos de capital importancia:

- Personal capacitado para operar plantas de mediana dificultad, como por ejemplo lodos activados.
- Capacidad económica para operar adecuadamente los sistemas de tratamiento. En plantas de altos costos operacionales como lodos activados, los costos de la energía eléctrica juegan un papel incidente.

Considerando que en el sector rural los costos operacionales deben ser solventados por la cooperativa, comité o municipalidad, este factor se constituye en uno de los eslabones más importantes desde el inicio de los estudios pertinentes, especialmente al momento de definir la tecnología y consecuente tarifa a adoptar en cada localidad.

Existen otras limitantes y restricciones propias de cada una de las tecnologías, las que se detallan al momento de analizarlas más adelante.

2.2.3 Propuesta de proyecto piloto

Los antecedentes señalados en los puntos anteriores llevan a la necesidad de considerar la realidad del sector rural al momento de definir tecnologías que aseguren un adecuado control y operación de las mismas, considerando no solamente las barreras técnicas sino también los consecuentes costos asociados.

A la luz de ello, se procedió a desarrollar un intensivo análisis de tecnologías nuevas que están incursionando en el mercado, considerando que permitan cumplir con las condiciones tanto de una fácil operación como con costos de operación razonables para el sector.

Efectuado dicho análisis, se recomienda considerar alguna(s) de la(s) siguiente(s) tecnología(s) para emplazarlas como proyectos piloto, a la luz de cuya operación se pueda dilucidar su comportamiento técnico y económico y su viabilidad en el sector rural:

- Nanotecnología para la recuperación de aguas servidas domésticas.
- Humedales en distintas versiones.
 - Biotreat.
 - Lecho verde vertical de juncos.
 - Filtro vegetal con fibra de coco (tipo Ecoflo).

El sistema de **nanotecnología** es ofertado por la empresa HYDROSOL, la que ofrece un sistema de tratamiento compacto y modular para el tratamiento biológico y recuperación de aguas servidas mediante la acción de bacterias que crean una película biológica en forma natural.

El reactor biológico Hydro-BG contiene un set de membranas de nanocerámica las que ofician como sustrato y hábitat ideal para los microorganismos.

El sistema no requiere sistemas de aireación ni insumos para su mantención y se alimenta vía gravitacional, siendo la única energía que se requiere la necesaria para una pequeña bomba que permita recircular el agua a través de las membranas.

En lo referido a las distintas versiones de humedales, el denominado **biotreat** corresponde a una tecnología desarrollada por Fundación Chile, la cual se encuentra en proceso de patente nacional e internacional.

La tecnología es transferida desde Alemania y corresponde a una simbiosis entre la capacidad de depuración de los sistemas de humedales artificiales y los sistemas microbiológicos de un tratamiento en base a filtración biológica.

Al igual que la tecnología del biotreat, el **lecho verde vertical de juncos** corresponde también a una versión de humedales y está representada por la empresa Syntea, dueña de la patente de esta tecnología y que, de acuerdo a los antecedentes aportados, cuenta con más de 2.500 plantas en Francia en colectividades que van desde 20 a 6.000 habitantes servidos.

Su principio de depuración se basa en el desarrollo de una biomasa aeróbica fijada sobre un suelo reconstituido con aportación de oxígeno por las pequeñas raíces de las plantas denominadas juncos.

La disposición vertical se adopta para que la velocidad de paso del agua por el lecho no sea excesivamente rápida o lenta. Se desarrolla en Europa como alternativa a los humedales horizontales pues tienen mayor capacidad de tratamiento, requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica y son menos susceptibles a la colmatación.

En cuanto al **filtro vegetal con fibra de coco (tipo Ecoflo)** está representado por la empresa INFRAPLAST y consta de una fosa séptica para clarificar las aguas servidas reteniendo sólidos y lodos seguida de un prefiltro que tiene por objeto evitar el paso de partículas gruesas superiores a 1,6 mm al sistema de filtro vegetal.

Seguidamente, las aguas servidas pasan a un estanque para filtro vegetal fabricado en polietileno, desde donde ingresan a un sistema de basculación y placas repartidoras para asegurar una repartición uniforme de las aguas servidas sobre la superficie del medio filtrante, sin necesidad de energía.

Las aguas percolan a través del medio filtrante compuesto de materia 100% orgánica que funciona como una barrera física reteniendo los agentes contaminantes. Las aguas servidas tratadas pueden ser evacuadas a un cuerpo receptor o infiltradas en el suelo mediante una cancha de gravilla y una capa de suelo natural.

2.3 Consideraciones para el diseño y evaluación de tecnologías de tratamiento de aguas servidas

2.3.1 Campos de aplicación

Los campos de aplicación de las tecnologías se ciñen al ámbito rural, debiendo distinguirse entre las tecnologías aplicadas a sistemas particulares de tratamiento de aguas servidas (sistemas descentralizados) y los aplicables a localidades semidispersas o aglomeradas.

Los sistemas rurales descentralizados son aplicados cuando se dan entre otras una baja densidad habitacional, la distancia con respecto a otros alcantarillados existentes es significativa o no cuentan con redes de alcantarillado.

2.3.2 Criterios generales

2.3.2.1 Bases de cálculo

Los antecedentes más importantes que se requiere evaluar para definir las bases de cálculo asociadas a plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) pueden resumirse de acuerdo al siguiente detalle:

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

La población corresponde al porcentaje de la misma que está conectada a la red de alcantarillado y que en consecuencia aportará a la PTAS.

El caudal medio afluente de aguas residuales debe considerar el aporte tanto de las aguas servidas domésticas como de las aguas de infiltración, aguas lluvia y RILES que empalman a la red de alcantarillado (estos últimos dando cuenta del DS 609/1998).

Adicionalmente, los caudales medio diario anual, de verano y resto del año, así como el caudal máximo horario se requieren para el dimensionamiento de determinadas componentes unitarias del sistema de tratamiento, especialmente en aquellas dependientes de la hidráulica (tratamiento preliminar, sedimentación, etc.).

Los caudales de diseño a aplicar en las diferentes componentes unitarias de las configuraciones de tratamiento obedecen al siguiente detalle:

Medio diario anual. Corresponde al valor medio diario anual del consumo multiplicado por el coeficiente de recuperación.

Medio período verano. Corresponde al valor medio del caudal del período de verano (generalmente enero a marzo y diciembre de cada año).

En general, el verano lleva asociado un mayor consumo de agua potable (mayor frecuencia de duchas, mayor consumo, etc), por lo cual el caudal resultante es mayor que el caudal medio diario anual (en general 5 - 20%).

Medio período resto del año. Corresponde al valor medio del caudal del resto del año (generalmente abril a noviembre).

En general, el resto del año lleva asociado un menor consumo de agua potable, por lo cual el caudal resultante es menor que el caudal medio diario anual (en general 5 - 15%).

Máximo horario. Corresponde a la condición de máximo horario alcanzado a lo largo del año.

Para poblaciones superiores a 1.000 habitantes, el caudal máximo horario de aguas servidas se obtiene a partir del coeficiente de Harmon, en tanto que para poblaciones entre los 100 y 1.000 habitantes se determina por interpolación entre los valores de la Boston Society of Civil Engineer's y el Harmon.

- **Características de las aguas residuales**

- **Carga orgánica**

La estimación de la carga orgánica doméstica afluente al sistema de tratamiento (KgDBO/d) se puede calcular sea como el producto del caudal medio anual y la concentración de la DBO o en base al aporte per cápita aplicado a la población servida de la localidad.

- **Otros parámetros de interés**

En lo referido a las características de las aguas servidas crudas del resto de los parámetros de interés, se deben obtener las correlaciones SST/DBO, NKT/DBO y PT/DBO específicas para la localidad.

- **Calidad del efluente para dar cumplimiento a la normativa vigente**

Otro aspecto de importancia en la definición de las bases de cálculo lo constituye la calidad requerida del efluente conforme lo establecido por la normativa vigente, la que puede sistematizarse de acuerdo al siguiente detalle:

- **Normas de emisión**

- Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. **DS 90/2000.**
- Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. **DS 46/2002.**
- Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado. **DS 609/1998.**

- **Normas de calidad**

- **Norma NCh 1.333. Of 78.** Requisitos de calidad de agua para diferentes usos.

El análisis de la normativa vigente se encuentra desarrollado en otros capítulos del presente estudio.

- **Consideraciones técnicas asociadas a las bases de cálculo**

En general, no se cuenta con antecedentes estadísticos representativos de los parámetros de interés (caudales de las aguas servidas crudas, dotación de consumo, aporte per cápita en términos de DBO, concentraciones de los parámetros, etc.) en el sector rural.

- **Caudal medio diario anual**

El caudal medio diario anual es una variable de capital importancia para la adopción de las bases de cálculo, y su obtención obedece a la siguiente ecuación.

$$Q_{\text{med}} = P * D * R / 86.400 \text{ (l/s)}$$

donde

- Qmed = Caudal medio diario anual (l/s)
- P = Población servida media anual (hab)
- D = Dotación de consumo medio anual (l/hab/d)
- R = Coeficiente de recuperación

- **Población a servir y su proyección a lo largo del período de previsión**

La población a servir debe obtenerse en base a un catastro previo o como el inicio del estudio para poder definir las bases de cálculo, de capital importancia para definir las condiciones de borde del tratamiento a definir y su adecuado dimensionamiento a lo largo del período de previsión.

Para los efectos del presente estudio y con el objeto de mantener una base comparativa común entre las diversas tecnologías de tratamiento se ha considerado un valor conservador del 2% como tasa de crecimiento de la población en el sector rural.

Donde se cuente con información estadística histórica de al menos los últimos 5 años para obtener una tasa real de crecimiento o donde se considere que la tasa vegetativa no sería representativa del crecimiento de la población, deberá efectuarse un estudio específico que permita obtener un crecimiento adecuado a la realidad para su adopción.

Un parámetro de alta importancia, aunque de uso indirecto, lo constituye la densidad habitacional, toda vez que la definición de la población en numerosos casos recurre a un catastro de las viviendas y la correspondiente densidad habitacional.

Un primer antecedente lo constituye la Información contenida en el "Estudio de Soluciones de Saneamiento Sanitario", KRISTAL Ltda., enero de 2007, cuyos principales aspectos pueden resumirse del siguiente modo:

"...

El cuadro anterior permite preciar que el 13.4 % de la población total es Rural, alcanzando un total de 2.026.322 habitantes. Por otro lado, la distribución de la población rural a lo largo del país muestra que la mayor concentración que esta experimenta está dada en la zona central del territorio nacional (96% de población rural del país se ubica entre la 4ª Región y la 10ª Región).

Análogamente, el resultado del Censo en cuanto al recuento de viviendas puede resumirse del siguiente modo.

TABLA N° 31
Resultados de vivienda. Censo 2002

Población	Viviendas ocupadas	Viviendas desocupadas	Viviendas totales
Urbana	3.426.442	312.706	3.739.148
Rural	549.629	111.175	660.804
Total	3.976.071	423.881	4.399.952

Fuente : INE. Censo 2002

A la luz del cuadro anterior, se puede concluir que las viviendas rurales (660.804) corresponden al 15% de las viviendas totales del país.

*Procesando y correlacionando la información de ambos cuadros, se puede apreciar que la densidad promedio para el ámbito rural resulta ser de **3,1 habitantes por vivienda**, de capital importancia para efectos de estimar la población real servida, especialmente si se considera que la densidad generalmente adoptada para efectos del diseño es superior (4 - 6 habitantes por vivienda).*

...”

Por otro lado, la empresa CODAM facilitó información referida a las bases de cálculo adoptadas en sistemas rurales de la VI Región para el período comprendido entre los años 2003 y 2016, la que contiene la densidad habitacional, cuyo procesamiento permitió obtener lo siguiente.

FIGURA N° 20
Índice habitacional



A la luz de los resultados obtenidos, se puede apreciar un índice habitacional medianamente constante para todo el período de estudios realizados (2003 -2016).

Aplicando análisis estadístico y ajuste por exclusión de datos, se llega a lo siguiente:

TABLA N° 32
Índice habitacional sector rural

Año	Índice hab	Media
2003	5,0	
2004	5,0	
2005	6,0	
2006	5,5	
2007	4,8	
2008	5,0	5,2
2009	5,0	
2010	5,0	
2011	5,0	
2012	5,2	
2013	4,4	
2014	4,7	
2015	5,5	
2016	4,0	
		5,0

Considerando que gran parte de los estudios de CODAM corresponden a mejoramientos o ampliaciones, es dable concluir que los valores adoptados sean representativos de las densidades habitacionales medias.

Por otro lado, en la visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Quiñipeumo, ubicada en la VII Región, se reportó que la densidad habitacional producto de un catastro efectuado a las residencias que empalman a la PTAS arrojaron un valor medio de 4 hab/vivienda.

Asimismo, antecedentes referidos a un sistema rural en la V Región (Putendo) muestran que 73 personas habitan 16 casas, lo que arroja una densidad habitacional de 4,6 hab/vivienda.

A la luz de lo anterior, la principal conclusión radica en que la densidad habitacional se encuentra entre **3 y 5 habitantes por vivienda**, y que su valor depende de la localidad

o sector específico a lo largo del país, por lo que deberá ser obtenida en forma previa al desarrollo del proyecto de ingeniería a través de un catastro que permita cuantificar la población de manera adecuada.

- **Dotación media anual de consumo**

Para el análisis de la dotación, se recurrió primeramente a la información contenida en el estudio "Soluciones de Saneamiento Rural" de la División de Desarrollo Regional de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo del año 2008, en el marco del Programa de Infraestructura para el Desarrollo Territorial (PIRDT), cuyos principales aspectos pueden resumirse del siguiente modo:

" ...

Los servicios de Agua Potable Rural que no poseen Sistemas Colectivos de Alcantarillado de Aguas Servidas, presentan actualmente un nivel de dotación media anual que fluctúa aproximadamente entre 80 y 140 lt/hab/d, dependiendo de la zona del país en la cual se sitúen.

Con la instalación de un sistema de Saneamiento, el comportamiento de estos sistemas mostrará un incremento en el uso de agua, alcanzando en definitiva niveles de dotación media anual superiores al rango indicado anteriormente, y que se ubicarían entre los 120 y 160 lt/hab/d.

En general, aquellas viviendas que actualmente no cuentan con solución de Agua Potable y que a futuro tendrán solución simultánea de Agua Potable y Alcantarillado, presentarán un comportamiento distinto al de aquellas viviendas que tienen solución de agua potable durante varios años. Ello implica que el nivel de dotación para estas viviendas (con solución simultánea de AP y Alc.) deberá situarse en el nivel inferior del rango antes indicado, vale decir, entre 80 y 120 lt/hab/d.

" ...

Fuente: "Soluciones de Saneamiento Rural, Subdere, 2008"

Según el escenario del sector rural, la dotación de consumo varía entre 80 y 160 l/hab/día, lo que junto con un coeficiente de recuperación igual al normalmente adoptado en localidades del tipo urbano (0,8) permite estimar el caudal de aguas servidas crudas.

Por otro lado, la empresa CODAM facilitó información referida a las bases de cálculo adoptadas en sistemas rurales de la VI Región para el período comprendido entre los años 2003 y 2016, la que contiene dotaciones de consumo, cuyo procesamiento permitió obtener lo siguiente:

FIGURA N° 21
Dotación AP sector rural (VI R)



A la luz de los resultados obtenidos, se puede apreciar una dotación medianamente constante para el período 2003 - 2008 y un claro incremento para el período 2009 - 2016.

Aplicando análisis estadístico a ambos períodos y ajuste por exclusión de datos, se llega a lo siguiente:

TABLA N° 33
Dotación AP sector rural

Año	Dot med anual [l/hab/día]	Media
2003	120	
2005	123	
2007	127	
2008	124	123
2009	150	
2010	148	
2011	150	
2012	142	
2013	150	
2015	150	
2016	150	149

A la luz de los resultados obtenidos, se puede apreciar un aumento en la dotación de consumo desde 120 al orden de 150 l/hab/día a partir del año 2009 al presente.

Por la importancia de este parámetro en el dimensionamiento de las plantas de tratamiento, la dotación debe ser obtenida caso a caso a la luz de mediciones específicas en la localidad (consumos y población servida). De no contarse con información se puede adoptar referencialmente una dotación de 150 l/hab/día como dotación media anual de diseño.

- **Coefficiente de recuperación**

En lo referido al coeficiente de recuperación, corresponde a la fracción del agua consumida que retorna a la red de alcantarillado y que en el país es considerado normalmente como el 80% del consumo, vale decir $R = 0,8$. Cuando la población destina parte su consumo a actividades que no retornan al alcantarillado como riego, lavado de vehículos, etc., el coeficiente de recuperación es menor y cuando la mayoría de las actividades retornan al alcantarillado, es mayor.

La adopción del valor debe ser consistente con los hábitos y características específicas de la población servida.

- **Características de las aguas servidas crudas en el sector rural**

Para visualizar las principales características de las aguas servidas, en el Anexo N° 2 (versión digital) se presenta un resumen de los principales aspectos específicos de los parámetros asociados a la calidad de las aguas servidas domésticas y las principales relaciones entre ellos, a partir de lo cual se puede extraer el siguiente resumen referencial:

- **Rango de concentraciones típicas**

- DBO 150 - 300 mg/l
- SST 130 - 320 mg/l
- NKT 40 - 80 mg/l
- PT 5 - 15 mg/l

- **Rango de relaciones típicas parámetro/DBO**

- SST / DBO 0,8 - 1,2
- SSV / SST 0,75 - 0,80
- NKT / DBO 0,2 - 0,3
- PT / DBO 0,04 - 0,06

- **Adopción de las bases de cálculo para el sector rural**

Al presente no se cuenta con registros estadísticos que permitan caracterizar la calidad de las aguas servidas crudas del sector rural de manera típica y representativa.

Si se cuenta con información representativa de la calidad de las aguas servidas crudas deberá ser adoptada para efectos de definir las bases de cálculo que permitan la posterior definición y dimensionamiento del sistema de tratamiento, lo cual es de gravitante importancia para una definición cabal del saneamiento pues las características de las aguas servidas son propias de cada localidad.

Si no se cuenta con información al respecto, o se deben adoptar bases de cálculo para un sistema que en ese momento no cuenta con red de alcantarillado (lo que imposibilita contar con información respecto a las características de los principales parámetros de interés), se recomienda homologar preliminarmente las bases de cálculo a las del sector urbano (en término de los parámetros de interés), vale decir, los siguientes:

• Aporte per cápita	30 - 40 grDBO/hab/día
• SST/DBO	1,00
• NKT/DBO	0,25
• PT/DBO	0,05
• Aceites y Grasas	0,20

Si el sistema cuenta con red de alcantarillado, se pueden efectuar mediciones de caudal y caracterización de los principales parámetros de interés, el principal de los cuales lo constituye el aporte per cápita, cuya metodología de cálculo se presenta en el Anexo N° 2 al presente informe (versión digital).

2.4 Diseño de plantas de tratamiento de aguas servidas

2.4.1 Consideraciones básicas

En este punto se abordarán dos aspectos específicos, los que se refieren específicamente al número de componentes unitarias y trenes de tratamiento y por otro lado a las componentes unitarias comunes a todo sistema de tratamiento.

- **Número de componentes unitarias y trenes de tratamiento**

En lo relacionado con el número de componentes unitarias, uno de los primeros aspectos a considerar dice relación con la incorporación de componentes unitarias que estén oficiando de componente en *stand-by*, lo cual no es práctica usual pues ello implicaría que se duplicarían si se define un solo tren, o de contarse con 2 trenes las componentes unitarias aumentarían en un 50 %.

En cuanto a los trenes propiamente tales, al considerar la sensibilidad del costo de inversión en relación a la población servida de plantas pequeñas, se opta por considerar un solo tren de tratamiento, pero tomando los resguardos del caso.

En efecto, el diseño del proceso de un sistema en base a un solo tren debe contemplar las adopciones necesarias para operar sin detener el proceso de tratamiento. Así, por ejemplo, si la aireación del tratamiento biológico de un sistema en base a lodos activados corresponde a un sistema por difusión, se deberá contemplar una parrilla fragmentable de difusores a objeto de extraer alguna de sus secciones para su mantención o reparación, manteniendo el resto de las secciones en operación al interior del tanque de aireación y con el equipamiento adicional que permita asegurar la continuidad en el abastecimiento de oxígeno al sistema de aireación. En el caso de aireación superficial aplicable en general a sistemas en base a lagunas aireadas, se deberá contar con *stock* de repuesto para efectos de sustitución inmediata de los equipos que se deban sujetar a reparación o mantención.

No ocurre lo mismo con componentes unitarias como la sedimentación, en que si se contempla puente barredor se constituye en la variable crítica. De presentarse problemas con el equipamiento del barredor, la componente unitaria quedará operando 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.

En cuanto a determinados equipos, especialmente bombas, no ocurre lo mismo que con las componentes unitarias, toda vez que se debe contemplar en general el número de unidades que permita contar con capacidad adecuada para los cambios de condiciones operativas como también unidades en *stand-by*. Para dar cuenta de lo anterior, el número de unidades de la configuración de equipos en determinados casos es del tipo "n+ 1".

Otro aspecto de vital importancia a considerar al momento de definir los trenes de tratamiento, especialmente en el sector rural, lo constituye el comportamiento de la conexión de la población de diseño a la red de alcantarillado.

En efecto, la conexión de la población en el sector rural ha demostrado en gran número de casos ser paulatina en el tiempo, máxime si se considera la población comprometida al horizonte del período de previsión.

Una alternativa viable para dar cuenta de este aspecto puede consistir en considerar dos trenes de tratamiento cuya capacidad total sea la del horizonte del período de previsión, de modo de operar con un solo tren desde el inicio del período de previsión hasta que alcance su capacidad instalada, en que entren en operación los dos trenes. En plantas del tipo compacto esta modalidad no presenta un costo elevado en términos de obra civil.

En términos operacionales y de mantención no presentará problemas y se podrá efectuar una adecuada operación del sistema, la que consistirá en que en tanto se requiera de un solo tren, se operen alternadamente los trenes, de modo de evitar los problemas colaterales que generan el tener un tren detenido por largo tiempo, tanto en lo referido a las obras civiles como fundamentalmente los equipos asociados a cada uno de ellos.

- **Componentes unitarias comunes a todos los sistemas de tratamiento**

A continuación, se detallan las obras específicas comunes incluidas en el diseño de los sistemas de tratamiento de todas las tecnologías.

- **Tratamiento preliminar**

Las componentes unitarias del tratamiento preliminar incluyen rejas, desarenación y desgrasado. las primeras consideran en general rejas gruesas y finas y las dos últimas pueden ir juntas o separadas. Adicionalmente, el mercado oferta el denominado tratamiento preliminar compacto que incorpora las tres componentes en una sola.

- **Tratamiento preliminar compacto**

El sistema compacto viene ofertado normalmente en acero Inoxidable y su presencia en el mercado es cada vez más competitiva con respecto a otras modalidades, disminuyendo ostensiblemente su costo con respecto a algunos años atrás.

- **Tratamiento preliminar con componentes unitarias independientes**

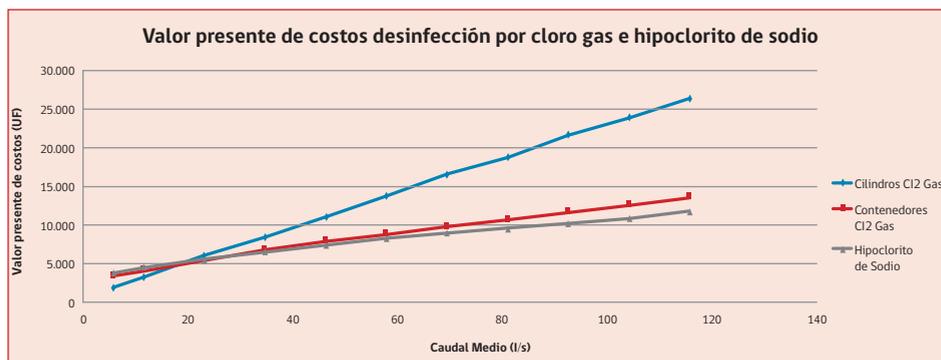
El diseño tradicional considera en general las unidades mecánicas de desbaste, desarenación y desgrasado (o desarenación/desgrasado en una sola componente) insertas en obras de hormigón. Las obras del desbaste contemplan una reja (manual o mecanizada dependiendo del tamaño de la PTAS) y una componente en *stand by* (normalmente manual), además de la unidad de desbaste manual del *by-pass*. En cuanto a la componente unitaria de desarenación y desgrasado, en general forman parte de una sola componente unitaria en una cámara definida para un tiempo de residencia hidráulico entre 2 y 5 minutos que integra el puente barredor de arenas y el sistema de extracción de arenas.

- **Desinfección**

Las alternativas de desinfección del efluente por cloración más comúnmente utilizadas usan como reactivos cloro gas o hipoclorito de sodio.

Un análisis técnico económico efectuado por la consultora permite llegar a los siguientes resultados:

FIGURA N° 22
Comparación costos desinfección aguas servidas



Fuente: Elaboración propia

A la luz de la figura anterior se puede concluir lo siguiente:

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

• **Deshidratación de lodos**

La deshidratación de los lodos se puede llevar a cabo por sistemas mecanizados o utilizando lechos de secado si la climatología y disponibilidad de terreno así lo permiten.

El proceso de deshidratación mecanizada de lodos considera en general la adopción de algún equipo en base a filtro prensa, filtro banda o centrífuga. Cada uno de estos equipos permite la deshidratación de lodos espesados o digeridos (a eficiencias distintas).

• **Deshidratación mecanizada por filtro prensa**

El principio físico del filtro prensa considera fundamentalmente la aplicación de una presión elevada a los lodos para la deshidratación de los mismos.

Las capacidades en función de la carga de sólidos y/o la tasa hidráulica pueden resumirse referencialmente del siguiente modo:

TABLA N° 34
Capacidad referencial filtros prensa

Volumen	pie ³	0,5	1	2	3	5
Capacidad	kg/ciclo	14	28	57	85	142
Duración ciclo	h/ciclo	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Volumen por placa	pie ³ /placa	0,194	0,194	0,194	0,194	0,194
N° requerido placas		3	6	11	16	26
Carga sólidos	kg/h	9	19	38	57	94
Tasa hidráulica	m ³ /h	0,4	0,8	1,5	2,3	3,8

Fuente: Elaboración propia

- **Deshidratación mecanizada por filtro banda**

Los equipos comerciales que existen en el mercado corresponden a anchos de banda de 0,5; 1,0; 1,2; 1,5 y 2,0 metros.

Las capacidades en función del ancho de banda pueden resumirse referencialmente del siguiente modo:

TABLA N° 35
Capacidad referencial filtros banda.

Ancho banda	Carga sólidos	Potencia
	kg lodo/hr	kw
0,5	125	4,1
1,0	250	5,6
1,5	375	6,2
2,0	499	7,7

Fuente: Elaboración propia

- **Deshidratación mecanizada por centrífuga**

La deshidratación por medio de centrífuga aplica diferencia de densidad como método de separación. Las centrífugas normalmente utilizadas poseen capacidades entre 3 y 14 m³/h.

Las capacidades en este equipamiento están dadas por el caudal a deshidratar y pueden resumirse referencialmente del siguiente modo:

TABLA N° 36
Capacidad referencial centrífugas

Caudal m ³ /h	Potencia kw
3,0	8,0
9,0	14,0
14,0	19,0

Fuente: Elaboración propia

Un análisis técnico económico referencial efectuado por la consultora permite concluir que para poblaciones menores a 5.000 habitantes el valor presente de costos del filtro prensa resulta el más conveniente.

- **Deshidratación por lechos de secado**

Si la climatología y disponibilidad de terreno así lo permiten, la deshidratación de los lodos se puede llevar a cabo utilizando lechos de secado, los que si bien tienen un costo de inversión relativamente alto y en algunos casos equiparable con el de los sistemas mecanizados, tiene la enorme ventaja de los bajos costos de operación y simplicidad operativa asociada.

En el país gran parte de las PTAS del sector rural cuenta con lechos de secado, los que de tener capacidad adecuada para permitir rotar periódicamente los lodos cada 3 meses, tendrían la ventaja adicional de constituirse en una de las alternativas más viables de aplicar para obtener lodo clase B como se detalla en el análisis y evaluación de la aplicación en el sector rural del reglamento para el manejo de lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas que se presenta en otra sección del presente estudio.

2.4.2 Tecnologías de tratamiento de aguas servidas aplicadas a sistemas particulares de tratamiento de aguas servidas

2.4.2.1 Generalidades

La forma más simple usualmente adoptada en el sector rural fue la de descarga directa sobre cursos de agua, canales o quebradas, lo que condicionaba la ubicación fuera de la vivienda y relativamente lejos de ella.

Donde no existía curso de agua cercano, se reemplazó la descarga directa por una excavación bajo la sala de baño, la que almacenaba las excretas infiltrando la parte líquida y que en el país es conocida como pozo negro, el que cuando se llenaba, simplemente se reemplazaba.

La incomodidad que producen los olores y mosquitos que salen a través del asiento hicieron que en algunas instalaciones se alejara la caseta del pozo, entregándole por cañería, lo que permite reemplazar el pozo sin mover la caseta.

Considerando el actual estado del arte en lo que a tratamiento de aguas servidas se refiere en el sector rural del país, se considerará el análisis de alternativas viables de tratamiento considerando como base mínima los sistemas en base a fosas sépticas.

Las fosas sépticas efectúan un tratamiento parcial de las aguas servidas con almacenamiento prolongado de los sólidos retenidos y cuyo efluente se infiltra subsuperficialmente en los terrenos circundantes.

Los sistemas alternativos de tratamiento para residencias individuales incluyen varios tipos de tratamiento del tipo aeróbico y filtros de lecho empacado (usualmente arena como medio) con flujo intermitente y con recirculación.

En otros casos, como los conjuntos residenciales, se suelen combinar sus aguas residuales y enviarlos a sistemas descentralizados para su tratamiento, los que en general consideran fosas sépticas de volumen más apreciable o una serie de fosas más pequeñas.

Resumiendo, las componentes unitarias más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en sistemas pequeños y descentralizados (sujetos en general a limitaciones económicas) pueden resumirse de acuerdo al siguiente detalle.

TABLA N° 37
Alternativas típicas de tratamiento de aguas servidas en sistemas descentralizados

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

En las zonas rurales que cuentan con tratamiento particular prevalecen los sistemas individuales de disposición de aguas residuales en el entorno inmediato, involucrando la mayoría de ellos algunas variaciones de disposición subsuperficial.

2.4.2.2 Consideraciones técnicas

Las principales características y consideraciones técnicas de las alternativas de tratamiento individual utilizados pueden resumirse del siguiente modo.

- **Letrina ecológica seca**

La Universidad Austral de Chile (Escuela de Construcción Civil) ha recuperado para zonas apartadas de la XI Región, un antiguo sistema de extracción y disposición de excretas rurales que se basa en la evacuación de aguas servidas, previa separación de excretas y orina, mediante la utilización de una taza-asiento de diseño especial, y en que no se utiliza agua para el arrastre de estos residuos. También utiliza el principio de compostaje como solución para la descomposición de las excretas.

Este sistema se planteó como plan piloto para 9 localidades rurales, con un total construido de 23 unidades, entre ellas Ñirehuao (comuna de Coyhaique), El Balseo (comuna de Aysén), Cerro Castillo (comuna de Río Ibáñez), Puerto Bertrand (comuna de Chile Chico), Caleta Tortel (comuna de Tortel).

En el fondo, el sistema es un pozo negro donde no se deposita agua, pero que mantiene las características de contaminar el suelo y la napa. No ofrece ninguna ventaja sobre el tradicional sistema de fosa y pozo absorbente.

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.

- **Fosas sépticas**

Una fosa séptica se usa para recibir la descarga de aguas residuales provenientes sea de residencias individuales o de otras instalaciones sin red de alcantarillado. 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, cuyas principales características se detallan en el Anexo N° 3 del presente estudio (versión digital).

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. Las grasas, aceites y demás material ligero 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 o ser sometida a una unidad de tratamiento complementario si se requiere.

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 (CO_2), metano (CH_4) y sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico (H_2S).

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 este 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 conforme un programa de mantenimiento definido.

En relación a la configuración moderna de estas unidades, las principales consideraciones que se deben tener presente dicen relación con que 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.

En relación a los criterios de diseño, se han desarrollado varias relaciones empíricas para estimar el tamaño de las fosas sépticas, recomendando varios autores un tamaño mínimo de 750 galones ($2,8 \text{ m}^3$).

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.

No obstante, 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:

TABLA N° 38
Criterios de diseño para el dimensionamiento de una fosa séptica

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
Período almacenamiento lodo	días	365
Coef. reducción volumen lodo en digestión		0,5
Período digestión	días	60

Una vez obtenido el volumen mínimo de diseño, se debe considerar que las variaciones diarias y horarias de determinados parámetros de las bases de cálculo exigirán considerar un volumen adicional. De igual modo, 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.).

Considerando lo señalado anteriormente, se recomienda adoptar un 20 % de volumen adicional.

Finalmente, los proveedores del mercado ofertan en general volúmenes estandarizados de fosa séptica, por lo cual se deberá adoptar el volumen más cercano al definido.

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.

- **Otras soluciones individuales**

A objeto de poder contar con información técnica de alternativas de tratamiento distintas a las fosas sépticas, se presenta a continuación un resumen de los 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 se presenta a continuación en forma referencial, el resumen de las tecnologías disponibles en el mercado local.

- **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 (aireación 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).

Los sistemas en base a esta tecnología constan en general de una cámara de rejillas, cuya función es retener sólidos o plásticos que no pueden ser degradados por la planta. Seguidamente, el afluente ingresa a un reactor aeróbico donde es sometido a aeración para mantener una población bacteriana aeróbica que reduce el material orgánico.

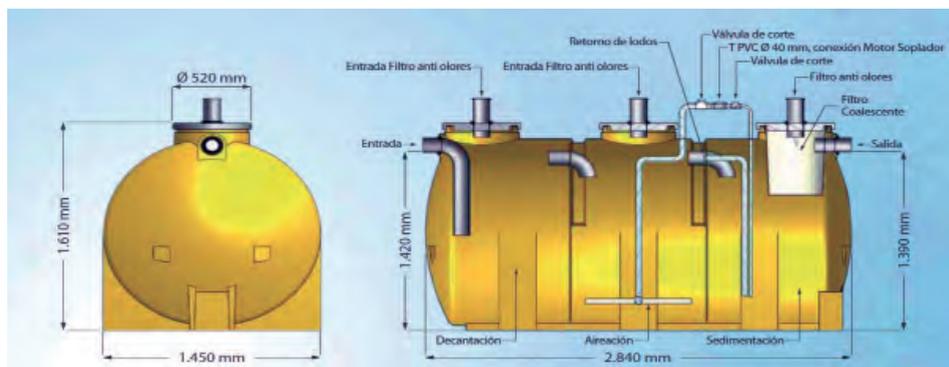
El efluente del tanque de aireación es enviado a la componente de sedimentación, donde tiene lugar un proceso de clarificación de las aguas servidas por medio de la decantación de las partículas en suspensión al fondo del estanque. El líquido sobrenadante es descargado a la unidad de desinfección, en tanto que los lodos sedimentados son retornados al tanque de aireación.

La componente de desinfección contempla un dispositivo clorador en base a tabletas de hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio al 10% y un estanque de contacto.

Las componentes unitarias de esta tecnología deben incorporar en general manifold de aireación, difusores de membrana, sopladores y tablero de control, sistema airlift para retornar lodos desde la sedimentación secundaria al tanque de aireación, equipo clorador en base a tableta de hipoclorito de calcio y estanque de contacto para 30 minutos de retención

Finalmente, la reducción de costo derivada del avance de la industria, especialmente la de producción de plásticos y el cambio de las exigencias de la autoridad sanitaria han ido incorporando plantas de tratamiento completas al uso individual, contemplando aireación, sedimentación, desinfección (y eventualmente decloración), como se puede apreciar en la siguiente figura.

FIGURA N° 23
Planta individual de lodos activados



Fuente. Infraplast.

- **Tratamiento en base a cultivo fijo**

El sistema de tratamiento está compuesto de las mismas componentes unitarias de los lodos activados, con excepción del tanque de aireación, el que es reemplazado por un filtro biológico.

- **Otras alternativas 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 en base a **humedales**, las que en general contemplan una componente previa para separar sólidos como sedimentación primaria, fosa séptica, etc. Seguidamente, el efluente es ingresado a una componente de tratamiento que funciona de forma natural en base a plantas como totora, juncos y del tipo acuático como el jacinto acuático (*Eichhornia Crassipes*), cuyo efluente es sometido a desinfección por cloración y posterior dechloración (de requerirse).

2.4.3 Tecnologías de tratamiento de aguas servidas aplicadas a localidades semidispersas o aglomeradas

2.4.3.1 Generalidades

El tratamiento y disposición de aguas servidas en localidades rurales semidispersas que cuenten con red de alcantarillado o localidades rurales aglomeradas, es homologable a aquellos sistemas aplicados en pequeñas localidades del sector urbano.

Las alternativas de tratamiento corresponden a las señaladas en el numeral 2.1.2 del presente informe.

En términos globales, el tratamiento del tipo fisicoquímico involucra el mejoramiento de la calidad de las aguas servidas por reacción física y química sobre la base de adición de reactivos específicos.

En cuanto a las alternativas biológicas de mayor aplicación en el tratamiento de aguas servidas domésticas, las del tipo no convencional son en general sistemas naturales (lagunas facultativas, anaeróbicas o sistemas Wetland), que requieren grandes áreas de terreno, y la mayoría de ellas no cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema, no pudiendo en consecuencia asegurar la calidad exigida por la normativa vigente.

Por otro lado, las alternativas del tipo convencional son en general sistemas mecanizados y la mayoría de ellas cuenta con variables operativas que permiten controlar el sistema, de modo que bien operadas pueden asegurar la calidad exigida por la normativa vigente en forma estable. Las más importantes alternativas de tratamiento del tipo convencional de tecnología establecida corresponden a las del tipo cultivo suspendido aeróbico (lodos activados y lagunas aireadas), cultivo fijo (lechos bacterianos) y las de cultivo mixto, cuyo detalle se presenta a continuación.

2.4.3.2 Sistemas de tratamiento del tipo no convencional

Las alternativas del tipo no convencional son en general sistemas naturales (lagunas facultativas, aeróbicas o anaeróbicas) que requieren grandes áreas de terreno y la mayoría de ellas no cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema, por lo que se podrían utilizar en aquellos casos en que no se debe dar cuenta de la calidad exigida por la normativa vigente (DS 90/2000). Adicionalmente, ante una desestabilización del sistema la calidad del efluente puede deteriorarse por largos períodos de tiempo.

- **Lagunas facultativas**

Los sistemas de tratamiento en base a Lagunas de estabilización facultativas tienen aplicabilidad al tratarse de aguas servidas domésticas netas, debido a que los requerimientos de terreno dicen relación directa con la carga orgánica aplicada, debiendo cumplirse que la carga orgánica aplicada sea menor a la máxima admisible para viabilizar una configuración operativa adecuada.

En las lagunas facultativas, el contenido de oxígeno varía de acuerdo a la profundidad y la hora del día. La luz solar penetra en el estrato superior del agua generándose algas (normalmente verdes y productoras de oxígeno) por efecto fotosintético. En este estrato superior ocurre una simbiosis entre las algas y las bacterias aeróbicas que componen la biomasa. Las algas asimilan o sintetizan el dióxido de carbono (CO₂) así como parte de la materia orgánica no sedimentada, fotosintetizando oxígeno con la ayuda de la luz solar. Las bacterias a su vez oxidan el oxígeno presente en el agua (producido

mayoritariamente por la fotosíntesis y en menor grado por la transferencia entre el agua y el aire), descomponiendo la materia orgánica y generando CO_2 y compuestos inorgánicos solubles.

En el fondo de estas unidades sedimenta parte de la materia orgánica, así como una fracción de algas y bacterias provenientes del estrato superior, los que se descomponen a través de bacterias anaeróbicas que generan CO_2 . La presencia de un estrato aeróbico y otro anaeróbico le da a estas unidades el carácter de facultativas y las distingue de otras unidades netamente aeróbicas o anaeróbicas.

En este tipo de unidades la mortalidad bacteriana, expresada comúnmente a través del abatimiento de coliformes fecales, se produce por un conjunto de variables de mayor o menor significación como la radiación solar, el incremento de pH producido por la fotosíntesis, la temperatura, el antagonismo con otros organismos como algas, la sedimentación, etc. Adicionalmente, se presenta una remoción de parásitos por sedimentación, teniéndose una eliminación prácticamente completa de estos para tiempos de retención mayores a 10 días.

Las lagunas facultativas pueden concebirse como unidades primarias destinadas principalmente a remover la carga orgánica y como secundarias o terciarias (llamadas de maduración), si están destinadas principalmente al abatimiento bacteriológico.

La principal ventaja de este sistema son los bajos costos de operación, en tanto que las desventajas son la gran cantidad de terreno requerida y la dificultad de control del proceso, que impide garantizar calidades efluentes consistentes y estables.

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

TABLA N° 39
Eficiencias remoción lagunas de estabilización

Parámetro	% Remoción
DBO	70 - 90
Nitrógeno	40 - 50
Fósforo	20 - 60
Coliformes fecales	60 - 99

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N° 8 y otros.

El criterio de dimensionamiento de las lagunas de estabilización está basado en el modelo de flujo disperso, el que ha demostrado ser el que más se acerca al comportamiento real de las lagunas a lo largo de diversas evaluaciones efectuadas en lagunas de la zona central del país.

Las principales variables asociadas al modelo pueden resumirse del siguiente modo:

- Temperatura

Para efectos de considerar la máxima carga orgánica admisible que pueden soportar los sistemas en base a lagunas facultativas, se debe considerar la temperatura media mensual del agua servida en la laguna en el **mes más frío del año**.

- Tasa de mortalidad bacteriana, K_b .

Se adopta generalmente el valor de esta tasa en $K_b = 1,0$ (1/día) a temperatura estándar de 20 °C.

- Factor de dispersión

Este factor juega un papel incidente en el comportamiento de la laguna en lo que dice relación con el submodelo hidráulico y depende fundamentalmente de la geometría de las unidades.

El factor de dispersión está relacionado fundamentalmente con la localización entrada / salida de la laguna, y si es relativamente coincidente con las dimensiones, con el ancho y largo de la laguna. Para efectos del presente estudio, se estimará el factor de dispersión como la razón entre el ancho medio de la laguna en el sentido perpendicular al flujo y la longitud entre la entrada y la salida de la laguna en el sentido del flujo.

- Máxima carga orgánica admisible

La carga orgánica aplicada en una laguna facultativa no puede sobrepasar un máximo admisible, dependiente de la temperatura del agua, y en consecuencia variable a lo largo del año.

- Configuración del sistema

El sistema de tratamiento está generalmente conformado por lagunas facultativas primarias seguidas de lagunas facultativas secundarias (o de maduración) y desinfección. Si se consideran dos trenes, se podrá efectuar la deshidratación vaciando uno de ellos durante el verano, quedando el otro tren operando con todo el caudal, previa verificación de que la carga orgánica afluente sea menor a la de la máxima carga orgánica admisible.

En términos del diseño, la laguna facultativa primaria será diseñada de modo que no se exceda la máxima carga orgánica admisible, en tanto que la laguna facultativa secundaria será diseñada en función tanto de la máxima carga orgánica admisible como de la calidad bacteriológica del efluente (< 1.000 NMP/100ml).

- Desinfección del efluente

Para la desinfección por cloración, se considera un estanque de contacto con un tiempo de retención mayor a 30 minutos a condiciones de caudal medio, constituido por determinado número de canales de ancho y profundidad de la masa líquida. La cloración del efluente será en base a hipoclorito de sodio, pudiendo darse casos en que el cloro gas resulte la solución eficiente para las características específicas de la localidad.

- Decloración del Efluente

Si se requiere, la decloración del efluente se puede efectuar por medio de dióxido de azufre (SO²) o metabisulfito de sodio, según cuál de ellos resulte la solución más conveniente en términos de costo y disponibilidad.

- Otros aspectos

Las lagunas facultativas se ven más desfavorecidas si las aguas residuales afluentes al sistema traen consigo un alto contenido de sulfatos, lo que hace que el comportamiento y eficiencia de las unidades, en especial las componentes primarias, llegue a ser discontinuo en el tiempo. Como consecuencia de ello, el sistema se ve propenso a la potencial generación de olores ofensivos.

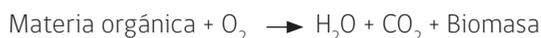
Si el contenido de oxígeno molecular en la laguna es absorbido por la carga orgánica afluente al límite de agotarlo, entonces las bacterias empiezan a obtener el oxígeno de los compuestos oxigenados presentes en el agua como nitratos (NO₃⁻), sulfatos (SO₄⁼), etc., con la consecuente reducción de los mismos.

En ausencia de nitratos ocurre la reducción de sulfatos, y por ser el metabolismo de las bacterias desnitrificantes más rápido que el de las que reducen sulfatos, en presencia de nitratos estas últimas son desplazadas del sistema.

Se debe destacar que tanto las bacterias que reducen nitratos como sulfatos, son estrictamente anaeróbicas, compitiendo por el carbono orgánico presente en las lagunas.

- **Lagunas aeróbicas**

Este sistema recibe el nombre de lagunas aeróbicas o lagunas de oxidación, y su principio se basa en el uso del oxígeno disuelto como aceptador de electrones, constituyendo un proceso estrictamente aeróbico conocido también como respiración aeróbica.



La oxidación biológica aeróbica es la conversión bacteriana de los elementos desde su forma orgánica a inorgánica altamente oxidada, lo que es conocido también como mineralización.

La mineralización o descomposición microbiológica del material orgánico de las aguas residuales en productos finales inorgánicos como dióxido de carbono, agua, nitrógeno amoniacal o nitratos, ortofosfatos y sulfuros es característica propia de la oxidación aeróbica de carbohidratos y lípidos.

Presenta ventajas como ausencia de olores y mineralización de los compuestos biodegradables, pero a la vez desventajas como alta producción de lodos debido a la alta tasa de síntesis celular y requerimiento de energía para oxigenación y mezcla.

En el país no se cuenta con sistemas en base a esta tecnología para el tratamiento de aguas servidas domésticas.

- **Lagunas anaeróbicas**

El proceso del tratamiento en una laguna anaeróbica obedece a dos etapas, la primera de las cuales es la fermentación, generada por bacterias del tipo facultativo, y la segunda o metanogénesis, generada por bacterias estrictamente anaeróbicas.

Las lagunas anaeróbicas son dimensionadas bajo el concepto de carga volumétrica aplicada y permiten en general profundidades que oscilan entre 3 y 5 metros, lo que reduce en un menor requerimiento de terreno en comparación con lagunas facultativas.

Por las características propias de la población microbiana y el hábitat en que se desarrollan, las lagunas anaeróbicas son especialmente sensibles a cambios como el pH y la temperatura, de manera que una variación en 2 unidades de pH o 2 grados centígrados puede llevar al desequilibrio de la población microbiana, generando olores ofensivos en el entorno, el colapso temporal del sistema y una lenta recuperación.

En el país no se cuenta con sistemas en base a esta tecnología para el tratamiento de aguas servidas domésticas, pero la bibliografía señala que la eficiencia de remoción de DBO debería encontrarse en el orden del 70-90%.

2.4.3.3 Sistemas de tratamiento del tipo convencional

Las alternativas del tipo convencional son en general sistemas mecanizados que requieren áreas de terreno significativamente menores que las del tipo no convencional, y la mayoría de ellas cuenta con variables operativas que permiten controlar el sistema, de modo que bien operadas pueden asegurar la calidad exigida por la normativa vigente (DS 90/2000 o DS 46/2002) en forma estable.

Las alternativas de tratamiento más importantes del tipo **convencional** de tecnología establecida son las siguientes:

- Cultivo suspendido aeróbico (lodos activados).
- Cultivo fijo (lechos bacterianos).
- Cultivo mixto (MBBR, IFAS).

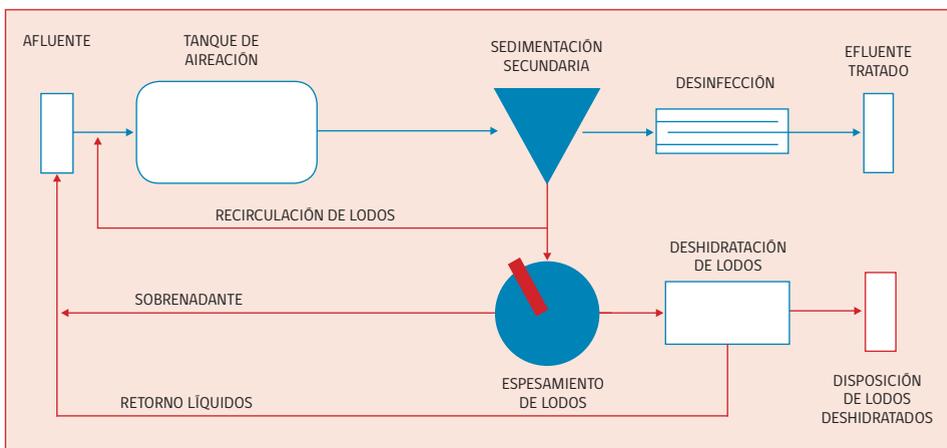
- **Cultivo suspendido aeróbico (lodos activados)**

En este sistema la biomasa se mantiene en agitación en un estanque de aireación 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 son:

- Aireación extendida (prolongada).
- Media carga.
- Convencional o de alta carga.

De ellas, la más adecuada, técnica y económicamente por el tamaño requerido a implementar en el sector rural la constituye la aireación extendida, de las que se muestra el *layout*, una fotografía de un sistema construido y en operación y un esquema de un sistema técnicamente igual pero enterrado.

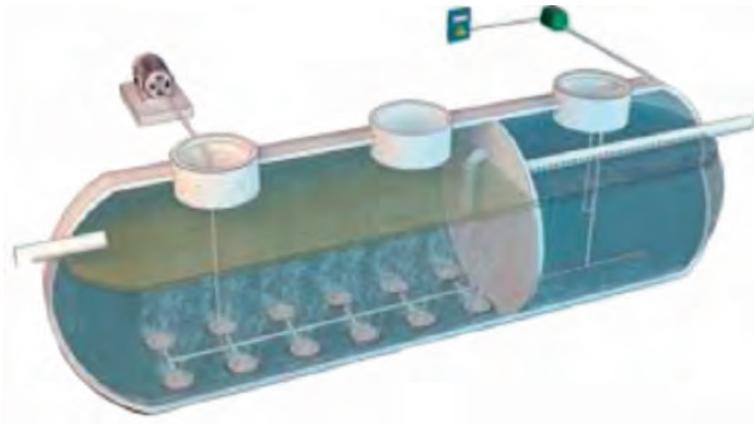
FIGURA N° 24
Esquema sistema lodos activados por aireación extendida



FOTOGRAFÍA N° 1
Lodo activado compacto por aireación extendida



FIGURA N° 25
Lodo activado compacto por aireación extendida enterrado



Uno de los parámetros de diseño más importantes de un sistema de lodos activados es la edad del lodo (θ_c) que indica el tiempo que el lodo debe permanecer en el sistema, debiendo destacar que 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 cuando se trata de aguas servidas estrictamente domésticas.

Para aireación 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.

La relación entre la edad del lodo y F/M se obtiene a partir de:

$$\theta_c \text{ [días]} = 1 / (P_x * F/M) \quad (\text{con F/M en [kgDBO/kgSSLM/día]})$$

P_x es la cantidad de lodo en exceso que se produce en el tratamiento biológico, la que para aguas servidas domésticas oscila de acuerdo a lo señalado más adelante.

Como criterio de diseño, los rangos referenciales normalmente adoptados para las diferentes versiones más comúnmente adoptadas de lodos activados corresponden al siguiente detalle:

TABLA N° 40
Criterios de diseño lodos activados

Proceso	Edad lodo [días]	F/M kgDBO/kgSSLM/d	SSLM [mg/l]	Recirc Qr/Q	Rem DBO %
Convencional	5 - 15	0,2 - 0,4	1500 - 3000	0,3 - 0,8	85 - 95
Mezcla completa	5 - 15	0,2 - 0,6	2500 - 4000	0,3 - 1	85 - 95
Contacto estabilización	5 - 15	0,2 - 0,6	(1000 - 3000) (a) (4000 - 10000) (b)	0,5 - 1,5	80 - 90
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
Laguna aireada mezcla completa	2 - 5		100 - 360	0	(c)

(a) Unidad de contactores

(b) Unidad de estabilización de sólidos

(c) 50 - 60 % en la laguna aireada, 90% con separación de sólidos en laguna de sedimentación.

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal, Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N° 8 y otros.

- **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 (mucílago 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.

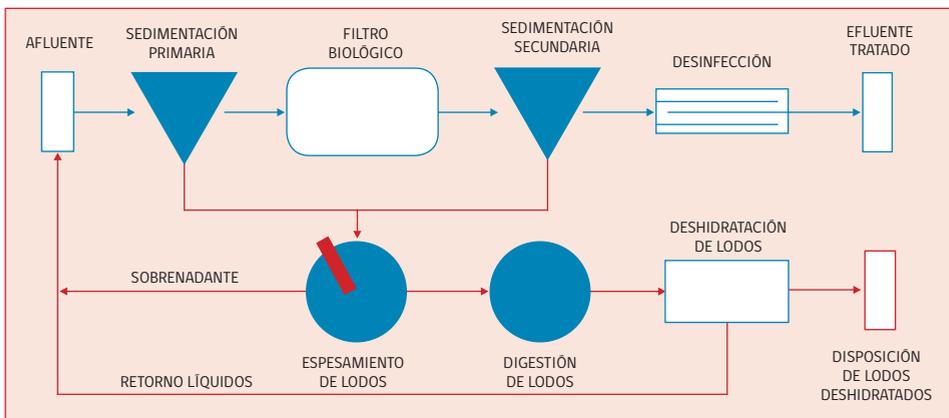
El sustrato es aplicado en forma intermitente y alternado con períodos de aireación en los cuales se produce la fase de respiración de los microorganismos.

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, cuyo *layout* puede resumirse del siguiente modo.

FIGURA N° 26
Esquema sistema filtros biológicos (biofiltros)



En la fotografía siguiente se presenta un biofiltro construido y en operación.

FOTOGRAFÍA N° 2

Biofiltro construido y en operación



Este sistema presenta ventajas como la estabilidad ante variaciones de la carga y concentración afluente, bajos costos de operación y mantenimiento comparados con otros procesos del tipo convencional, producen un lodo estable concentrado (en general bien floculado y fácil de decantar) y son de fácil puesta en marcha luego de una detención.

Algunos de los criterios de diseño asociados a esta tecnología pueden resumirse del siguiente modo:

TABLA N° 41
Criterios de diseño biofiltros

Proceso	Carga hidráulica $m^3/m^2/día$ (1)	Carga DBO $kg/m^3/día$	Recirculación Q_r/Q	Remoción DBO %
Baja tasa	1,0 - 4,0	0,08 - 0,40	0	80 - 90
Media tasa	3,5 - 9,5	0,24 - 0,48	0 - 1	50 - 70
Alta tasa	9,5 - 38,0	0,96 - 0,48	1 - 2	65 - 85
Super alta tasa	12,0 - 85,0	0,48 - 1,60	1 - 2	65 - 80

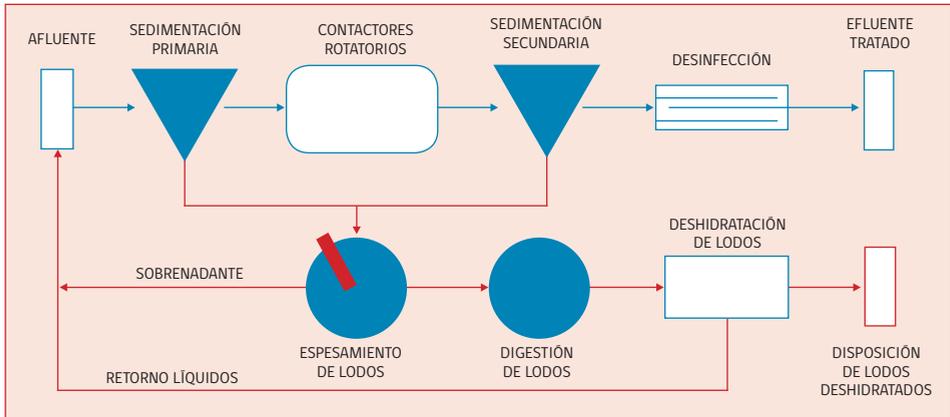
(1) La unidad " m^2 " se refiere al área horizontal del biofiltro y no al área efectiva del medio de soporte.
Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal, Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N° 8 y otros.

- **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, cuyo layout puede resumirse del siguiente modo.

FIGURA N° 27
Esquema sistema contactor biológico rotatorio (biodiscos)



En la fotografía siguiente se presenta un sistema en base a biodiscos construido y en operación.

FOTOGRAFÍA N° 3
Contactor biológico rotatorio construido y en operación



Se puede apreciar que el sistema contempla tres trenes de tratamiento, cuyos efluentes son enviados a la sedimentación secundaria que se aprecia al fondo de la fotografía.

En la figura siguiente se presenta un esquema de esta tecnología que permite visualizar la estructura principal de este sistema.

FIGURA N° 28
Esquema contactor biológico rotatorio (biodisco)



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 en todo momento con el agua. 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 solo sirven para airear la película biológica, sino que también son responsables de la aireación del licor-mezcla presente en el tanque y, por último, por esfuerzos tangenciales, producen el desprendimiento del exceso de biomasa.

En general, se utilizan con éxito para pequeñas poblaciones. Su gran ventaja reside en el bajo requerimiento de energía para accionarlos, ya que solo se requiere para hacer girar los discos.

Algunos de los criterios de diseño asociados a esta tecnología pueden resumirse del siguiente modo:

TABLA N° 42
Criterios de diseño contactores biológicos rotatorios

Ítem	Nivel de tratamiento secundario
Carga orgánica [m ³ /m ² /día]	0,08 - 0,16
Carga orgánica [grDBOsoluble/m ² /día] (Temp > 13 °C)	3,7 - 9,8
[grDBOtotal/m ² /día] (Temp > 13 °C)	9,8 - 17,2
Máxima carga orgánica primera etapa [grDBOsoluble/m ² /día] (Temp > 13 °C)	19,6 - 29,4
[grDBOtotal/m ² /día] (Temp > 13 °C)	39,2 - 58,8
Tiempo de retención hidráulico [hr]	0,7 - 1,5
DBO efluente [mg/l]	15,0 - 30,0

La DBO soluble se mide filtrando previamente el agua para remover los SS.

La unidad "m²" se refiere al área efectiva de medio de soporte.

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal, Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N°8 y Otros.

- **Cultivo mixto**

En el actual estado del arte, la tecnología en base a reactores aeróbicos de lecho mixto que mezclan cultivo en suspensión y cultivo fijo se ha constituido en una alternativa viable para dar cuenta de condiciones de borde restrictivas como las siguientes.

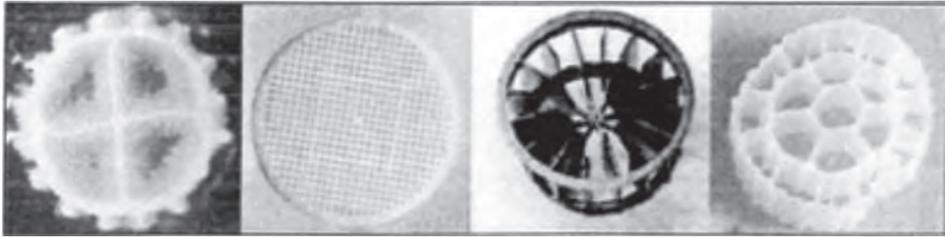
- Cuando se prevé una baja concentración de materia orgánica afluente.

Un lodo activado tradicional no es adecuado, ya que los sólidos que escapan por el efluente de la sedimentación pueden superar la tasa de generación de biomasa, teniendo lugar un lavado del reactor (o *washout*) que impide la mantención de una biomasa adecuada en el reactor.

- Cuando no se cuenta con terreno suficiente y se debe dar cuenta de una mayor carga orgánica con la misma infraestructura.

El cultivo mixto combina las ventajas de ambas tecnologías y omite sus desventajas (aunque con un consumo de energía algo más elevado). Para ello se utiliza un medio de soporte para la biomasa fija lo suficientemente liviano para mantenerse en suspensión con la mínima energía provista por la aireación o mezcla, como los soportes que se presentan a continuación:

FOTOGRAFÍA N° 4
Medios soporte para biomasa fija sistema mixtos



Los medios de soporte son manufacturados de tamaños que permitan ser retenidos en el reactor por medio de una reja (Henze *et al.*, 2008).

Dependiendo si existe o no recirculación de biomasa, los reactores aeróbicos de lecho mixto se denominan IFAS y MBBR, respectivamente.

- **Lagunas aireadas**

Otra alternativa que puede considerarse como alternativa convencional de tratamiento biológico, la constituyen las lagunas aireadas (o aireadas), las que pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación. Básicamente, las lagunas aireadas, se dividen en lagunas aireadas a mezcla completa y lagunas aireadas facultativas.

En las fotografías subsecuentes se presenta un sistema en base a lagunas aireadas a mezcla completa en operación, así como los sistemas típicos de aireación utilizados en esta tecnología.

FOTOGRAFÍA N° 5
Laguna aireada a mezcla completa construida y en operación



FOTOGRAFÍA N° 6
Detalle emplazamiento sistema aireación superficial
laguna aireada a mezcla completa



FOTOGRAFÍA N° 7
Detalle sistema aireación superficial laguna aireada a mezcla completa



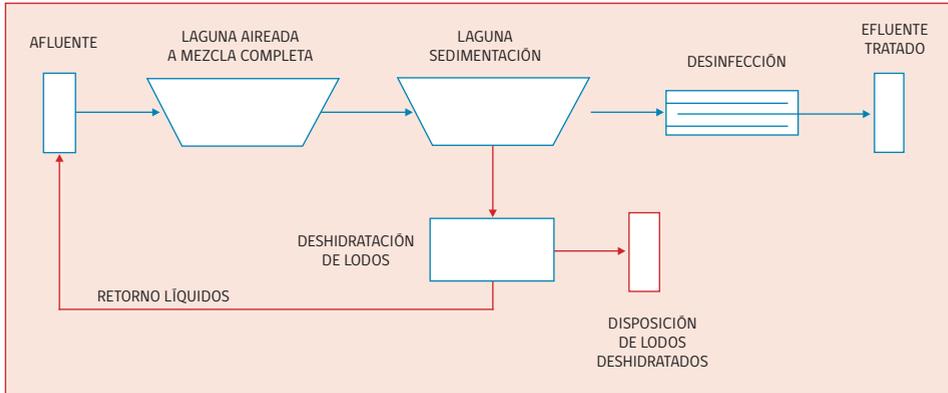
- **Lagunas aireadas a mezcla completa**

En las lagunas aireadas a mezcla completa se provee aireación 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, lo que 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 anaerómicamente en las unidades, permitiendo adicionalmente obtener una baja producción de lodos.

El *layout* típico de este sistema obedece al siguiente detalle.

FIGURA N° 29
Esquema sistema de lagunas aireadas mezcla completa



Desde el punto de vista del dimensionamiento, las lagunas aireadas a mezcla completa pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación, y se cuenta con criterios de diseño claramente definidos, siendo los más relevantes los que se presentan a continuación, 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 de lo que se dispone para tales efectos.

Las lagunas son equipadas con aireadores y en su elección no solo se debe considerar la potencia necesaria para suplir los requerimientos de oxígeno, sino también la potencia necesaria para proveer mezcla completa (mantención de los sólidos en suspensión).

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

TABLA N° 43
Eficiencias remoción lagunas aireadas a mezcla completa

Parámetro	% Remoción
DBO	50 - 60 80 - 90 incluyendo laguna sedimentación.
Nitrógeno	Nitrificación baja
Fósforo	Remoción baja
Coliformes fecales	90 - 99

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N°8 y otros.

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.

- **Lagunas aireadas multicelulares**

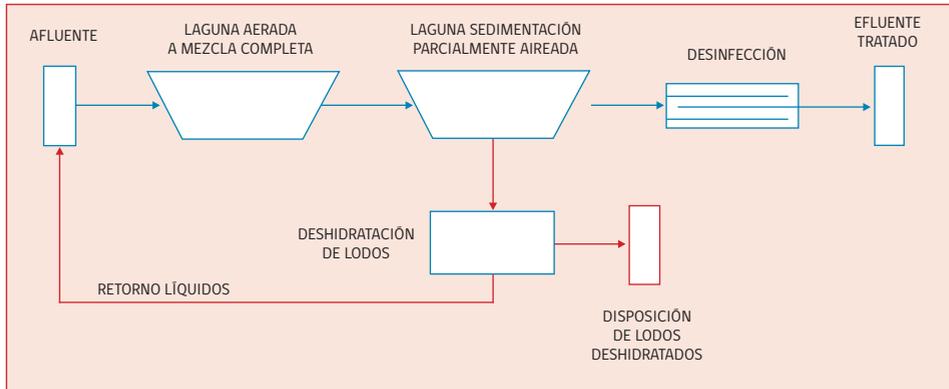
Desde el punto de vista de los criterios de dimensionamiento, y considerando que las lagunas aireadas multicelulares también pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación, se cuenta con criterios de diseño claramente definidos.

El sistema en base a lagunas aireadas multicelulares está configurado en base a dos etapas secuenciales, la primera de las cuales está destinada a remover la materia orgánica biodegradable de las aguas servidas 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/m^3) que asegure la mezcla completa; en tanto que en la segunda etapa se debe alcanzar suspensión parcial de los sólidos a una potencia de aireación adecuada.

El *layout* típico de este sistema obedece al siguiente detalle:

FIGURA N° 30
Esquema sistema de lagunas aireadas multicelulares



Desde el punto de vista de los criterios de dimensionamiento, y considerando que las lagunas aireadas 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 aireada a mezcla completa.
 - Tiempo retención 2 - 3 días
 - Demanda de oxígeno 1,25 [kgO₂/kgDBO]
 - Capacidad mezcla 5 - 6 W/m³.

- Lagunas de sedimentación parcialmente aireadas.
 - 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 siguiente detalle:

TABLA N° 44
Eficiencias remoción lagunas aireadas multicelulares

Parámetro	% Remoción
DBO	50 - 60 80 - 90 incluyendo lagunas parcialmente aireadas.
Nitrógeno	Nitrificación baja
Fósforo	Remoción baja
Coliformes fecales	90 - 99

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N° 8 y otros.

En términos de configuración de componentes unitarias comprometidas, las lagunas aireadas multicelulares se diferencian de las lagunas aireadas a mezcla completa seguidas de lagunas de sedimentación en que mientras estas últimas consideran en general dos lagunas (una a mezcla completa y otra de sedimentación con o sin aireación parcial) construidas en serie, con un período de retención total de 4 - 6 días a caudal de diseño (3 - 5 días en la laguna aireada y 1 día en la laguna de sedimentación), las lagunas aireadas multicelulares propiamente tales consideran en general 3 - 4 lagunas aireadas (una a mezcla completa y dos o tres con aireación parcial) construidas en serie, con un período de retención total de 4 - 6 días a caudal de diseño (2 - 3 días en la laguna aireada y 2 ó 3 días en las lagunas de sedimentación).

Las componentes unitarias de ambas configuraciones son similares, siendo en ambos casos la primera laguna aireada a un nivel tal que mantendrá toda la biomasa en suspensión (mezcla completa), en tanto que las celdas subsecuentes serán aireadas a niveles lo suficientemente bajos para permitir sedimentar los sólidos sedimentables provenientes de la primera celda.

El modelo usado para el diseño corresponde al de O'Connor & Eckenfelder, para las constantes cinéticas recomendadas por Alem, las que han demostrado su validez en Chile y que obedecen al siguiente detalle:

TABLA N° 45
Criterios cinéticos de diseño lagunas aireadas multicelulares

Constante cinética	Desig	Unidad	Valor	
			5 < T < 14 °C	T > 14 °C
Coefficiente de producción celular	Y	[gSSV/grDBO]	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

Fuente: Pedro Alem Seminario "Tecnologías de Tratamiento de bajo Costo", Santiago 1993

En cuanto al resto de las principales variables del modelo adoptadas para el dimensionamiento, son las siguientes:

TABLA N° 46
Criterios de diseño lagunas aireadas multicelulares

Variable	Unidad	Valor
Razón SSV/SST		0,85
Reducción anaeróbica SSV 1 ^{er} año	[%]	60
Humedad lodo de fondo	[%]	95
Concentración lodo de fondo	[kg/m ³]	50
Humedad lodo purgado	[%]	97
Concentración lodo purgado	[kg/m ³]	30
SST efluente laguna sedimentación	[mg/l]	25

Fuentes: Pedro Alem Seminario "Tecnologías de Tratamiento de bajo Costo", Santiago 1993. "Mathematical Model for Dual Power Level Multicellular (DPMC) Aerated Lagoon Systems" Rich.

Los aireadores con que están equipadas las lagunas 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 aireador se considerará 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).

En cuanto a la transferencia de oxígeno para la aireación y mezcla requerida, los aireadores mecánicos son tasados para fines de diseño en términos de eficiencia de transferencia de oxígeno (N), expresada como kg O₂/kwh en condiciones estándar. Este valor, obtenido de los catálogos de los proveedores, debe ser corregido para condiciones de campo.

En cuanto a los aireadores, se recomienda adoptar aireadores superficiales de alta rotación y flujo ascendente con una transferencia de oxígeno en condiciones estándar de 1,5 [kgO₂/kwh].

Para las lagunas de sedimentación parcialmente aireadas, se recomienda utilizar también aireadores superficiales de alta rotación.

Considerando lo señalado, el dimensionamiento debe tomar en consideración los siguientes criterios:

- El período de retención en la laguna aireada multicelular debe tener un período de retención de tres días, trabajando a profundidad en el rango de 2,5 - 3,5 metros.

- En la laguna de sedimentación parcialmente aireada, el tiempo de retención será de 2,0 días descontando el volumen ocupado por los lodos. Un tiempo mayor en la laguna aireada solo redundará en un mayor costo y aumenta las posibilidades de que se generen algas en el efluente. La laguna estará dividida en 2 celdas por medio de una cortina, generando celdas de 1 día de período de retención para evitar crecimiento algal.
- En término de los requerimientos de oxígeno, se recomienda 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 aireación y agitación necesarios en la laguna aireada se pueden considerar referencialmente aireadores superficiales con una transferencia de oxígeno en condiciones estándar de 1,5 [kgO₂/kwh]. Esta transferencia es del orden de un 10% menor a la normalmente usada 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 debe contemplar una densidad de energía mínima para mezcla completa entre 5 y 7 [W/m³].
- En la laguna de sedimentación parcialmente aireada se recomienda incluir mínimo 1 (un) aireador superficial por celda para satisfacer la densidad de mezcla requerida.
- Para la desinfección por cloración, se recomienda considerar un estanque de contacto constituido por determinado número de canales de ancho y profundidad de la masa líquida que otorguen un tiempo de retención mayor a 30 minutos a condiciones de caudal **medio**.
- La Cloración del efluente será en base a hipoclorito de sodio o cloro gas, según cuál de ellos resulte económicamente más conveniente para las características específicas de la localidad.
- De ser posible, se recomienda efectuar la deshidratación de lodos durante 3 - 4 meses del verano (90 - 120 días) por medio de lechos de secado, cuyas condiciones de borde para el dimensionamiento contemplan una altura de lodos máxima de 30 cm y un tiempo de retención de los lodos de 21 - 28 días (CEXAS Melipilla).

La principal limitante dice relación con la remoción de nutrientes, pues y las lagunas aireadas no remueven más de un 10% de nitrógeno y fósforo, ya que básicamente todo el lodo volátil biodegradable es destruido en el sistema, liberando en el proceso de síntesis el nitrógeno y fósforo removidos del agua servida.

Las lagunas aireadas generan alguna nitrificación durante los meses de verano, la que es normalmente impredecible en virtud a que los organismos responsables de la nitrificación son de crecimiento lento y más sensibles a factores ambientales que aquellos que remueven la DBO. Debido a que las bacterias nitrificantes son de tan lento crecimiento, el tiempo de retención hidráulico que se puede requerir para nitrificación a lo largo de todo el año en una laguna aireada debería ser de al menos 8 - 10 días para dar cuenta de este escenario, lo cual se torna poco conveniente y competitivo desde el punto de vista de los costos de energía requeridos para alcanzar mezcla completa en los volúmenes asociados a dicha condición de borde.

- **Lagunas aireadas facultativas**

Este tipo de lagunas prescinde de la mezcla completa y se diseña para tiempos de retención mayores (5 - 12 días), con lo que el espacio requerido aumenta considerablemente y se produce generación de algas.

A diferencia de las lagunas a mezcla completa, el diseño de estas unidades en lo referido a los requerimientos de oxígeno no está sujeto a criterios definidos, recomendándose en general solo una densidad de mezcla de 1 - 2 [W/m³], criterio que es motivo de discrepancias al respecto.

- **Tratamientos primario y primario químicamente asistido (cept)**

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.) y normalmente no es usado en tratamiento de aguas servidas domésticas, a menos que la calidad del efluente no sea muy restrictiva, puesto que la eficiencia de remoción de los parámetros de interés no es suficiente para dar cuenta de calidades como la establecida, por ejemplo, en el DS 90/2000 para descarga cuerpos de agua sin capacidad de dilución.

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 me-

nor 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 aparte de las componentes unitarias comunes a toda alternativa (tratamiento preliminar, deshidratado, etc.) algunas de las siguientes.

- Coagulación - Floculación.
- Sedimentación o flotación.
- Filtración.

Este tipo de tratamiento (primario solo o químicamente asistido) tiene una baja eficiencia de remoción de determinados parámetros de interés (DBO, etc.), alto requerimiento de cloro (debido a la presencia de materia orgánica) y mayor generación de cantidad de lodos en el tratamiento primario químicamente asistido debido a la adición de coagulante.

Las principales características técnicas pueden resumirse del siguiente modo.

- **Tratamiento primario seguido de desinfección**

El tratamiento físico de aguas servidas (en el presente caso primario en base a sedimentación) es un tratamiento de tecnología establecida y se constituye en una alternativa para aguas servidas domésticas cuando la eficiencia de remoción requerida de los parámetros de interés es baja o la concentración de las aguas servidas crudas es baja.

En lo referido a la eficiencia que alcanza el tipo de tratamiento, en la siguiente tabla se presentan los rangos esperados de eficiencia de remoción del tratamiento primario en término de los principales parámetros de interés.

TABLA N° 47
Eficiencias remoción tratamiento primario

Parámetros	Eficiencia de remoción (%)
DBO5	20 - 30
SST	50 - 70
Fósforo total	10 - 15
Nitrógeno total	5 - 10

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N° 8 y otros

Los valores de remoción de DBO en PTAS de USA y Canadá permiten afirmar que la eficiencia media de remoción de DBO es del orden de un 25%.

Lo anterior lleva asociado un requerimiento mayor de cloro para la desinfección. En efecto, para poder efectuar el proceso de desinfección que permita alcanzar el nivel de calidad bacteriológica exigido en la descarga (1000 CF/100 ml), la presencia de otros parámetros como la DBO, nitrógeno y sólidos suspendidos elevan la dosificación requerida de cloro. Numerosos estudios efectuados han mostrado que cuando todos los parámetros físicos que controlan la cloración se mantienen constantes, el efecto germicida de la desinfección medido como sobrevivencia bacteriana depende primordialmente de la concentración (y forma) del cloro añadido y el tiempo de contacto. Aumentando una de las dos variables y disminuyendo simultáneamente la otra, es posible alcanzar aproximadamente el mismo grado de desinfección.

Por otro lado, los lodos generados en la sedimentación primaria no se encontrarán estabilizados, por lo cual será necesario contemplar dicho proceso, sea en base a estabilización química (adición de cal) o por digestión (aeróbica o anaeróbica).

La adición por cal se constituye en una alternativa viable para pequeñas y medianas localidades, y al respecto la bibliografía especializada reporta que la estabilización química de los lodos está basada en que la mezcla lodo - cal debe mantener un pH elevado por un período de tiempo dado, de manera de permitir reducir los patógenos (y la consecuente inactivación microbiana) y alcanzar otros objetivos de estabilización.

A objeto de permitir tanto las reacciones rápidas iniciales entre la cal y el lodo como las reacciones lentas posteriores que pueden reducir sustancialmente el pH, la cal debe añadirse normalmente en exceso. La bibliografía especializada reporta que no ocurrirá una reducción significativa en el pH si alcanza un valor de 12,5 por 30 minutos, recomendando en general mantener un pH de 12 o más por al menos 2 horas.

Al respecto, los requerimientos de cal observados para alcanzar el pH requerido en una PTAS en base a esta tecnología pueden resumirse en la siguiente tabla:

TABLA N° 48
Requerimiento cal para mantener el pH en 12 por 30 minutos,
LEBANON, OHIO, USA

	% Sólidos	kgCal/kgLodo		pH Promedio	
		Media	Rango	Inicial	Final
Lodo primario	3 - 6	0,12	0,06 - 0,17	6,7	12,7
Exceso lodo activado	1 - 1,5	0,30	0,21 - 0,43	7,1	12,6
Anaeróbico	6 - 7	0,19	0,14 - 0,25	7,2	12,4

Fuente: Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. Volumen II, WEF Manual of Practice N° 8.

Por otro lado, estudios piloto para la determinación de las dosis de cal requeridas para mantener el pH sobre 11 por al menos 14 días arrojaron los siguientes resultados:

TABLA N° 49
Estudios piloto dosis de cal para mantener el pH sobre 11 por al menos 14 días

Tipo de lodo	kgCal/kgSST
Lodo primario	0,10 - 0,15
Lodo activado	0,30 - 0,50

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N° 8 y otros.

- **Tratamiento primario químicamente asistido seguido de desinfección**

El tratamiento primario químicamente asistido es adoptado normalmente cuando el tratamiento primario no es capaz de dar cuenta del grado de tratamiento requerido, optándose por añadir determinados reactivos que mejoren las eficiencias de remoción de los parámetros de interés.

El sistema de tratamiento primario químicamente asistido (CEPT por su denominación en inglés "chemically enhanced primary treatment") es una tecnología de tratamiento que consiste en la dosificación de sales metálicas (ie sulfato de aluminio, cloruro férrico, etc.), donde la alta carga positiva del coagulante neutraliza la carga negativa de las partículas del agua residual doméstica, formando largos flóculos de sedimentación rápida.

Al igual que el tratamiento primario descrito en el numeral anterior, el tratamiento primario químicamente asistido tampoco involucra el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales por medio de un proceso biológico, sino fundamentalmente por reacción física y química sobre la base de adición de reactivos específicos.

Las componentes unitarias y dimensionamiento del proceso de estos sistemas comprenden fundamentalmente a unidades de tratamiento de tipo físico (sedimentación, flotación, filtración, etc.) y a reacciones estequiométricas ante la adición de ciertos reactivos dados (coagulantes, polielectrolitos, polímeros etc.).

Si bien el tratamiento primario químicamente asistido (tratamiento fisicoquímico) de aguas servidas es un tratamiento de tecnología establecida, se constituye en una alternativa viable cuando se trate de aguas servidas domésticas diluidas o cuando la calidad de la descarga establece una alta concentración en términos de DBO, principalmente porque si bien la eficiencia de remoción de este parámetro (50 %) es superior a la del tratamiento primario, sigue siendo baja con respecto a otras tecnologías.

Considerando el porcentaje de remoción de DBO que alcanza esta tecnología (40 - 50%), la limitante vendrá dada por la concentración del afluente, la que deberá ser a lo sumo el doble de la concentración límite máxima establecida para la descarga al cuerpo de agua.

En lo referido a las eficiencias de remoción de los parámetros de interés, en las siguientes tablas se presentan los rangos esperados del tratamiento primario químicamente asistido, CEPT.

TABLA N° 50
Eficiencias remoción tratamiento primario químicamente asistido

Parámetros	Eficiencia de remoción (%)
DBO ₅	40 - 50
SST	60 - 90
DQO	30 - 60
Fósforo total	70 - 90
Nitrógeno total	10 - 15
Patógenos	80 - 90

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N° 8 y otros.

TABLA N° 51
Comparativa de eficiencias en PTAS CEPT

Parámetros	Eficiencia de remoción (%)	PTAS Point Loma San Diego	PTAS Hyperion L A. California	PTAS Ontario Canadá	Promedio 19 PTAS de USA con CEPT
Caudal promedio (m ³ /s)		8	16		
Población servida		2.000.000	4.000.000		
DBO ₅	40 - 70	58	52	50	50 - 55
SST	60 - 90	85	83	79,8	71
Fósforo total	80 - 95	93	80		63
Nitrógeno total	10 - 15				37
NH ₄ - N					13

Fuente: Metcalf & Eddy (2003), WEF. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N° 8 y otros.

Las consideraciones técnicas señaladas en relación a la desinfección en el tratamiento primario son extensivas al tratamiento primario químicamente asistido.

Por otro lado, y al igual que en el caso del tratamiento primario, los lodos generados en la sedimentación primaria químicamente asistida tampoco se encontrarán estabilizados, por lo cual será necesario contemplar dicho proceso, sea en base a estabilización química o por digestión (aeróbica o anaeróbica). las consideraciones realizadas al respecto en el análisis conceptual del tratamiento primario son extensivas al tratamiento primario químicamente asistido.

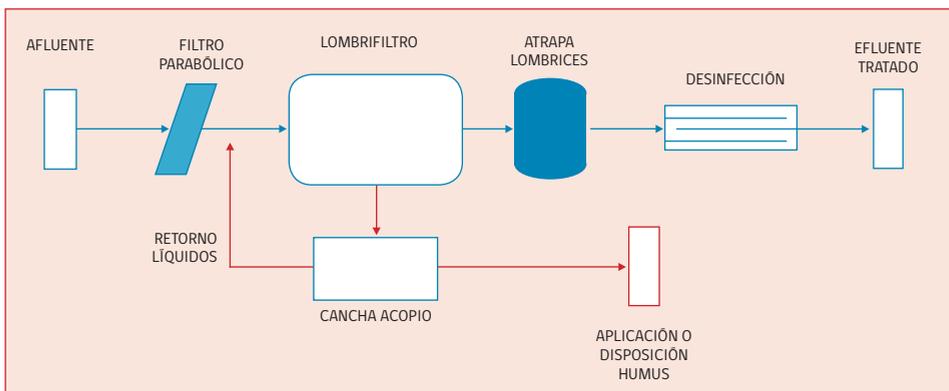
- **Lombrifiltro**

En términos generales, el lombrifiltro 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, CO_2 y otros gases.

El proceso se inicia con una separación primaria de sólidos gruesos, para lo cual se contemplan 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 de homogenización, desde donde se impulsa para ser dispersado por aspersión sobre la superficie del lombrifiltro en donde se produce un proceso de adsorción 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.

El layout típico de esta tecnología obedece al siguiente detalle:

FIGURA N° 31
Esquema sistema lombrifiltro



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) para la reducción de los coliformes fecales.

En las siguientes fotografías se presenta la disposición general y características específicas de un sistema construido y en operación.

FOTOGRAFÍA N° 8
Lombrifiltro construido y en operación



FOTOGRAFÍA N° 9
Lombrices en hábitat del lombrifiltro



En el actual estado del arte, esta tecnología tiene detractores y defensores. Aquellos sistemas mal diseñados, o que con el correr del tiempo quedaron subdimensionados o fueron diseñados sin considerar la variabilidad del caudal a lo largo del año como en las localidades balneario, indudablemente que operan en forma deficiente, lo cual es extensivo a todas las tecnologías, y generan baja calidad de las aguas servidas tratadas y olores al entorno inmediato.

Al presente el país cuenta con más de 100 plantas instaladas en base a esta tecnología para el tratamiento de las aguas servidas domésticas, existiendo también sistemas de tratamiento operando en México, Paraguay, Argentina, Malasia, etc.

En lo referido a las PTAS existentes en el país, existen numerosos sistemas en base a lombrifiltros que operan adecuadamente como es el caso de la planta de tratamiento de aguas servidas El Salado de Aguas Chañar (hasta que el aluvión del pasado año la destruyó por completo, siendo construida nuevamente con la misma tecnología), la planta del Casino Enjoy de Los Andes, etc.

El sistema cuenta al momento con criterios y parámetros de diseño, los que son semejantes a los de los sistemas en base a cultivo fijo por filtros biológicos (FB), operando conceptualmente 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.

Considerando lo señalado, las principales características para el dimensionamiento del sistema de tratamiento son al menos las siguientes:

- Los criterios de diseño corresponden a la tasa superficial y la carga orgánica volumétrica, adoptándose la que satisfaga a ambos.
 - Carga volumétrica (kgDBO/m³/d) 0,2 - 0,3
 - Tasa superficial (m³/m²/d) 0,6 - 0,8
 - Altura lecho (m) 1,0
- Las cargas hidráulicas son menores que las de cualquier FB.
- El sistema permite cargas orgánicas altas. No obstante, es preferible cargarlo con concentraciones de sólidos no mayores a 700 - 1.000 mg/l, ya que podrían tender a colmatar la superficie del lecho.
- Las temperaturas a las que el sistema funciona normalmente, oscilan entre 3 y 40°C, debiendo considerar que aunque las temperaturas ambientales sean bajas, la temperatura al interior del filtro está alrededor de 10 - 15°C debido a los procesos de combustión interna producto de la digestión bacteriana.

- Los sistemas empleados de distribución del agua servida en el lombrifiltro son en general del tipo riego con aspersores tipo Wofler y diámetro de salida entre 6 y 8 mm para evitar su obstrucción. 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 requiere dedicación (mano de obra), siendo las principales actividades requeridas el "horqueteo" (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.
- Al interior del sistema se genera humus de lombriz y se degrada la viruta, debiendo el primero ser retirado y la viruta ser repuesta a determinadas frecuencias.
- La experiencia local muestra que la reposición anual de viruta es del orden del 20% del volumen, la que se realiza en forma totalmente manual.

El lombrifiltro presenta altas eficiencias de remoción en términos de los parámetros de interés y tiene aplicación práctica en pequeñas instalaciones.

Las eficiencias de remoción de NKT y PT son altas y pueden asemejarse a las de un lodo activado. En el caso del NKT, el sistema presenta nitrificación casi completa, entendible a la luz de que en su calidad de organismos vivos, las lombrices y la población microbiana presentes también requieren nutrientes para su metabolismo.

El alto grado de nitrificación es entendible a la luz de que en su calidad de organismos vivos, las lombrices y la población microbiana presentes también requieren nutrientes para su metabolismo.

- **Humedales**

En los últimos años, el sistema de tratamiento en base a humedales ha ganado considerable interés, debido fundamentalmente a la alta remoción de todo tipo de parámetros, incluyendo metales tóxicos y pesados. El sistema tradicional de esta tecnología contempla un tratamiento preliminar seguido de tratamiento primario consistente en sedimentación primaria, luego de lo cual las aguas servidas efluentes ingresan a una laguna de baja profundidad (1 metro) con 50 - 60 cm de grava incorporada y en la que se encuentran plantados determinados tipos de plantas como la totora, juncos, Bulrush y otros, con el objeto de remover los parámetros contaminantes, incluidos metales pesados y tóxicos si hay presencia de estos elementos por aporte de RILES.

En determinadas configuraciones, las aguas servidas pasan seguidamente por un sector de la misma profundidad, pero sin grava, en el que se encuentran emplazados los

jacintos acuáticos, que son plantas del tipo flotante, y cuya función consiste en pulir la calidad del efluente.

Desde el punto de vista de la eficiencia de tratamiento, este proceso natural ha mostrado un alto grado de abatimiento de los parámetros contaminantes, incluidos los bacteriológicos, quedando la calidad del efluente final dentro de lo estipulado por normativas restrictivas.

FOTOGRAFÍA N° 10 Humedal construido y en operación



A continuación, se presentan las principales características técnicas de sistemas en base a humedales que tienen potencial entrada en el mercado vigente.

- **Biotreat. Filtros naturales**

Corresponde a una tecnología desarrollada por Fundación Chile, la cual se encuentra en proceso de patente nacional e internacional.

La tecnología es transferida desde Alemania y corresponde a una simbiosis entre la capacidad de depuración de los sistemas de **humedales artificiales** y los sistemas microbiológicos de un tratamiento en base a **filtración biológica**.

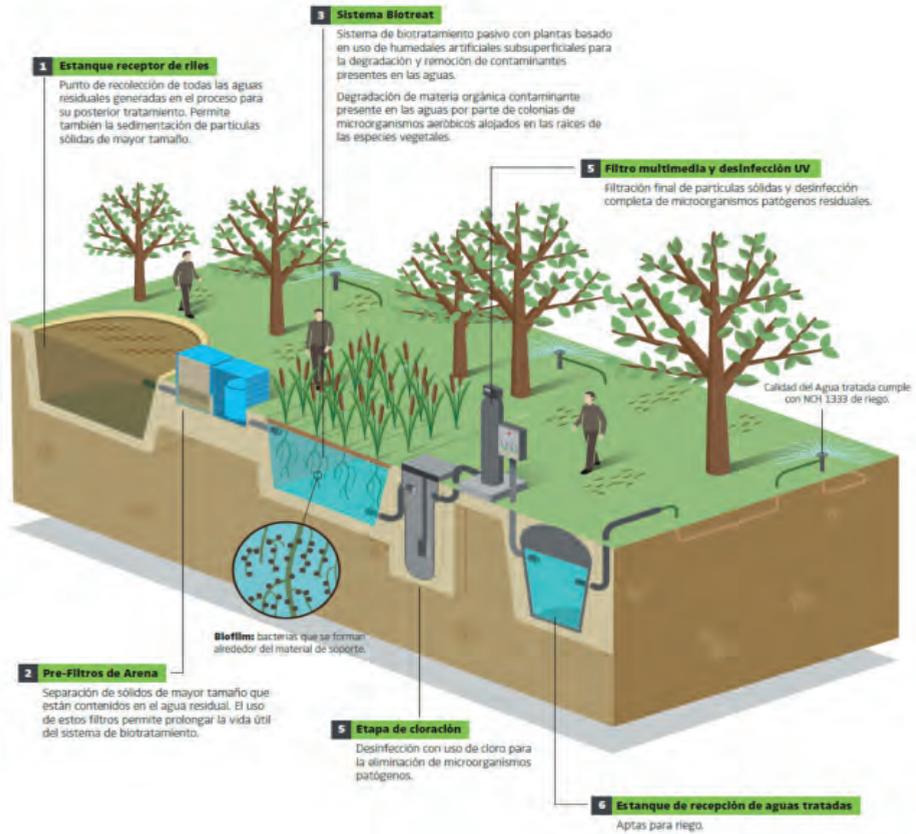
En la fotografía siguiente se presenta una panorámica de un sistema Biotreat construido, el que permite visualizar el entorno amigable de esta tecnología con el medio ambiente asociado a su entorno inmediato.

FOTOGRAFÍA N° 11
Sistema Biotreat construido y en operación



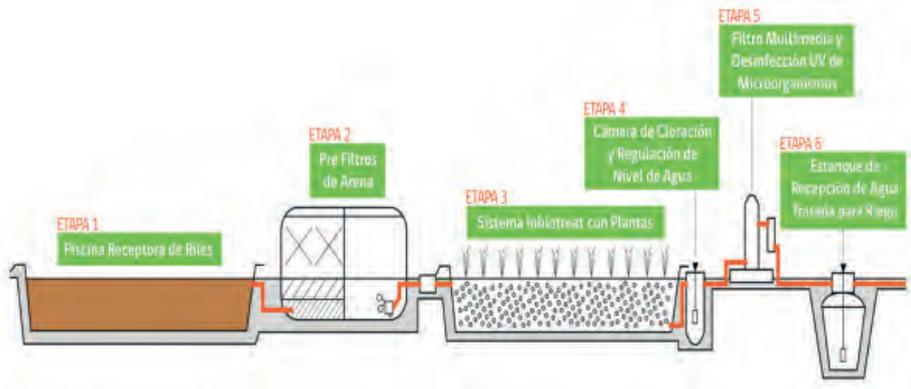
Para visualizar de mejor manera esta tecnología, se presenta a continuación un esquema de la misma, en que se detallan las componentes unitarias asociadas en orden secuencial.

FIGURA N° 32
Esquema del sistema Biotreat



Finalmente, se presenta un *layout* de la tecnología, en que se detalla el orden secuencial de las componentes unitarias asociadas.

FIGURA N° 33
Layout sistema Biotreat



Entre las ventajas que se deben comprobar para esta tecnología estarían las siguientes:

- Remueve sobre un 90 % de los contaminantes presentes en el agua a tratar.
 - Bajos consumos energéticos.
 - Bajos costos de operación y mantención.
 - Operación simple.
 - No requiere de operadores para su funcionamiento.
 - Diseño y estructura modular, permitiendo incrementar su capacidad de tratamiento.
- **Lecho verde vertical de juncos**

Al igual que la tecnología del Biotreat recientemente detallada, el principio de depuración de esta tecnología se basa en el desarrollo de una **biomasa aeróbica** fijada sobre un suelo reconstituido con aportación de **oxígeno** por las pequeñas raíces de las plantas denominadas juncos.

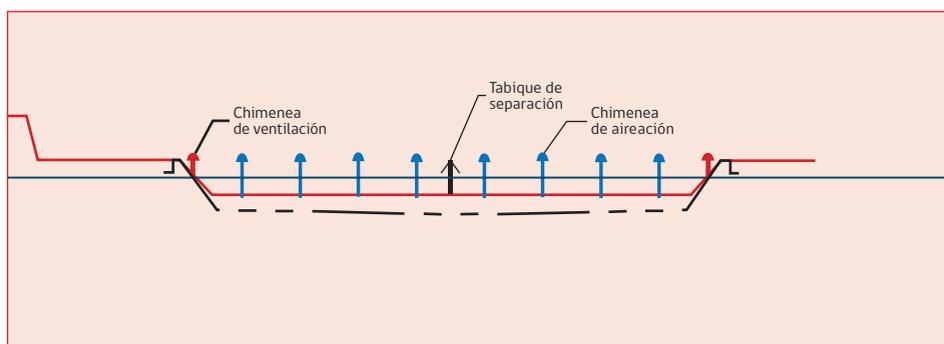
Esta disposición se adopta para que **el paso del agua** por el lecho no sea excesivamente rápido o lento.

Los sistemas de **tratamiento natural** permiten, con un bajo costo energético y de mantenimiento, una depuración de agua con alta calidad en la reducción de nutrientes, microorganismos patógenos y DBO_5 , sin generar un impacto ambiental negativo.

Al presente, la empresa Syntea, dueña de la patente de esta tecnología, tiene más de 2.500 plantas en Francia en colectividades que van desde 20 a 6.000 habitantes servidos.

Este tipo de filtro verde se desarrolló en Europa como alternativa a los humedales horizontales pues tienen mayor capacidad de tratamiento, requieren de menor superficie para tratar determinada carga orgánica y son menos susceptibles a la colmatación. Su esquema obedece al detalle que se presenta en la siguiente figura:

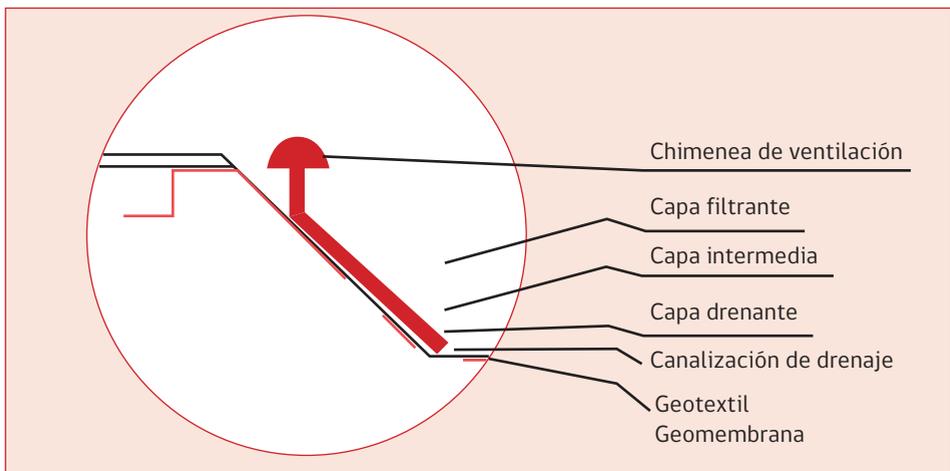
FIGURA N° 34
Esquema lecho verde vertical de juncos



Los filtros son excavaciones en el suelo impermeable, rellenas con varias capas de grava o de arena de una granulometría variable según la calidad de las aguas residuales que se van a tratar. La circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar a pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular varía entre 0,8 y 1,5 m. Estos sistemas operan con cargas de aproximadamente 30 gr DBO/m²/día.

Estos lechos verdes constan de tuberías de aireación, lo que permite airear el lecho en profundidad y mejorar y favorecer los procesos de degradación aeróbica, como se puede apreciar en la siguiente figura:

FIGURA N° 35
Sistema de aireación lecho verde vertical de juncos



En los sistemas de flujo vertical la biomasa crece en las partes subterráneas de las plantas y en el medio granular.

La vegetación es un elemento incidente para la graduación del paso de luz, viento y temperatura desde el suelo hasta el límite superior de dicha vegetación, disminuyendo la velocidad del viento, la luz, amortiguando los cambios de temperatura permitiendo temperaturas más cálidas en invierno y más frías en verano.

En climas fríos la vegetación protege de la congelación, se han demostrado que pueden funcionar adecuadamente a temperaturas de -40°C.

Las raíces de la vegetación favorecen la conductividad hidráulica mediante su desarrollo y la creación de canales distribuyen y disminuyen la velocidad de escurrimiento del agua, lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto con el agua y la vegetación.

Para visualizar de mejor manera el sistema de tratamiento, en la fotografía siguiente se presente un sistema construido y en operación.

FOTOGRAFÍA N° 12
Sistema de lecho verde vertical de juncos construido



Entre las ventajas que se deben comprobar para esta tecnología estarían las siguientes:

- Alta tolerancia a las variaciones de cargas hidráulicas y orgánicas.
- Gestión integrada de lodos.
- Funcionamiento sin energía para desnivel suficiente de la geomorfología.
- Operación simple con bajo costo de funcionamiento.
- Excelente integración paisajística.
- Visita semanal de control y retirada de los residuos.
- Mantenimiento de bordes (corte de pasto) y eliminación de malezas en los filtros el primer año.
- Corte superficial de los juncos al principio del invierno (salvo el primer año).
- Verificación anual de bombas.
- Retirada de la capa de lodos al cabo de 10 - 15 años.

2.4.3.4 Resumen de ventajas, desventajas y eficiencias de remoción de las tecnologías

El resumen de las ventajas, desventajas y eficiencias de remoción de los principales parámetros de interés asociado a las distintas tecnologías presentadas obedece al siguiente detalle.

TABLA N° 52
Ventajas y desventajas de las tecnologías de tratamiento de aguas servidas

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

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

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

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

TABLA N° 53
Resumen eficiencias de remoción de las tecnologías

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

(1) Incluyendo laguna de sedimentación

(2) Tratamiento secundario convencional

(3) Incluyendo desnitrificación

(4) Tratamiento secundario convencional

(5) Incluyendo remoción combinada de N y P o remoción química de fósforo

2.4.3.5 Análisis de alternativas y definición del tipo de tratamiento a adoptar

En el sector rural, el escenario más usual de descarga de aguas servidas tratadas que deben cumplir con la normativa de emisión vigente (DS 90/2000) lo constituye la descarga a cuerpos fluviales de agua sin capacidad de dilución (tabla 1), la que exige entre otros remoción de nitrógeno (como nitrógeno Kjeldahl total), factor limitante en la aplicabilidad de algunas tecnologías. Este último aspecto se torna más radical al considerar descarga a un cuerpo de agua lacustre (tabla 3) en que se establece la calidad del efluente como nitrógeno total.

En el presente punto se analizan las configuraciones de tratamiento y las alternativas que pueden dar cuenta de las condiciones de borde requeridas en los diferentes escenarios de descarga y su correspondiente normativa asociada en términos de calidad del efluente, lo cual puede resumirse del siguiente modo.

- **Descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución conforme tabla 1 DS 90/2000**

Este escenario se constituye claramente en una limitante de las tecnologías a aplicar, y sus características pueden resumirse del siguiente modo.

- **Lodos activados por aireación 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 o variables que tornen la solución inviable técnica o ambientalmente.
- **Lagunas aireadas multicelulares.** Aun cuando el diseño se realice desde el lado de la seguridad, el sistema tiene capacidad reducida de remoción de nutrientes (no remueven más de un 10% de nitrógeno y fósforo), por lo que el cumplimiento o no de lo prescrito por la tabla 1 dependerá de que la concentración de estos parámetros en el afluente no sea no más allá de un 10% superior a la exigida en la tabla 1.
- **Lombrifiltros.** También tiene capacidad de remover los principales parámetros de interés, incluido el nitrógeno y aplicable exitosamente en pequeñas comunidades, cuya eficiencia de remoción de los principales parámetros de interés son altas.
- **Descarga a un cuerpo de agua con capacidad de dilución**

Todas las alternativas analizadas en los escenarios anteriores son extensivas a su aplicabilidad para dar cuenta de la descarga a un cuerpo de agua con capacidad de dilución.

Adicionalmente, si se dispone de suficiente terreno para destinarlo al tratamiento, la **laguna aireada facultativa** puede constituirse también en una alternativa viable para el sector.

Finalmente, la alternativa de **tratamiento físico-químico solo o con adición de reactivos (CEPT)**, muestra que las eficiencias de remoción de los parámetros de interés es baja (20 - 50% de DBO según sea solo o químicamente asistido) y es aplicable solamente cuando la concentración de las aguas servidas es baja o el escenario de descarga es menos exigente como este escenario.

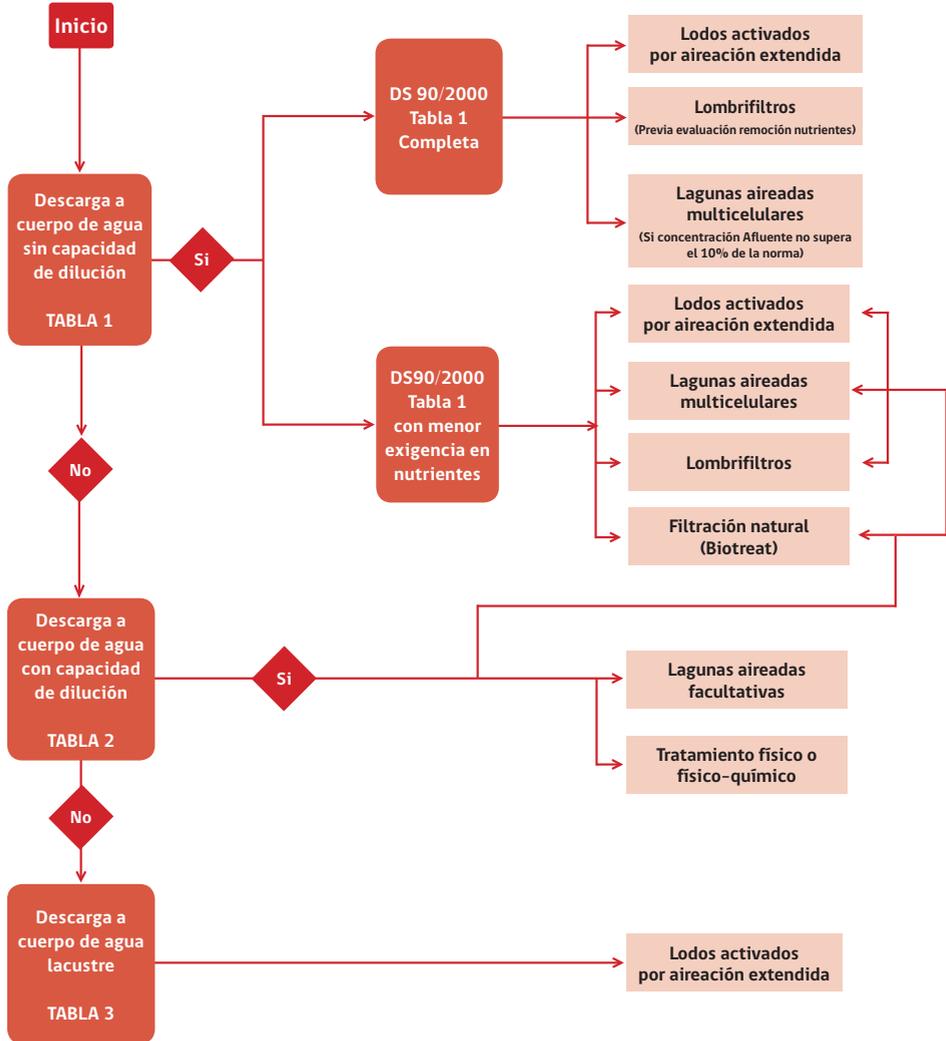
- **Descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución con menor exigencia de remoción de nutrientes**

Este escenario no existe en la normativa vigente y podría ser viable para el sector rural ante una eventual flexibilización en la normativa de emisión vigente en el país para el sector rural o en el evento de adoptarse como etapa previa antes de la implementación de un sistema que alcance un grado de tratamiento restrictivo.

- **Lodos activados por aireación extendida.** Cumplen con los parámetros establecidos por la normativa en forma independiente de la calidad de afluente.
- **Lagunas aireadas multicelulares.** Cumplen con los parámetros establecidos por la normativa cuando la concentración del afluente es propia de aguas servidas domésticas (< 300 mgDBO/l).
- **Lombrifiltros.** Cumplen con los parámetros establecidos por la normativa en forma independiente de la calidad de afluente, considerando población anual sin variación estacional.
- **Filtración natural (Biotreat).** Esta tecnología está en etapa de patentado nacional e internacional y se vislumbra como tecnología promisoría, especialmente por el bajo requerimiento de personal (como los lombrifiltros) y simplicidad operativa.

Para una visualización más integrada de la selección de alternativas, se presenta a continuación un diagrama de decisión que permite seleccionar la(s) tecnología(s) más adecuada(s) en función de los requerimientos de la normativa de emisión vigente.

FIGURA N° 36
Diagrama de decisiones de selección de tecnologías de tratamiento de aguas servidas



2.4.3.6 Proveedores de sistemas de tratamiento de aguas servidas

En lo referido a los sistemas de tratamiento de aguas servidas, el desarrollo del mercado sanitario en el país es más nuevo que el del agua potable, estando establecido y permitiendo contar con una oferta sustentable en materia de tecnologías y la experiencia tanto en el campo de los diseños como en la construcción y montaje de las PTAS.

Si bien el mercado de oferta estuvo orientado fundamentalmente hacia la demanda del sector urbano, al presente ha derivado también en la oferta de tecnologías compactas con mayor aplicación en sistemas de aguas servidas de menor tamaño como es el caso del sector rural.

Al momento de definir los proveedores para dar cuenta de determinados requerimientos específicos, se debe efectuar una adecuada prospección del mercado disponible, el que en el país es bastante amplio.

- **Entrevistas con proveedores**

Se realizó una visita a los proveedores de mayor importancia, para cuyo efecto se elaboró un programa de entrevistas basado en una nómina entregada por el mandante y en la información disponible en esta oficina de consultoría.

Durante la entrevista se completó una ficha con información como antigüedad de la empresa, ámbito y alcances de sus servicios, identificación de las tecnologías disponibles, concreción de proyectos implementados en el país y disponibilidad de información técnica como catálogos de equipamiento, etc.

Luego de conocer el portafolio de tecnologías y su aplicabilidad al sector rural, se solicitó a cada uno la entrega de información técnica de estas, su equipamiento, capacidades, etc.

Con el objeto de cubrir el espectro de las distintas alternativas de tratamiento y tecnologías específicas aplicables en el sector rural, la selección referencial de proveedores se basó en los siguientes aspectos.

- Antigüedad en el mercado nacional rural ≥ 5 años.
- Tecnologías de tratamiento de aguas servidas para las capacidades requeridas en el sector rural.
- Provisión de tecnologías reconocidas en el ámbito rural.
- Colocación efectiva de proyectos de tratamiento en el país.
- Disponibilidad de información técnica.

Del total de empresas catastradas se seleccionó referencialmente una muestra que permitió cubrir prácticamente la totalidad de las tecnologías aplicables en el sector rural, debiendo reiterar que al momento de definir los proveedores se debe efectuar una adecuada prospección del mercado disponible, el que en el país es bastante amplio.

Se debe destacar que determinadas tecnologías como lagunas aireadas, requieren por sus propias características de un diseño previo a nivel de ingeniería conceptual y luego de detalles para su implementación.

Para ello se cuenta con numerosas oficinas consultoras del sector sanitario, las que de acuerdo a la tendencia actual en el sector rural, podrán quedar debidamente registradas en un próximo registro de consultores y así desarrollar estos proyectos.

Asimismo, determinados proveedores también pueden dar cuenta de ello.

• **Resultados de la muestra referencial de proveedores**

Las empresas proveedoras se seleccionaron referencialmente para permitir cubrir prácticamente la totalidad del espectro de tecnologías establecidas aplicables en el sector rural y las soluciones técnicas de cada proveedor corresponden a sistemas con componentes unitarias y equipamiento similares, constituyéndose por lo tanto en alternativas comparables como procesos.

Las tecnologías ofertadas arriban a similares eficiencias de remoción de los parámetros de interés y las diferencias están determinadas prácticamente por los materiales de construcción y fundamentalmente marcas del equipamiento.

Tabla N° 54
Listado referencial de tecnologías y proveedores

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

2.5 Estimación de costos de inversión y operación de tecnologías de tratamiento para poblaciones semidispersas o aglomeradas

En el presente punto se presenta la estimación de los costos de inversión y operación de las distintas tecnologías de tratamiento de aguas servidas asociadas a localidades semidispersas o aglomeradas que cuentan con red de alcantarillado.

Para ello se definieron las bases de cálculo asociadas a poblaciones servidas que van desde 100 hasta 3.500 habitantes, lo que da cuenta de prácticamente todos los escenarios de las localidades rurales a lo largo del país.

Bajo las consideraciones expuestas en el capítulo pertinente, se delimitaron las principales bases de cálculo requeridas para el dimensionamiento y valorización de los sistemas de tratamiento. Considerando que las bases de cálculo serán las mismas al aplicarla a todas las tecnologías a valorizar, se presenta a continuación el detalle de las mismas.

TABLA N° 55
Bases de cálculo

Población doméstica permanente	Habitantes	100	250	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
Dotación media anual	l/hab/día	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Factor de recuperación		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Caudal medio de diseño	l/s	0,14	0,35	0,69	1,39	2,08	2,78	3,47	4,17	4,86
Caudal máximo horario	l/s	0,53	1,32	2,64	5,28	7,67	9,96	12,18	14,34	16,45
Aporte per cápita	grDBO/hab/día	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Carga orgánica de diseño	kgDBO5/día	4	10	20	40	60	80	100	120	140
RAZONES DE DISEÑO										
SST / DBO ₅		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
NKT / DBO ₅		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PT / DBO ₅		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Aceites y grasas / DBO ₅		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

2.5.1 Costos de inversión y operación

2.5.1.1 Consideraciones generales

Los costos de inversión de PTAS se estimaron en base al insumo de determinadas variables de valorización (población, caudales y carga orgánica a tratar), a partir de las que se genera el dimensionamiento de las componentes unitarias, las cantidades de

obra a considerar y las consecuentes valorizaciones con un vector de precios unitarios, permitiendo desglosarlas en ítemes globales.

Para el dimensionamiento se adoptaron los criterios tradicionales de diseño de las componentes unitarias involucradas en cada una de las distintas PTAS, para seguidamente proceder con las cubicaciones y obtener finalmente los consecuentes costos directos de inversión.

Junto con los valores de inversión se estimaron los elementos afectos a mantenimiento (cantidad y tipo) para las obras requeridas.

En general, las obras incluidas en el análisis de costos de inversión de los sistemas de tratamiento considerado consideran el siguiente desglose:

- Tratamiento preliminar (cámara de rejillas y desarenador/desgrasador).
- Tratamiento secundario.
- Desinfección.
- Tratamiento y deshidratación de lodos.
- Transporte y disposición de lodos.

Adicionalmente se seleccionaron las edificaciones y obras de urbanización mínimas requeridas, bodega, red de agua potable y alcantarillado, terrenos, etc.

Considerando que determinadas componentes unitarias previas y posteriores al tratamiento propiamente tal, dependen exclusivamente de las condiciones geomorfológicas de cada localidad, las valorizaciones excluyeron los siguientes ítemes:

- Plantas elevadoras de aguas servidas (PEAS).
- Impulsiones.
- Emisarios de llegada.
- Colectores de descarga al curso receptor.

Los resultados de la valorización se ciñen específicamente a la PTAS propiamente tal, expresadas globalmente en términos de las siguientes componentes:

- Obras civiles.
- Equipos.
- Obras eléctricas.
- Tuberías y accesorios.

Adicionalmente a los costos de inversión se incorporaron los costos asociados a la declaración de impacto ambiental (DIA) y resoluciones de calificación ambiental, RCA para las PTAS que sirven una población mayor o igual a 2.500 habitantes.

Las condiciones de borde adoptadas para la valorización de las PTAS obedecen al siguiente detalle.

TABLA N° 56
Condiciones de borde para valorización PTAS

	Cambio 31-7-2016	Valor [\$]
Dólar	US	667,94
Unidad fomento	UF	26.209
Euro	EU	736
Item	Valor	
Gastos generales y utilidades	39,45%	
Ingeniería	3,43%	
Inspección técnica de obras	4,69%	
Valorización de equipos		
Montaje de equipos (% costo. inversión equipos)	15%	
% puesta en marcha (% costo. Inversión equipos)	10%	
Normativa vigente		
Cumplimiento normativo para el calidad del efluente	DS 90/2000	
	Tabla N° 1	
Cumplimiento DS 04/2009 para el manejo de lodos	SI	
Clase de lodo	Clase B	
Componentes unitarias comunes a todo tipo de PTAS		
Tratamiento preliminar		
Sistema de tratamiento de olores		
Encapsulamiento tratamiento preliminar	No	
Rejas		
Tipo de reja	Manual	
Desgrasador / desarenador	Sí	
Aeración del desgrasador	No	
Desinfección		
Tipo de desinfección utilizada	Cloración	
Deshidratación de lodos		
Tipo	Lechos de secado	

El resto de las obras civiles y equipos está en función directa de la tecnología adoptada.

2.5.1.2 Costos de inversión

En el presente punto se presenta la estimación de los costos de inversión y operación de las tecnologías más importantes y que corresponden a lodos activados en 2 modalidades (compacta y concéntrica), lagunas aireadas multicelulares y lombrifiltros. El resto de las tecnologías obedecen sea a procesos patentados o son incipientes en el mercado nacional y no están instalados en el país como tecnología establecida.

El dimensionamiento y la correspondiente valorización en función de la población servida de las diversas tecnologías se encuentra detallado "in extenso" en el Anexo N° 6 del presente Informe (versión digital) y pueden resumirse del siguiente modo.

TABLA N° 57
Costos referenciales de inversión PTAS

Bases de cálculo		Costo inversión (M\$)			
Población (hab)	Caudal Medio (l/s)	L Act Mod compacta	L Act Mod concéntrica	Lag aireadas multicelular	Lombrifiltros
100	0,14	228.417	309.994		62.611
250	0,35	252.191	327.067		69.087
500	0,69	270.934	356.199	284.006	79.430
1000	1,39	330.421	410.616	325.609	99.674
1500	2,08	356.983	449.849	348.180	119.775
2000	2,78	390.728	471.257	371.177	139.706
2500	3,47	442.143	517.876	410.948	180.892
3000	4,17	476.686	559.327	445.735	199.183
3500	4,86	505.823	584.177	466.906	219.849

TABLA N° 58
Costo de inversión terreno PTAS

Población (hab)	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Costos de terreno [M\$]									
Lact compacta	35.453	38.053	41.821	46.207	50.107	53.442	55.884	59.404	61.977
Lact concent	38.237	39.668	43.331	48.741	52.786	55.267	57.802	62.187	64.866
LAMC	0	0	113.108	136.494	157.569	174.376	191.972	206.770	223.210
Lombrifiltros	11.805	15.166	18.908	25.841	32.499	39.077	44.868	51.052	56.882

En atención a que en muchos sectores del área rural probablemente no se pueda contar con suficiente terreno para el emplazamiento de la PTAS, se segregó el requerimiento de terreno entre el de la PTAS propiamente tal y el de los lechos de secado (que se dimensionaron y valorizaron), de modo que de no contarse con el requerimiento total de terreno se pueda construir la PTAS sin lechos de secado y considerar deshidratación mecanizada.

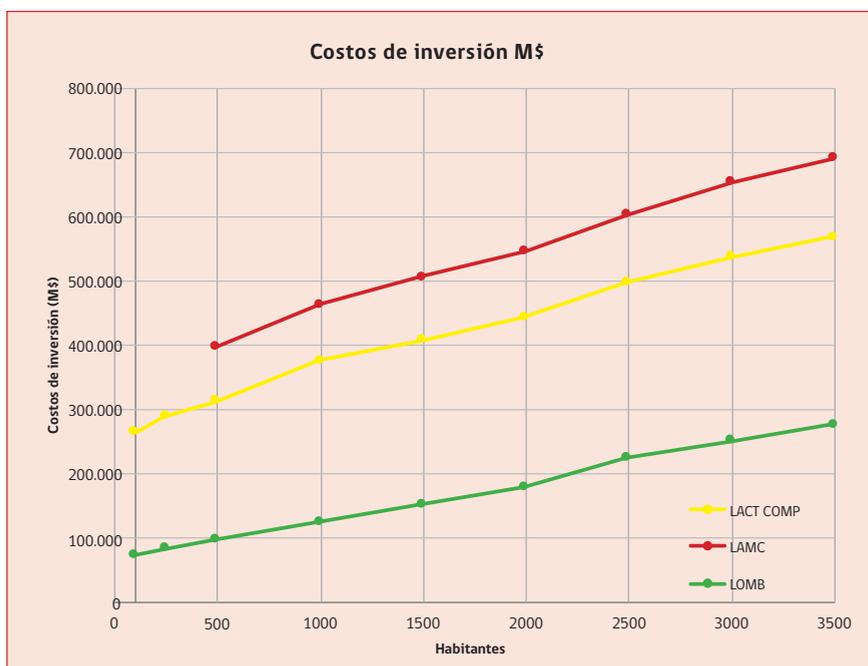
A la luz de lo anterior, las dimensiones de la PTAS y el consecuente requerimiento de área de todas las tecnologías no incluyen el área requerida de lechos de secado ni la consecuente valorización del terreno PTAS mostrada en la tabla anterior.

En el evento de utilizarse lechos de secado, se deberá añadir el área de esta componente para obtener el área total requerida y el consecuente costo total de inversión de terreno. Los lechos de secado están diseñados y valorizados en las planillas de cálculo de cada una de las tecnologías del Anexo 6 (versión digital), debiendo mantenerse el respectivo costo asociado.

En el evento de no contarse con terreno suficiente, el área requerida corresponderá a la señalada en las planillas de cálculo y no será necesario incorporar el área de los lechos de secado. El costo de los lechos de secado deberá descontarse de la valorización e incorporar el costo del sistema de deshidratación que se adopte.

El análisis comparativo de los costos de inversión de las tecnologías analizadas puede resumirse en los siguientes gráficos.

FIGURA N° 37
Costos de inversión PTAS



Cabe destacar que en los costos de inversión de todas las alternativas arriba analizadas se encuentra el ítem equipos básicos de control, el que incorpora aquellos instrumentos y equipos de terreno mínimos que permiten registrar los parámetros operacionales propios de cada PTAS, y que pueden resumirse del siguiente modo.

TABLA N° 59
Equipamiento básico de terreno PTAS

Equipo	N° Equipos por PTAS		
	L ACT	LAMC	Lombrif
Pocket cloro II	1	1	1
pHmetro terreno	1	1	1
Balanza analítica	1	1	1
Desecador de vidrio	1	1	1
Refrigerador	1	1	1
Medidor portátil de OD	1	0	0
Test sedimentométrico	1	0	0
Testigo de lodos	1	1	1

2.5.1.3 Costos de operación

Los costos de operación dependen estrictamente de la tecnología adoptadas, y para efectos de un análisis comparativo pueden englobarse en los siguientes ítemes comunes a cualquiera de ellas.

- Productos químicos.
- Energía eléctrica.
- Materiales y repuestos.
- Servicios de laboratorio.
- Transporte y disposición de lodos.
- Servicios de operación y mantenimiento (control de procesos de la PTAS, mantenimiento de la obra civil y mantenimiento y certificación de los cilindros de cloro gas donde se usa).

El análisis de los costos de operación y mantenimiento de las diversas tecnologías se encuentra detallado "in extenso" en el anexo N° 6 del presente informe (versión digital) y puede resumirse del siguiente modo.

TABLA N° 60
Costos referenciales de operación PTAS

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

A objeto de poder visualizar el cálculo detallado de los costos mensuales de operación de las tecnologías, en el anexo 12 (versión digital) se presenta el análisis para las tecnologías de lodos activados (más cara) y lombrifiltros (más económica).

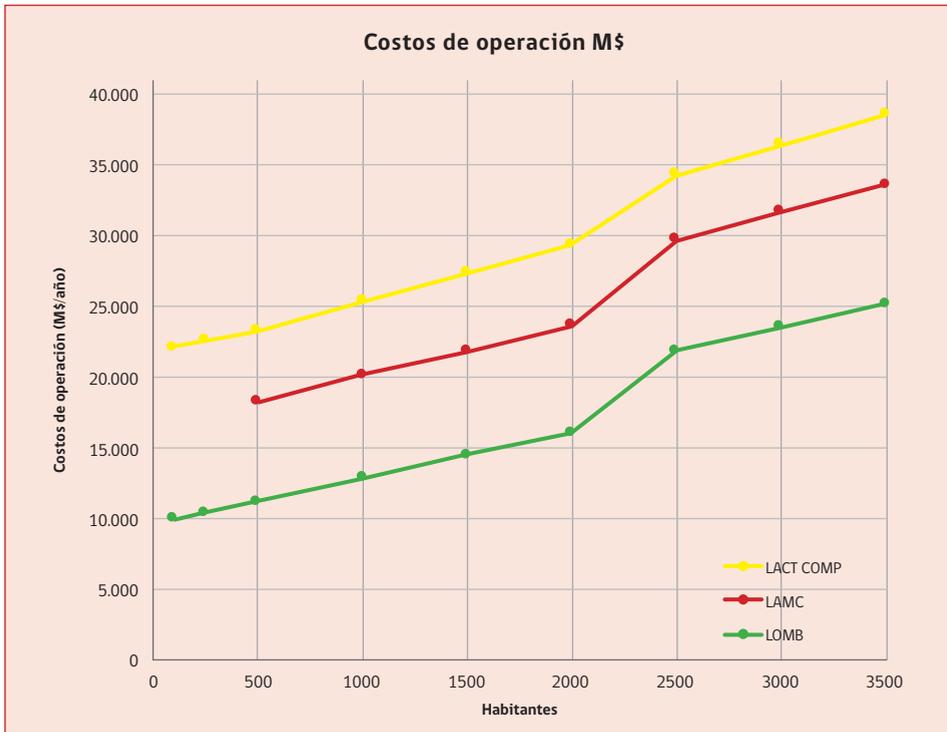
En cuanto al requerimiento de personal, puede resumirse del siguiente modo:

TABLA N° 61
Costos de personal y/u operarios de las PTAS

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

El análisis comparativo de los costos de operación y mantenimiento de las tecnologías analizadas puede resumirse en los siguientes gráficos:

FIGURA N° 38
Costos de operación y mantenimiento



2.5.2 Criterios para la reposición de equipos

Para efectos de la reposición de equipos se asumen los siguientes criterios.

- Reposición de equipos 15 años
- Reposición de bombas 10 años

2.5.3 Estimación de costos de inversión y operación para soluciones individuales

La mayoría de las tecnologías para soluciones individuales señaladas anteriormente obedecen a procesos patentados o fabricados por empresas dedicadas al rubro, por lo que sus costos de inversión en especial y de operación en menor escala son bastante variables entre sí tanto para una misma población como para diferentes poblaciones.

No obstante, considerando lo masivo de la implementación de las soluciones individuales en base a fosas sépticas en el sector rural y la importancia de los costos individuales en función de la población, se presentan referencialmente los costos de

inversión y operación de las mismas para un rango de población que va desde 5 a 250 personas, obtenidos con las siguientes condiciones de borde.

Dotación	150 l/hab/día
Coefficiente de recuperación	0,8
Condición del terreno	Normal
	Sin napa freática
Índice de absorción	80 l/m ² /día
Mantenimiento	
Actividad	Extracción semestral de lodos
Duración	2 años

Los costos referenciales de inversión y operación de fosas sépticas en función de la población servida pueden encontrarse detallados “in extenso” en el Anexo N° 3 del presente informe (versión digital) y pueden resumirse del siguiente modo.

TABLA N° 62
Costos inversión fosas sépticas

N° habitantes	5	10	20	50	100	150	200	250
Costo inversión [\$]	337.889	659.141	1.296.886	3.349.350	6.793.877	10.184.829	13.444.882	16.758.484
Costo mantención [\$/año]	50.000	50.000	50.000	150.000	250.000	500.000	500.000	500.000

2.6 Redes de alcantarillado

2.6.1 Sistemas de alcantarillado urbano tradicional

Los sistemas de alcantarillado urbano se rigen por la norma NCH 1105-2009 Ingeniería sanitaria - Alcantarillado de aguas residuales -Diseño y cálculo de redes.

La norma establece ciertas condiciones de borde asociadas fundamentalmente al cumplimiento de ciertas condiciones de borde, entre otras las siguientes.

- Exige considerar el caudal de infiltración.
- Limita la altura de escurrimiento al 70% del diámetro de la cañería para permitir la ventilación de gases en el 30% restante.
- Limita la velocidad máxima a 3 m/s y la velocidad mínima a la que tenga la misma capacidad de arrastre de sólidos que $V=0.6\text{m/s}$ a boca llena.
- Establece pendientes mínimas por diámetro para tramos iniciales y no iniciales.
- Establece como obligatorio el uso de cámaras de inspección al comienzo de los nacientes, en los cambios de dirección, cambios de pendiente, cambios de diámetro, cambios de material y confluencia de cañerías.

- Establece distancias máximas entre cámaras de inspección (120m para D=500mm y menos; 150m para D>500mm).
- Establece formas y dimensiones de las cámaras.
- Establece diámetros mínimos de tuberías en la red (200mm).
- Establece diámetro mínimo de tuberías en uniones domiciliarias (D=100mm).
- Establece una profundidad mínima de cubierta de tierra sobre la clave del tubo (1.6m).

Se puede apreciar que algunas de las disposiciones de la norma no son necesarias en todos los casos y podrían encarecer innecesariamente determinada obra. Así por ejemplo, en urbanizaciones proyectadas donde no se contempla expansión por nuevos usuarios, podría ser posible diseñar la red a profundidad menor que la de norma, dependiendo por supuesto de la topografía.

Este aspecto es muy importante a la hora de considerar una eventual norma para alcantarillado rural ya que según la tecnología empleada, pudiera usarse cañería más superficial.

En el caso de cañerías emplazadas en caminos bajo la tuición de la Dirección de Vialidad del MOP, la cubierta de tierra sobre la clave no puede ser inferior a 1,2 m, como se establece en el Punto 10-b de las consideraciones de diseño del "Instructivo sobre paralelismos en caminos públicos" de la Dirección de Vialidad del MOP, la que señala a la letra lo siguiente:

La ubicación del ducto debe ser tal que su clave quede a una profundidad mínima de 1,20 m por debajo de la cota de la calzada del camino. En el caso de terraplenes, el ducto debe estar a 1,20 m de profundidad respecto de la cota de terreno adyacente al pie de talud del terraplén.

En los casos de paralelismos para tuberías de agua potable, los ductos de todos los arranques domiciliarios proyectados, deberán ubicarse a 1,20 m a lo menos, de la cota de terreno natural, cuando estos se emplacen en la faja fiscal.

En contrario al sector rural, el alcantarillado urbano normalmente se desarrolla en zonas de alta densidad de viviendas, mayormente preparadas desde su construcción para verter sus aguas residuales a tuberías que corren por la calle que enfrentan.

Así, en las zonas más urbanizadas de las ciudades, los colectores pueden diseñarse poco profundos (la profundidad mínima establecida por la norma NCh 1105 es de 1,6 m sobre la clave del tubo) ya que todos los edificios, por disposiciones del Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado, RIDAA, deben descargar con planta elevadora y las viviendas fueron construidas con sus baños ubicados donde puedan descargar a esos colectores.

Lo anterior resulta en sistemas de menor costo por arranque que el que resultaría en zonas no urbanizadas o urbanizadas según criterios distintos.

2.6.2 Proposiciones a considerar en la eventual norma de redes de aguas servidas rurales

En consideración a lo señalado, se presentan a continuación algunas recomendaciones a considerar en una eventual norma asociada a las aguas servidas del sector rural.

2.6.2.1 Entrega del agua desde la salida de la fosa con elevación de cargo del cliente

En el actual estado del arte, la disposición de las aguas servidas en la zona rural se hace mayoritariamente mediante sedimentación en fosa séptica y disposición en el suelo mediante drenes o pozo absorbente.

Sistemas más básicos como letrinas o descarga directa a canal, son más escasos y no debieran ser considerados al momento de elaborar la emisión de norma.

La vivienda rural, en general, se ubica más alejada del camino que lo que está la vivienda urbana desde la calle y lo normal es que la fosa se ubique en el punto más bajo detrás de la vivienda, alejada de esta.

Estas condiciones y la falta de normativa sobre la cota de entrega hacen impracticable el construir los sistemas rurales siguiendo las pautas de lo existente en las ciudades ya que resultarían arranques muy largos, redes más profundas y de mayor longitud por arranque.

Por otra parte, la electrificación rural está mucho más avanzada que la cobertura de agua potable rural y el alcantarillado rural, de manera que es razonable plantear que cada usuario deba mantener en servicio su fosa séptica, entregando mediante elevación el efluente de la misma a la red pública del camino.

Para este uso existen plantas elevadoras pequeñas que se venden como unidades completas prefabricadas (Ama-Drainer-Box - Waste Water Lifting Unit, de KSB y otros). Existen unidades similares, pero que cambian el concepto ya que están concebidas para elevar la totalidad de las aguas servidas sin sedimentación previa, usando un estanque de mayor capacidad y una bomba con triturador incorporado.

FOTOGRAFÍA N° 13

Plantas elevadoras de pequeña magnitud



El hecho que se mantenga la fosa séptica en servicio es muy importante ya que:

- Su mantención es esporádica (una vez al año o menos), conocida por todos los usuarios y de bajo costo de mantención.
- Entrega aguas sedimentadas, lo que facilita de forma importante el servicio de recolección y transporte, cualquiera que sea el sistema utilizado.
- Permite reducir la profundidad del colector público.
- Elimina la necesidad de tratamiento primario, lo que adquiere relevancia en el tratamiento de las aguas servidas en la zona rural.

2.6.2.2 Mantención del diámetro mínimo de la norma urbana

Al momento de definir los criterios de diseño de una red de alcantarillado rural, una intención preliminar es tender a reducir el diámetro para disminuir costos. En el actual estado del arte, la reducción del diámetro con las tuberías actuales de material plástico no produce economías tan significativas como reducir la profundidad de la instalación, pero sí puede generar problemas de mantenimiento.

A juicio de esta consultora, el diámetro debe ser definido por razones asociadas al diseño hidráulico según las condiciones locales de cada tramo de conducción y no al costo asociado.

Por otro lado, cuando se transporta agua previamente sedimentada en fosa séptica, se puede trabajar con diámetros menores (especialmente si se desea aumentar la velocidad para disminuir el asentamiento de sólidos) siempre que se mantenga la facilidad de limpieza en caso de obstrucción, lo que no ocurre cuando se trata de aguas servidas crudas, en cuyo caso debieran mantenerse las mismas exigencias de la norma NCh1105.

2.6.2.3 Profundidad de las tuberías

Si se define que cada usuario entregue sobre la cota de la cañería pública, esta puede diseñarse tan superficial como lo permita el propietario del camino, el que en zonas rurales es normalmente la Dirección de Vialidad del MOP que tiene normas de paralelismo y cruce que limitan la posible economía en excavación, ya que definen una cubierta de tierra mínima de 1,2 m.

Esta profundidad mínima es exigible a la tubería, independiente de la tecnología de recolección.

La eventual normativa de alcantarillado rural debiera quedar ligada de alguna forma a las exigencias de la DV-MOP, ya que la mayoría de los caminos por los que se seguirá construyendo cañerías son de propiedad fiscal.

2.6.2.4 Minimización de accesos de registro y limpieza

Al minimizar la profundidad de las cañerías públicas, se puede bajar sustancialmente el costo en cámaras de inspección y limpieza, reemplazándolas por cañerías de registro del mismo material de la cañería conductora, lo que también minimiza las posibilidades de fuga de aguas servidas.

Por otra parte, si se trabaja con aguas sedimentadas, se puede aumentar la distancia entre registros.

2.6.3 Alcantarillado en vacío

El alcantarillado en vacío es una tecnología introducida por primera vez en 1866 por el ingeniero holandés Capt. Liernur en el Congreso de Haarlem (Holanda).

Recién en 1956 el ingeniero sueco Joel Liljendahl registró una patente para la recolección y transporte de aguas residuales por vacío. Esa patente fue adquirida en 1968 por Electrolux AB Suecia, que desarrolla el sistema **VACUFLOW**, el que es distribuido en España por Terriagua SL.

La misma tecnología también está patentada por **BILFINGER AIRVAC WATER TECHNOLOGY**, representada por la empresa Manantial.

El Instituto Nacional de Normalización emitió en noviembre de 2012 la norma NCh 3263 Ingeniería sanitaria - Alcantarillado de aguas residuales por vacío - Requisitos y ensayos.

Para visualizar el concepto asociado a la red de alcantarillado en vacío, se presenta el mismo gráfico de la figura E1 de dicha norma.

FIGURA N° 39
Sistema de alcantarillado por vacío



El sistema está compuesto por cámaras domiciliarias que pueden recibir a una o más viviendas, las que están conectadas a una cañería en presión negativa mediante una válvula normalmente cerrada.

Al llenarse el volumen (relativamente reducido) en esa cámara, se abre la válvula permitiendo que el agua sea extraída y transportada hasta la estación central de vacío la que, a su vez, entrega periódicamente al colector de descarga.

La norma, en su punto 1 (Alcance y campo de aplicación) limita su uso a:

- Terrenos que tengan limitada la descarga gravitacional a puntos con factibilidad técnica de servicio de alcantarillado.
- Suelos colapsables (suelos salinos de estructura colapsable; suelos arenosos y otros similares).
- Terrenos con nivel freático a poca profundidad.
- Suelos rocosos.
- Otra situación debidamente justificada ante la autoridad estatal competente y aprobada por esta.

A estas condiciones se debe agregar que el sistema no colecta aguas lluvias ni puede, por limitación de la norma, recibir otro alcantarillado si no es del mismo tipo.

En condición de instalación en suelos colapsables, lo que otorga su viabilidad es la estanqueidad de la cañería, por lo que el sistema de vacío es tan aplicable como un sistema tradicional.

Por otro lado, en suelos rocosos o con napa alta, la ventaja consiste en la poca profundidad de la instalación.

Un punto a destacar lo constituye el escenario de uso de faja fiscal bajo tuición de la Dirección de Vialidad (que será la gran mayoría en los alcantarillados rurales), para la que se establece que la cubierta de tierra mínima es de 1,2 m.

Entre las claras ventajas que tiene esta tecnología es su aplicabilidad en lugares donde es prácticamente imposible la instalación de otro sistema, como los siguientes casos:

- Saneamiento de zonas en base a palafitos como Caleta Tortel (XI Región).
- Localidades que se desarrollan en acantilados como Isla Toto (XI Región).
- Localidades que se desarrollan sobre suelos sin capacidad de soporte como en Puerto Gaviota (XI Región).

FOTOGRAFÍA N° 14
Puerto Gaviota



FOTOGRAFÍA N° 15
Isla Toto



Otro aspecto a destacar es que por su propia estructura el sistema no recibe aporte de aguas lluvia, de alta importancia en localidades de la zona sur del país.

Finalmente, se puede señalar que la propia norma establece las siguientes condiciones de borde:

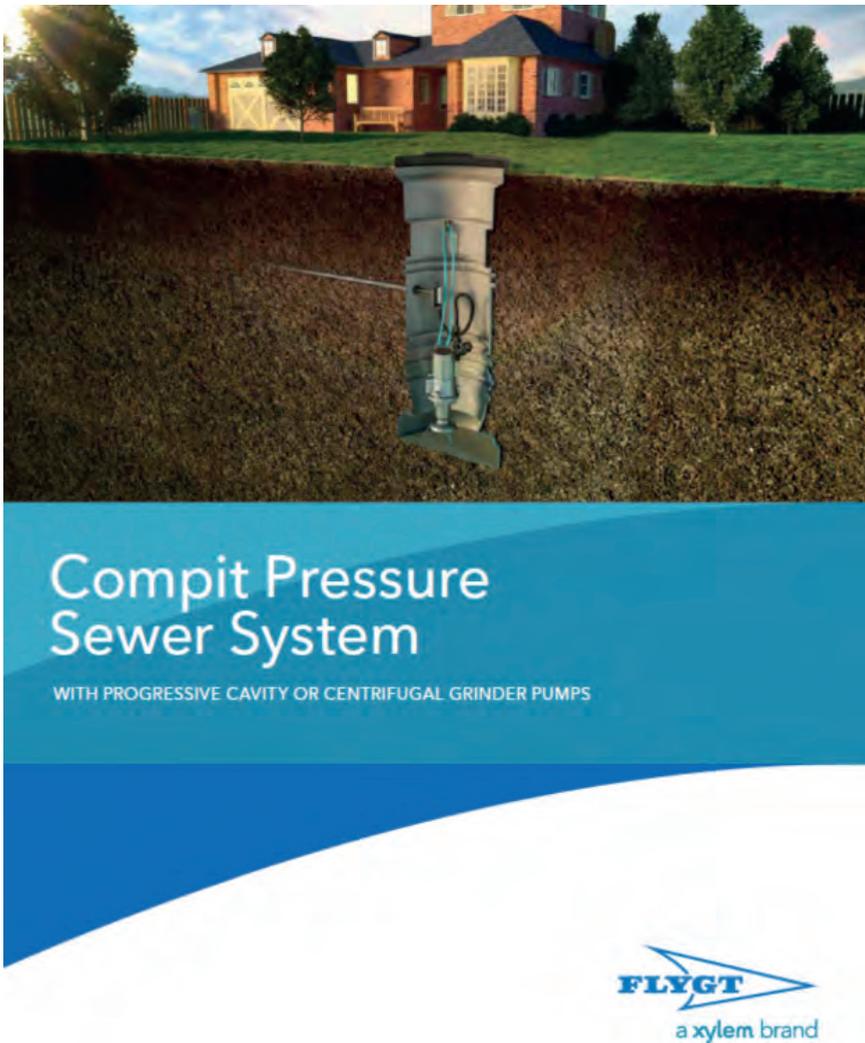
- No se puede usar cañerías con unión elastomérica ni con adhesivo.
- Solo puede recibir aguas de sistemas en vacío.

- El diámetro mínimo es de 90 mm.
- Exige acuartelamiento.

2.6.4 Alcantarillado en presión

La industria ha desarrollado también soluciones en presión, las que recolectan las aguas servidas de una o más viviendas y las impulsan hasta sistemas públicos o plantas de tratamiento, de los cuales se presentan partes de un catálogo que permiten visualizar la tecnología propiamente tal y su campo de acción.

FOTOGRAFÍA N° 16
Catálogo sistema alcantarillado en presión



El sistema considera generalmente bombas con triturador incorporado, aunque también pueden no tenerlo, como es el caso de la totalidad de los sistemas de evacuación de aguas servidas de edificios en las zonas urbanas de Chile, los que, por disposiciones del Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RI-DAA), deben elevar sus aguas servidas a los colectores públicos gravitacionales.

FOTOGRAFÍA N° 17
Detalles catálogo sistema alcantarillado en presión



Compit 460/570 Small Residential and Commercial Applications

- Total storage capacity from 120 to 150 gallons
- The Compit 570 was designed for northern climates where the discharge needs to be below the frost line which can be over 4 ft.
- Both the 460 and 570 basins are easy to install, with eight flat panels for easy-to-locate station penetrations
- Compatible pumps: M3000 Series centrifugal and 3068.175 progressive cavity pumps



Compit 900 Large Residential and Small Commercial Applications

- A simplex station design with total storage capacity near 240 gallons and heights ranging from 74" to 118" with extension
- Cover materials include polyethylene, or concrete for traffic-rated applications
- Easy to install with two bosses for electrical or venting and a single predetermined inlet boss
- Large bottom flange eliminates the need for concrete ballasting, lowering install time and cost
- The bottom is bowl shaped to promote solids removal and reduce resting volume
- Compatible pump: 3068.175 progressive cavity



Compit 2000/2500 Hotels, Multiple Homes, Commercial and Smaller Municipal Station Applications

- Total storage capacity from 500 to 625 gallons
- Practical basin design saves valuable installation time by allowing the inlet field to be installed anywhere between ribs
- The cover is screwed on and sealed with an adhesive gasket to keep odors confined to the station or vented to a remote location
- The bottom is hopper shaped to direct all solids down to the pump inlet, allowing easy removal before issues arise and reducing resting volume
- Compatible pumps: M3000 Series Centrifugal and 3068.175 progressive cavity

A objeto de visualizar las ventajas y desventajas de un sistema de este tipo, se decidió recurrir a una publicación de la Environmental Protection Technology Series (EPA) denominado "A PRESSURE SEWER SYSTEM DEMONSTRATION", específicamente, la **publicación EPA-R2-72-091** de noviembre 1972.

La ubicación del proyecto demostrativo fue seleccionada asegurando condiciones de ensayo representativas de condiciones normales referidas al número de habitantes, dotaciones medias de uso del agua, condiciones típicas de hábitos de vida (electrodomésticos incorporados, etc).

El período de demostración duró más de un año y se aplicó considerando un total de 12 casas de la ciudad, lo que implicó un funcionamiento de la bomba trituradora (*comminutor*) del orden de 80.000 oportunidades implicando una media de 2,6 operaciones/cápita/día. La longitud media del ciclo de operaciones estuvo en el intervalo de 57 a 74 segundos. Los medidores de watt-hora indicaron que el costo de operación de energía eléctrica era bajo.

Se debe destacar que, aunque no se mostraron variaciones estacionales en los hábitos de la población asociada, los caudales variaron ampliamente a lo largo del día y de casa a casa. El caudal medio de aguas residuales para las 12 casas fue de 121 l/hab/día.

En cuanto al sistema de alcantarillado en presión, consideró tubos de PVC Schedule 40 y fittings de PVC-DWV, los que funcionaron adecuadamente.

Las principales fallas de funcionamiento fueron minimizadas por medio del aumento de la abertura del tubo de detección de presión de 1" a 3" y manteniendo la bomba cebada positivamente. La duración operacional de la experiencia bajo esas condiciones de borde fue de 7 meses, asegurando conclusiones representativas.

Los aspectos más relevantes de las conclusiones del proyecto demostrativo de la EPA pueden resumirse del siguiente modo:

- Las principales características operacionales mostraron que cuando el sistema no está bien diseñado hidráulicamente ocurren acumulaciones de grasas en el sistema, la que resultó significativa en ciertas longitudes de la tubería de presión, debido principalmente al sobredimensionamiento. La velocidad mínima de autolavado recomendada por la ASCE, no era lo suficientemente alta como para evitar que la grasa se acumule. Ello genera adicionalmente problemas colaterales asociados como potencial generación de olores ofensivos al entorno inmediato.
Las velocidades en el rango de 2 a 5 pie/s podrían evitar que se produzca la acumulación de grasa.
- El sistema de control automático trabajó adecuadamente. Las variaciones de presión estaban en el rango de 85 - 90% de los cálculos estimados.

- Las especificaciones funcionales de las bombas trituradoras (GP) fueron apropiadas.
- Para un adecuado uso en cualquier aplicación del sistema, las bombas con una curva H-Q vertical deben estar cebadas positivamente y protegidas contra sifón.
- Una tasa de servicio de aplicación muy baja, asociada fundamentalmente al tiempo de inactividad, mostró la fiabilidad mecánica de estas unidades en este tipo de sistemas de alcantarillado en presión. La fiabilidad mecánica durante los primeros seis meses mostró del orden de 27 fallas de funcionamiento.
- El tamaño de la bomba y el volumen del tanque eran más que adecuadas para manejar adecuadamente los caudales *peak* de aguas servidas, no siendo necesario efectuar modificaciones de diseño en el equipamiento.
- Las características hidráulicas del sistema de alcantarillado en presión son críticas. El diseño de las presiones, cañerías principales y laterales debe ser tal que prevenga acumulaciones excesivas de grasas y producen un sistema mucho más económico.
- El análisis químico de las aguas residuales de alcantarillado en presión demostró que no hubo grandes diferencias con respecto a los sistemas convencionales de aguas servidas, lo cual hace que la subsecuente elevación de las aguas servidas a los colectores públicos gravitacionales no entorpezca el tratamiento.
- Debido a la que este sistema permite eliminar la infiltración, la concentración media de los contaminantes en las aguas residuales de alcantarillado en presión fue de 100 % mayor que en los sistemas convencionales.

2.6.4.1 Uso de tecnología y energía eléctrica

Al momento de evaluar la factibilidad de contar con electricidad disponible para elevación o producción de vacío en las redes de alcantarillado del sector rural, se puede señalar que el servicio de energía eléctrica en los servicios de alcantarillado rural y urbano es provisto en similares condiciones.

En efecto, la calidad del servicio de abastecimiento de energía eléctrica, medida de la forma establecida por la Superintendencia de Servicios Eléctricos (SEC), es tan confiable en las zonas rurales como en las zonas urbanas. De hecho, en el ranking de calidad de servicio publicado por el SEC para el año 2014, los 9 primeros lugares los ocupan empresas eléctricas del sector rural (encabezado por Tilttil), Chilquinta en el lugar 10 y Chilectra en el lugar 17.

No ocurre lo mismo con los encargados del manejo de los sistemas, pues mientras las empresas sanitarias manejan sus plantas normalmente con profesionales calificados,

gran parte de los sistemas de agua potable rural son manejados por personal no calificado, asistido programadamente por personal de las instituciones de apoyo (DOH o la empresa sanitaria local).

Por otro lado, ello hace que tampoco sea recomendable el uso de equipos sofisticados si la reparación y reposición de equipos debe hacerla la comunidad, como ocurre en los servicios de agua potable rural.

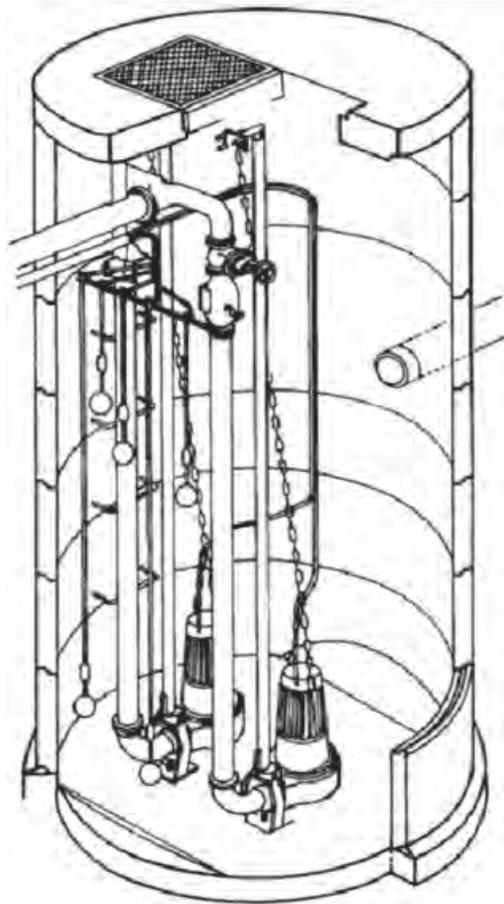
A la luz de lo anterior, aparece como recomendable orientar la eventual normativa de alcantarillado rural a preferir el diseño de sistemas de mantenimiento simple, para lo cual se presenta a continuación un detalle de las principales componentes y equipamiento asociado.

- **Sistemas de elevación con bombas centrífugas**

Su diseño debiera regirse por la Norma chilena oficial NCh 2472.Of2000. Aguas residuales - Plantas elevadoras - Especificaciones generales cuyas disposiciones principales indican lo siguiente.

- Las plantas elevadoras deben incluir cámaras de rejillas. El diseño debe contemplar además, las condiciones adecuadas para el retiro de los sólidos retenidos.
- Las plantas deben disponer de equipo electrógeno, con transferencia automática y almacenamiento de combustible.
- El pozo de aspiración debe asegurar un tiempo de retención máximo de 30 min para el caudal medio de diseño de la planta elevadora.
- El máximo nivel de las aguas residuales en el pozo de aspiración o cámara húmeda debe ser inferior al nivel de llegada del conducto afluente y así evitar que este entre en carga.
- Se debe disponer como mínimo de dos motobombas (1+1), cada una para dar cuenta del caudal máximo de diseño.
- Los diseños deben considerar los riesgos de explosión asociados a la volatilización de gases y septización.

FIGURA N° 40
Planta elevadora tradicional construida *in situ*



FOTOGRAFÍA N° 18
Planta elevadora prefabricada



- **Sistema de elevación con aire comprimido (eyectores)**

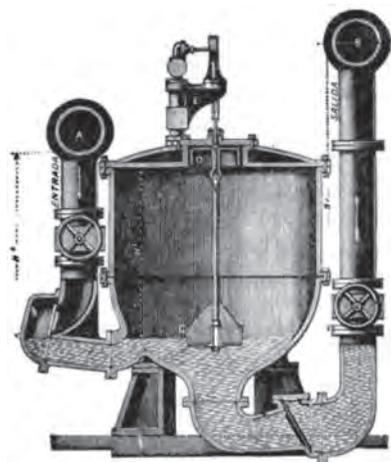
Los eyectores neumáticos son dispositivos para elevar aguas residuales, lodos u otros líquidos, y permiten que las aguas ingresen al fondo de un recipiente hermético a través de una válvula interna de retención y luego las descarga a través de una válvula externa de retención al hacer pasar aire comprimido al recipiente por encima del líquido.

En este tipo de equipos, el agua residual entra y comienza a llenar la cámara de recepción. Una vez que se encuentra llena, actúa una válvula de tres vías que cierra la purga de aire y admite el aire comprimido en la cámara, forzando la salida del agua residual por el conducto de impulsión.

Cuando el agua residual alcanza su nivel mínimo, se invierte la posición de la válvula de tres vías cerrando la entrada de aire comprimido y abriendo la de purga del aire, lo cual permite que el agua residual penetre de nuevo en la cámara llenando la misma.

En la siguiente figura se presenta una sección transversal del eyector neumático Shone, de construcción corriente, que puede elevar las aguas limpias o sucias y líquidos calientes de todo tipo

FIGURA N° 41
Sección transversal eyector neumático Shone



Una de las mayores instalaciones de elevación de aguas servidas con eyectores neumáticos en Chile existió en la ciudad de Concepción, con una planta central de aire comprimido y 22 estaciones elevadoras repartidas por el centro de la ciudad. Hoy los eyectores están reemplazados por bombas centrífugas.

- **Elevación por inyección de aire dentro del agua (*air lifting*)**

El principio de funcionamiento de las bombas de *air lifting* es que la mezcla aire-agua es menos densa que el agua y por lo tanto al agregar aire la mezcla aire-agua es desplazada hacia arriba por esta.

Dicho de otra forma, las burbujas de aire actúan como pistones neumáticos, empujando o arrastrando hacia arriba el agua de una tubería o chimenea a medida que suben y se expanden.

El reporte de una investigación desarrollada por William A. Wurts, Sam G. McNeill y Douglas G. Overhults (publicado por la University of Kentucky, College of Agriculture, Food and Environment, Academics Research Extension), muestra que el sistema entrega caudales de agua elevados según distintas condiciones de diámetro de la cañería y profundidad de la inyección de aire, de la que se reproduce la parte correspondiente a tuberías de 15,2 cm de diámetro, que podría ser de interés para su aplicación en el sector rural.

“Se aprecia que es posible elevar del orden de 3.5 l/s a altura del orden de 80 cm, lo que bien usado en el diseño de cañerías principales puede ayudar al escurrimiento gravitacional aumentando artificialmente la pendiente. Así por

ejemplo, inyectando aire cada 160 m en una cañería totalmente horizontal se obtendrá escurrimiento similar al que ocurre con pendiente de 5 por mil.

La inyección de aire, además de elevar el agua provocará la satisfacción de la DBO, ayudando a eliminar olores.

Por último, en el caso de no existir energía eléctrica en las proximidades del trazado, para el pequeño caudal del ejemplo, el compresor puede ser alimentado en las horas sin luz con kit de energía solar apoyado con batería”.

- **Evaluación de la conveniencia de usar planta elevadora para rebajar la altura de excavación**

Por la importancia asociada fundamentalmente a los costos de operación, se evaluó referencialmente la conveniencia de usar o no una planta elevadora de aguas servidas (PEAS) a objeto de disminuir la profundidad de la excavación para implementar el sistema de una red de alcantarillado.

En el Anexo N° 4 del presente estudio (versión digital) se presenta el análisis correspondiente, a la luz de cuyos resultados se puede concluir que la alternativa de contemplar una PEAS para minimizar excavación al implementar el sistema de una red de alcantarillado es económicamente menos conveniente en general, debiendo ello ser validado para cada condición específica que se quiere analizar.

Capítulo 3



Panquehue, Región de O'Higgins

Estudio tarifario tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas

3 Estudio tarifario tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas

3.1 Metodología y criterios de evaluación

La evaluación económica se efectúa conforme a la metodología establecida por la División de Evaluación Social de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social en su documento "Formulación y Evaluación de Proyectos de Evacuación, Tratamiento y Disposición de Aguas Servidas Sector Rural" de marzo de 2015, en adelante la "Metodología".

Considerando que se trata de evaluar alternativas de tratamiento de agua potable y de aguas servidas, solamente corresponde la determinación de los indicadores VAC (Valor Actual de Costos) y CAE (Costo Anual Equivalente) dentro del denominado enfoque de evaluación Costo-Eficiencia.

Los costos considerados en el presente estudio solo incluyen las inversiones y los gastos asociados a las etapas de tratamiento de agua potable (PTAP) y de tratamiento de aguas servidas (PTAS), excluyendo redes, conexiones domiciliarias, fuentes productivas y conducciones.

3.1.1 Moneda de valorización

Los costos están expresados en moneda al 31 de octubre de 2016

3.1.2 Horizonte de análisis

De acuerdo a lo definido en la Metodología, el horizonte de análisis de cada proyecto es de 20 años.

3.1.3 Identificación de costos de inversión y reposición

En este punto se determinan los costos de inversión a nivel de partidas de obra, las que se valorizan con precios unitarios provenientes referencialmente de la zona central del país, debiendo destacar que ello puede sufrir variaciones especialmente en las zonas extremas del país. Se considera una agrupación básica de partidas en obras civiles, instalaciones eléctricas, tuberías y equipos. La vida útil técnica de las partidas son diferentes y se detallan en la siguiente tabla.

TABLA N° 63
Vida útil de componentes

Partida	Vida útil (años)
Equipos	10 para equipos de bombeo 15 para los restantes
Obras civiles	50
Tuberías	50
Instalaciones eléctricas	20

Dentro del período de evaluación se incluye la reposición de equipos y al final del mismo, el valor residual de las obras en función de la vida útil remanente determinada a partir de la tabla anterior.

Al costo de inversión inicial (costos directos) se añaden los costos indirectos compuestos por gastos generales y utilidades (referencialmente 39,5% obtenido de valores de mercado para estas obras) e ingeniería e inspección técnica (referencialmente 8,1% obtenido de valores de mercado para estas obras). A los costos de inversión asociados a la reposición de equipos, se adiciona solamente un 20% por concepto de gastos generales y utilidades.

Asimismo, se incorpora el costo del terreno ya que es una variable relevante al seleccionar algunas tecnologías, especialmente de PTAS. En Chile, el valor del terreno rural oscila entre 0,1 y 1 UF/m², siendo un precio representativo medio el de 0,5 UF/m², el que se adopta como condición de borde.

Con respecto al área requerida de terreno con y sin lechos de secado, están ceñidas a las mismas condiciones de borde señaladas en el numeral 2.5.1.2

3.1.4 Identificación de costos de operación y mantención

Los costos de operación y mantención considerados son los siguientes:

- Productos químicos.
- Energía eléctrica.
- Materiales y repuestos.
- Servicios de laboratorio.
- Transporte y disposición de lodos.
- Mantención y contenedores de cloro, cuando corresponda.
- Mantención de obras civiles.
- Control de procesos.

- Remuneraciones de la mano de obra.

Con respecto a las remuneraciones, se considera el personal mínimo necesario de acuerdo a la siguiente clasificación y consecuente remuneración mensual bruta.

TABLA N° 64
Remuneraciones de mano de obra

Operario no calificado (\$/mes) (*)	Operario calificado (\$/mes)	Supervisor (\$/mes)
257.500	518.461	806.433

(*) Salario mínimo

La fracción de dedicación y perfil requerido estará función de cada tecnología y el tamaño de la instalación.

3.1.5 Corrección a precios sociales y tasa de descuento

De acuerdo a la metodología, se consideran las correcciones de inversiones y gastos según los siguientes criterios:

TABLA N° 65
Criterios de Factores de corrección a precios sociales

Costos	Ajuste
Maquinaria, equipos e insumos importados.	Se descuenta el IVA, aranceles e impuestos y se aplica factor de corrección de la divisa.
Maquinaria, equipos e insumos nacionales.	Se descuenta IVA.
Sueldos y salarios.	Se corrige por factor de la mano de obra según calificación.

Los factores de corrección vigentes a la fecha del análisis se entregan en la siguiente tabla:

TABLA N° 66
Factores de corrección

Item	Factor ajuste
Precio social divisa	1,01
Impuesto ad valorem (aduana)	6%
Neto importado	0,9528
Mano de obra calificada	0,98
Mano de obra semicalificada	0,68
Mano de obra no calificada	0,62

En el Anexo N° 7 del presente Informe se entrega la descomposición de cada partida de inversión en sus componentes esenciales necesarias para efectuar la corrección, para lo cual se recurrió a diversos análisis de precios unitarios de obras sanitarias construidas y criterio experto.

En las siguientes tablas se detalla la descomposición adoptada para los gastos de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua potable y aguas servidas.

TABLA N° 67
Descomposición de gastos de operación y mantenimiento PTAP

	Materiales nacionales	Materiales importados	Mano de obra no calificada	Mano de obra calificada	Equipos (importados)	Total
Productos químicos	Según la tecnología					
Energía eléctrica	100%					100%
Materiales y repuestos	30%	70%				100%
Servicios de laboratorio	10%	10%		60%	20%	100%
Remuneración op. no calificado			100%			100%
Remuneración op. calificado				100%		100%
Remuneración supervisor				100%		100%

TABLA N° 68
Descomposición de gastos de operación y mantención PTAS

	Materiales nacionales	Materiales importados	Mano de obra no calificada	Mano de obra calificada	Equipos (importados)	Total
Productos químicos	40%	60%				100%
Energía eléctrica	100%					100%
Materiales y repuestos	30%	70%				100%
Servicios de laboratorio	10%	10%		60%	20%	100%
Transporte y disposición de lodos			20%		80%	100%
Mant. y cert. cont de cloro				70%	30%	100%
Mantención obra civil	40%		40%		20%	100%
Control de procesos	20%	20%		60%		100%
Remuneración op. no calificado			100%			100%
Remuneración op. calificado				100%		100%
Remuneración supervisor				100%		100%

La tasa de descuento social aplicada en la presente evaluación económica es la definida en la metodología y es de un 6%.

3.1.6 Tarifas tratamiento agua potable y aguas servidas

Conforme a los objetivos del estudio, en este punto se calculan referencialmente las tarifas por tratamiento de agua potable y por tratamiento de aguas servidas que hacen viable el proyecto desde el punto de vista privado, considerando para ello dos escenarios correspondientes a con y sin inversión.

En este caso, se estima que la tasa privada de descuento es equivalente a la tasa social (6%).

Considerando que la tarifa se expresa en \$/m³ tratado, se adopta referencialmente para todo el análisis la dotación promedio de consumo de agua potable de 150 l/hab/día y un factor de recuperación de 0,8.

3.2 Resultados de la evaluación social

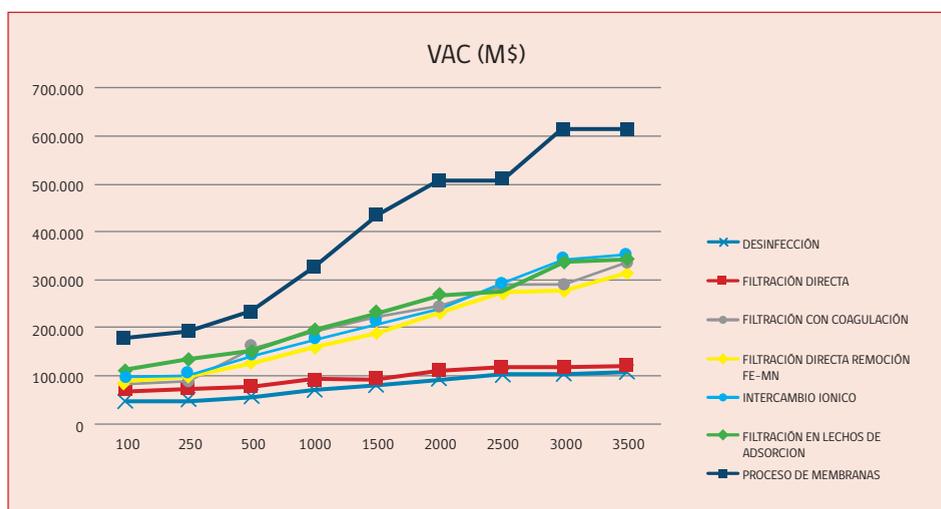
3.2.1 Plantas de tratamiento de agua potable

Los resultados comparativos para el indicador VAC entre las tecnologías de PTAP se presentan en la tabla y figura siguientes.

TABLA N° 69
Valor actual de costos PTAP (M\$)

Tecnología	Población (hab)								
	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Desinfección	46.762	48.111	55.109	70.119	81.789	92.565	102.050	102.302	107.970
Filtración directa	69.763	73.035	75.789	91.411	92.235	111.080	117.991	118.427	121.962
Filtración con coagulación	80.263	89.302	160.215	192.477	221.903	242.320	290.048	290.209	337.938
Filtración directa remoción fe-mn	87.562	99.745	126.928	159.122	190.108	231.998	272.958	275.979	313.915
Intercambio iónico	95.038	106.968	139.850	174.606	208.128	236.634	292.947	341.714	351.943
Filtración en lechos de adsorción	111.937	134.792	151.194	195.664	231.505	268.676	276.578	336.820	341.746
Proceso de membranas	179.266	192.748	230.834	325.925	434.543	506.119	507.165	610.667	613.490

FIGURA N° 42
Valor actual de costos PTAP (M\$)



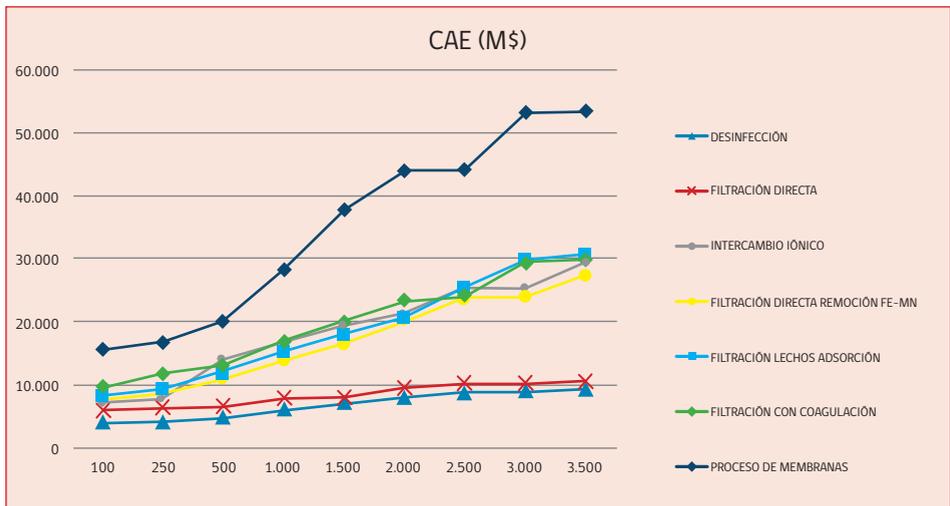
Como se observa en la tabla y gráfico anteriores, la tecnología que posee menor VAC para todo el rango de población de interés corresponde, evidentemente, a la desinfección y la de mayor VAC a la tecnología de membranas.

Por su parte, el indicador costo anual equivalente (CAE) es consistente con lo concluido anteriormente como se puede apreciar en la tabla y figura siguientes.

TABLA N° 70
Costo anual equivalente PTAP (M\$)

Tecnología	Población (hab)								
	100	250	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
Desinfección	4.077	4.195	4.805	6.113	7.131	8.070	8.897	8.919	9.413
Filtración directa	6.082	6.367	6.608	7.970	8.041	9.684	10.287	10.325	10.633
Intercambio iónico	6.998	7.786	13.968	16.781	19.346	21.127	25.288	25.302	29.463
Filtración directa remoción fe-mn	7.634	8.696	11.066	13.873	16.574	20.227	23.798	24.061	27.369
Filtración lechos adsorción	8.286	9.326	12.193	15.223	18.146	20.631	25.540	29.792	30.684
Filtración con coagulación	9.759	11.752	13.182	17.059	20.184	23.424	24.113	29.366	29.795
Proceso de membranas	15.629	16.805	20.125	28.416	37.885	44.126	44.217	53.241	53.487

FIGURA N° 43
Costo anual equivalente PTAP (M\$)



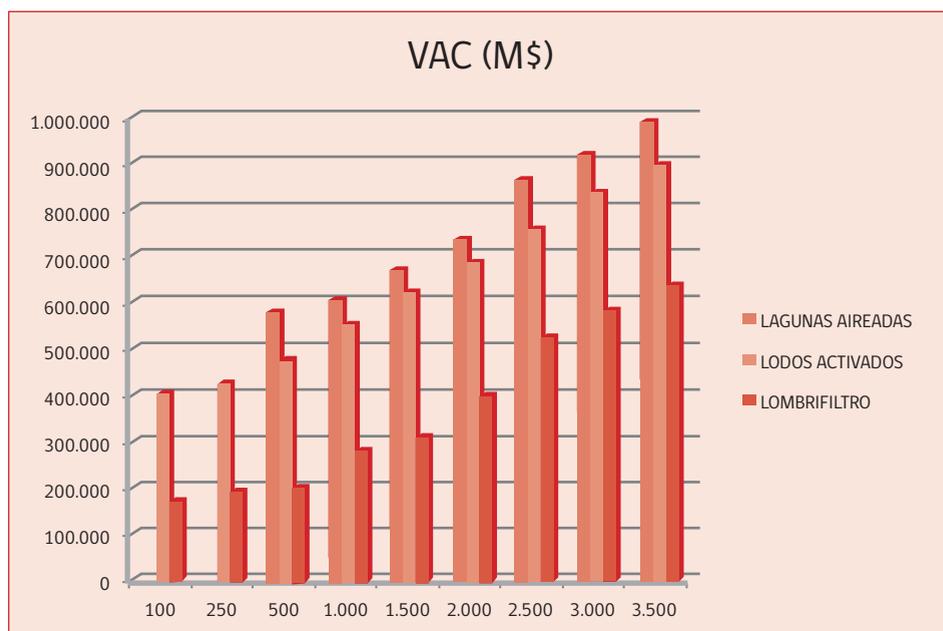
3.2.2 Plantas de tratamiento de aguas servidas

Los resultados comparativos para el indicador VAC entre las tecnologías de PTAS se presentan en la tabla y figura siguientes:

TABLA N° 71
Valor actual de costos PTAS, VAC (M\$)

Tecnología	Población (hab)								
	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Lagunas aireadas			576.740	604.679	669.273	733.909	862.663	919.843	986.967
Lodos activados	402.341	423.162	473.942	552.959	620.838	684.362	759.466	837.906	895.351
Lombrifiltro	172.531	191.506	202.000	280.929	309.208	398.566	523.837	582.188	637.064

FIGURA N° 44
Valor actual de costos PTAS, VAC (M\$)



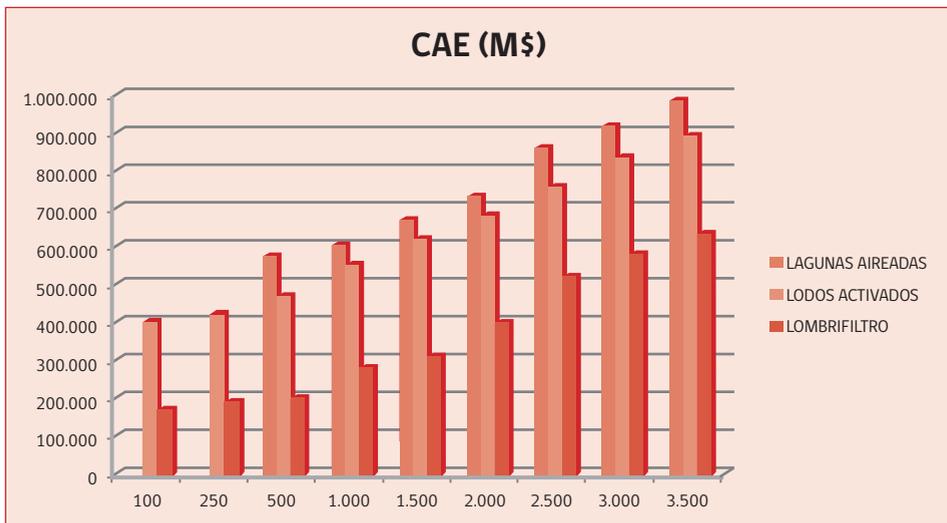
A la luz de lo anterior, se puede concluir que la tecnología que posee menor VAC para todo el rango de población de interés corresponde al lombrifiltro y la de mayor VAC a la laguna aireada a mezcla completa, debido fundamentalmente a la alta incidencia del mayor requerimiento de terreno.

Por su parte, el indicador costo anual equivalente (CAE) es consistente con lo concluido en el punto anterior, vale decir, que la tecnología más conveniente desde el punto de vista social es el lombrifiltro, tal como se muestra en la tabla y figura siguientes:

TABLA N° 72
Costo anual equivalente PTAS (M\$)

Tecnología	Población (hab)								
	100	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Lagunas aireadas			50.283	52.719	58.350	63.986	75.211	80.196	86.048
Lodos activados	35.078	36.893	41.320	48.209	54.127	59.666	66.214	73.052	78.061
Lombrifiltro	15.042	16.696	17.611	24.493	26.958	34.749	45.671	50.758	55.542

FIGURA N° 45
Costo anual equivalente, CAE, M\$



En el Anexo N° 7 del presente Informe (versión digital) se adjunta el detalle "in extenso" del cálculo de estos indicadores para cada tecnología y tamaño.

3.3 Resultados y conclusiones evaluación privada

En lo que respecta a la evaluación privada, se obtienen los precios, para cada tecnología y tamaño de planta, que permiten obtener un valor actual neto (VAN) del proyecto igual a cero, considerando, como ya se señaló, una tasa de descuento del 6%.

Cabe consignar que los sistemas rurales no están afectos a IVA ni impuesto a la renta por lo que el flujo de caja solo incluye ingresos, inversiones y gastos.

El detalle de las tarifas estimadas se encuentra en el Anexo N° 7 del presente informe (versión digital) y los resultados obtenidos se presentan en las tablas siguientes:

3.3.1 Plantas de tratamiento de agua potable

TABLA N° 73
Tarifa para tecnología desinfección

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	598,0	476,0
250	246,0	197,0
500	140,5	114,0
1.000	88,7	78,0
1.500	68,7	61,7
2.000	58,2	53,7
3.000	42,9	38,7
3.500	38,8	35,4

TABLA N° 74
Tarifa para tecnología filtración directa

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	909,9	540,0
250	381,4	219,6
500	198,0	111,6
1.000	118,6	74,5
1.500	79,8	50,0
2.000	71,5	50,4
3.000	51,0	34,4
3.500	45,0	29,9

TABLA N° 75
Tarifa para tecnología filtración con coagulación

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	1.460,0	883,0
250	705,0	378,0
500	396,5	199,5
1.000	256,2	127,3
1.500	202,6	92,2
2.000	175,8	85,1
3.000	147,7	63,8
3.500	128,3	55,4

TABLA N° 76
Tarifa para tecnología filtración en lecho directa remoción fierro y manganeso

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	1.127,0	820,0
250	517,0	351,9
500	330,0	207,0
1.000	206,3	132,9
1.500	164,7	105,4
2.000	151,2	93,1
3.000	120,3	71,0
3.500	117,5	66,9

TABLA N° 77
Tarifa para tecnología intercambio iónico

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	1.041,0	677,0
250	466,0	281,3
500	425,0	192,0
1.000	254,0	126,4
1.500	195,7	91,0
2.000	160,4	73,8
3.000	128,4	55,5
3.500	128,5	52,9

TABLA N° 78
Tarifa para tecnología filtración en lechos de adsorción

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	1.470,0	888,0
250	674,8	393,0
500	428,5	240,2
1.000	261,7	155,6
1.500	205,0	128,4
2.000	173,2	108,6
3.000	163,8	105,8
3.500	144,3	94,3

TABLA N° 79
Tarifa para tecnología proceso de membranas

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	2.581,8	1.405,0
250	1.036,4	566,3
500	623,0	327,5
1.000	434,3	258,7
1.500	389,9	212,7
2.000	339,8	184,2
3.000	274,7	143,2
3.500	236,3	125,8

3.3.2 Plantas de tratamiento de aguas servidas

TABLA N° 80.
Tarifa para tecnología lagunas aireadas

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
500	2.470,0	842,5
1.000	1.285,0	470,0
1.500	947,0	344,0
2.000	779,0	283,0
3.000	651,0	255,0
3.500	595,0	234,0

Tabla N° 81
Tarifa para tecnología lodos activados

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	9.220,0	4.138,4
250	3.870,0	1.699,0
500	2.155,0	904,0
1.000	1.240,0	507,0
1.500	921,0	373,0
2.000	759,0	309,0
3.000	612,0	244,0
3.500	558,0	226,2

TABLA N° 82
Tarifa para tecnología lombrifiltro

Población (hab)	Con inversión (\$/m ³ tratado)	Sin inversión (\$/m ³ tratado)
100	3.730,0	2.325,0
250	1.654,0	1.007,0
500	958,0	570,0
1.000	606,0	352,0
1.500	443,0	233,3
2.000	430,0	241,7
3.000	416,0	237,0
3.500	403,0	222,0

Para efectos comparativos, se presentan a continuación referencialmente los valores tarifarios vigentes de algunas empresas prestadoras del sector urbano de la Región Metropolitana que presentan un bajo número de clientes. Dichas tarifas incluyen recolección y tratamiento de aguas servidas, la inversión, reposición y una rentabilidad del 7% sobre los activos.

TABLA N° 83
Valores tarifarios empresas RM

Concesionaria	N° clientes diciembre 2015	N° habitantes estimado	Tarifa alcantari-llado (\$/m ³ AP)	Tarifa tratamiento (\$/m ³ tratado)
Huertos familiares	696	2.784	553	691
EMAPAL	586	2.344	546	683
Servicios sanitarios la estación	159	636	1.142	1.428

Como se puede observar, las tarifas de tratamiento de aguas servidas determinadas en el presente estudio resultan bastante altas si se comparan con las tarifas urbanas determinadas en los respectivos procesos tarifarios, con excepción de los lombrifiltros.

En todo caso, se debe destacar que, en general, las tarifas del sector sanitario son fuertemente dependientes de las economías de escala, tal como se desprende de las tarifas determinadas en el presente estudio para todas las tecnologías, lo cual es una desventaja para los sistemas rurales en que la baja población es un factor limitante.

Desde el punto de vista económico, privado y social, de entre las alternativas de tratamiento tarifadas la tecnología de lombrifiltro se constituye en una alternativa viable y sostenible en sistemas rurales de más de 100 habitantes.

Capítulo 4



Panquehue, Región de O'Higgins

Tratamiento de lodos

4 Tratamiento de lodos

Los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) presentan en general las siguientes características:

- Adecuadamente tratados, su alto contenido en materia orgánica puede contribuir a mejorar las condiciones físicas de los suelos (incrementar su porosidad, estabilidad de agregados, retención de humedad, etc.), especialmente para suelos del tipo delgados y/o degradados.
- Con aporte de residuos industriales líquidos, las aguas residuales pueden contener distintos tipos de aportes contaminantes que pueden contribuir a la contaminación del suelo y de productos agrícolas.
- Dadas sus propiedades físicas, su transporte y disposición final exigen un manejo diferenciado de los residuos sólidos domiciliarios.

En consecuencia, para prevenir eventuales impactos negativos para la salud humana y el medio ambiente, se requiere un tratamiento adecuado de los lodos generados por la operación de las PTAS así como un manejo adecuado en su transporte y fundamentalmente su disposición.

Para ello el país cuenta con un reglamento, cuyo texto fue sancionado mediante el **DS 04/2009 de octubre de 2009**, y que fue aprobado por la Contraloría como "**Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas**".

A objeto de poder visualizar las alternativas de tratamiento de los lodos generados y su viabilidad en el sector rural, se presenta un análisis de los aspectos más relevantes del reglamento en su aplicación en una planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) en el sector rural, específicamente en lo que al tratamiento, deshidratación y disposición de lodos al interior de la PTAS se refiere para dejarlos en condiciones aptas para su transporte y disposición final.

Considerando el orden de magnitud de la población asociada al sector rural, se debe señalar primeramente que de acuerdo a lo establecido en el reglamento **la autoridad sanitaria podrá liberar de las obligaciones señaladas para el manejo sanitario de los lodos a los operadores de PTAS con una capacidad inferior a 2.500 habitantes equivalentes o que generen hasta 100 kg de lodos base materia seca al día**.

A objeto de poder comprender a cabalidad el contenido del DS 04/2009 y su evaluación se precisan las definiciones más importantes contenidas en el mismo, las que pueden resumirse de acuerdo al siguiente detalle:

- **Almacenamiento**
 - El acopio de lodos en un sitio por un lapso determinado.
 - El tratamiento de lodos en canchas de secado no se considerará almacenamiento.

- **Aplicación de lodos al suelo**
 - Incorporación de lodos al suelo, o mezcla del lodo con el suelo mediante equipos adecuados.
 - La disposición final en excavaciones de minas a tajo abierto, áridos o canchales y depósitos de relave o de estériles; no se considerarán como aplicación al suelo.
- **Disposición final**
 - Depósito definitivo de lodos con tratamiento previo, en rellenos sanitarios o en monorrellenos.
 - La aplicación al suelo no se considerará disposición final.
- **Eliminación**
 - Mediante aplicación al suelo, tratamiento o disposición final.
- **Horizonte superficial del suelo**
 - Capa superficial de 0 - 20 cm de profundidad (puede coincidir con la capa arable del suelo).
- **Lodo**
 - Residuos semisólidos generados en PTAS.
- **Lodo clase A**
 - Lodo sin restricciones sanitarias para aplicación al suelo.
- **Lodo clase B**
 - Lodo apto para aplicación al suelo con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos.
- **Lodo crudo**
 - Lodo proveniente de decantación primaria.
- **Lodo estabilizado**
 - Lodo con reducción del potencial de atracción de vectores sanitarios.
- **Manejo sanitario de lodos**
 - Almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de lodos provenientes de PTAS, con el objeto de evitar riesgos para la salud de la población y el medio ambiente.
- **Monorrelleno para lodos**
 - Instalación para la disposición final de lodos.

- **Relleno sanitario**
 - Instalación para la disposición final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables, en la cual los residuos son compactados en capas al mínimo volumen practicable.
- **Tratamiento**
 - Proceso destinado a cambiar las características físicas, químicas y/o biológicas de los lodos, tales como la estabilización, higienización e incineración.
- **Vectores**
 - Organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos, tales como roedores, moscas y mosquitos.

Sentado lo anterior, se presentan a continuación los aspectos más relevantes desarrollados en el DS 04/2009, manteniendo para un mejor desarrollo el orden secuencial del mismo.

4.1 Clasificación sanitaria de los lodos

La clasificación sanitaria de los lodos detallada en el DS 04/2009 está definida conceptualmente por los siguientes parámetros:

- **Reducción del potencial de atracción de vectores.**
- **Presencia de patógenos.**

Los lodos pueden ser clasificados como lodos estabilizados y lodos higienizados, los que presentan las siguientes características.

4.1.1 Lodos estabilizados o con reducción del potencial de aireación de vectores sanitarios

4.1.1.1 Alternativas

En este punto, el DS 04/2009 establece que se considerarán **lodos estabilizados** aquellos lodos a los que **se les ha reducido los sólidos volátiles en un 38% como mínimo**.

También se considerarán lodos estabilizados los que cumplan con uno de los siguientes requerimientos:

- **Reducción del contenido de sólidos volátiles.**

Si los lodos son tratados por digestión anaeróbica y la reducción de sólidos volátiles es inferior al 38%, se debe demostrar la reducción de atracción de

vectores mediante una prueba de digestión adicional de lodos a escala de laboratorio, la que consiste en verificar que si después de la digestión anaeróbica, los sólidos volátiles son reducidos en un porcentaje inferior al 17% del valor al inicio de un período adicional de 40 días a una temperatura entre 30 y 37°C.

Con respecto a esta alternativa, en el sector rural no se cuenta con sistemas de tratamiento que hayan implementado digestión anaeróbica. Para contarse con ello (período de retención mínimo de 40 días), se debe considerar un elevado requerimiento de control operacional, así como intensivas verificaciones para estabilizar el lodo (control de la temperatura del lodo entre 30 y 37°C, verificación de reducción inferior al 17% de los sólidos suspendidos volátiles de entrada, etc.).

Si los lodos son tratados por digestión aeróbica y la reducción de sólidos volátiles es inferior al 38%, se debe demostrar la reducción de atracción de vectores mediante una prueba de digestión adicional de lodos a escala de laboratorio (con un porcentaje de 2% de sólidos), la que consiste en verificar que si después de la digestión aeróbica, los sólidos volátiles son reducidos en un porcentaje inferior al 15% del valor al inicio de un período adicional de 30 días a una temperatura de 20°C.

Al contar con digestión aeróbica (período de retención mínimo de 30 días), se requiere tanto un riguroso control operacional como verificaciones intensivas (control de temperatura del lodo de 20°C, verificación de reducción inferior al 15% de los sólidos suspendidos volátiles de entrada, etc).

- **Tasa máxima específica de oxígeno para lodos de digestión aeróbica**

La tasa específica de consumo de oxígeno debe ser igual o inferior a 1,5 mg de oxígeno por hora por gramo de sólidos totales en base materia seca, a una temperatura de 20°C.

Esta alternativa exige contar con equipamiento especializado, mediciones continuas de las variables asociadas y control intensivo y adecuado.

- **Procesos aeróbicos con temperaturas mayores a 40°C**

Los lodos deben ser tratados aeróbicamente por 14 días o más, durante los cuales la temperatura debe ser mayor a 40°C y la temperatura media superior a 45 °C.

Esta alternativa en base a digestión aeróbica exige incorporación de calor y control intensivo de temperatura mayor a 40°C por más de 2 semanas y el consecuente control intensivo.

- **Adición de material alcalino**

El pH de los lodos debe ser elevado a 12 o más (mediante agregación de material alcalino). Sin adición de más material alcalino, el pH deberá mantenerse a 12 o más por 2 horas y posteriormente a 11,5 o más por 22 horas adicionales.

Esta alternativa presenta requerimientos de infraestructura y equipamiento viables de ser implementados en el sector rural.

- **Reducción de humedad**

Si los lodos no contienen lodos crudos provenientes de un tratamiento primario, el porcentaje de sólidos debe ser igual o superior a 75%, previo a la mezcla con otros materiales.

Si los lodos contienen lodos crudos provenientes de un tratamiento primario, el porcentaje de sólidos debe ser igual o superior a 90%, previo a la mezcla con otros materiales.

La reducción de humedad establecida es viable de ser obtenida en el sector rural sin requerimiento elevado de infraestructura y equipamiento.

- **Tiempo de residencia**

El tiempo de residencia del lodo en el sistema debe ser igual o superior a 25 días (lodos procedentes de PTAS), en que la estabilización se realiza en la misma unidad en que ocurre la oxidación biológica de la materia orgánica.

Los sistemas en base a lodos activados para tamaños de los del sector rural corresponden en general a tecnologías en base a aireación extendida, de modo que si el diseño contempla una edad del lodo de 25 días o más en el tanque biológico pueden considerarse estabilizados.

4.1.1.2 Análisis y conclusiones

Analizando las alternativas de **estabilización de los lodos**, se puede concluir que tanto por la infraestructura requerida como por la necesidad de operadores calificados y con alta dedicación a esta parte de la PTAS, en el sector rural las más convenientes y fundamentalmente viables podrían ser las siguientes:

- **Adición de material alcalino**, toda vez que para elevar el pH de los lodos a 12 o más y una vez detenida la adición el pH se mantenga en 12 o más por 2 horas y posteriormente a 11,5 o más por 22 horas adicionales **se requerirían inversiones moderadas y aceptable** (sistema de dosificación de cal y eventualmente

silo de cal en las localidades de grandes poblaciones servidas) **y los costos de operación son también moderados** (0,15 – 0,30 kg/kg lodo).

- La alternativa definida como **tiempo de residencia** es alcanzada en aquellas PTAS en base a **lodos activados** que cuentan con **25 días de edad del lodo como promedio mensual**.

Otras alternativas como la digestión aeróbica o anaeróbica requerirán de infraestructura y equipamiento adicional específicos que deberán estar contemplados en el diseño y exigirán de gran dedicación horaria y control adecuado de solamente esta componente, lo cual considerando los consecuentes costos operacionales asociados no la tornan recomendable en el sector rural.

4.1.2 Lodos higienizados

Los lodos higienizados se clasifican a su vez en lodos clase A y lodos clase B. Las principales características de los mismos pueden resumirse del siguiente modo.

4.1.2.1 Lodos clase A

Son aquellos que adicionalmente al cumplimiento de la reducción de la atracción de vectores deben cumplir con los siguientes requisitos:

- **Densidad de coliformes fecales menor a 1.000 NMP en 1 g de sólidos totales en base materia seca, o densidad de salmonellas sp menor a 3 NMP en 4 g de sólidos totales en base materia seca.**
- **Contenido de ova helmíntica viable menor a 1 en 4 gramos de sólidos totales en base materia seca.**

4.1.2.1.1 Alternativas

El cumplimiento de lo arriba definido se podrá demostrar mediante la aprobación por la autoridad sanitaria de las condiciones de operación de uno de los procesos de higienización señalados a continuación.

- **Compostaje**

Si se aplica sea, confinado o en pilas estáticas aireadas, la temperatura de los lodos deberá mantenerse a 55 °C por más de 3 días. Si se aplica con pilas de

volteo, la temperatura de los lodos deberá mantenerse a 55 °C o más, por un período de a lo menos 15 días. Durante dicho período, las pilas deberán ser volteadas un mínimo de 5 veces.

En el actual estado del arte, en el sector rural no se ha contemplado en general el composting como parte integrante de la PTAS.

De querer incorporarse, ello exigirá de grandes requerimientos de terreno por las exigencias ambientales y de diseño asociadas, así como una fuerte dedicación horaria en esta componente.

Si existe un compostaje cercano a la PTAS, sería viable considerar el traslado de los lodos a dicho lugar, debiendo contar para ello con los permisos pertinentes.

- **Secado térmico**

Secado por contacto directo o indirecto con gases a mayor temperatura para reducir el contenido de humedad de los lodos a un 10% como máximo.

La temperatura de las partículas de los lodos deberá exceder los 80 °C o la temperatura de los gases en contacto con los lodos deberá exceder los 80 °C en el punto que los lodos dejen el secador.

Esta alternativa exige de infraestructura de alto costo de inversión y difícil de implementar en el sector rural. Adicionalmente, requiere de un riguroso control operacional de esta componente de la PTAS.

- **Tratamiento con calor**

Los lodos en estado líquido se calientan a una **temperatura de 180 °C** o más **por 30 minutos como mínimo.**

Esta alternativa exige de infraestructura de alto costo de inversión y difícil de implementar en el sector rural. Adicionalmente, requiere de un riguroso control operacional de esta componente de la PTAS.

- **Digestión aeróbica termofílica**

Los lodos en estado líquido son **agitados con aire u oxígeno** con un **tiempo medio de residencia de 10 días a una temperatura entre 55°C y 60°C.**

Esta alternativa exige de infraestructura difícil de implementar en el sector rural. Asimismo, requiere de un riguroso control operacional para mantener la temperatura a que se deben someter los lodos.

- **Irradiación con haces de electrones**

Los lodos son **irradiados con haces de electrones de alta energía** provenientes de un acelerador de electrones, con una **dosis mínima de 10 kGy** (1,0 megarad) a temperatura ambiente (20°C).

Esta alternativa exige de infraestructura difícil de implementar en una PTAS del sector rural y requiere adicionalmente de un riguroso control operacional.

- **Irradiación con rayos gamma**

Los lodos son **irradiados con rayos gamma** de isótopos como **cobalto 60 o cesio 137**, con una **dosis mínima de 10 kGy** (1,0 megarad), a temperatura ambiente (20°C).

Esta alternativa exige de infraestructura difícil de implementar en una PTAS del sector rural y requiere adicionalmente de un riguroso control operacional.

- **Pasteurización**

Los lodos se mantienen por sobre los 70°C por un período superior a 30 minutos.

Esta alternativa exige una infraestructura difícil de implementar en una PTAS del sector rural y requiere adicionalmente de un riguroso control operacional, especialmente de la temperatura requerida a que se deben someter los lodos.

- **Tratamiento alcalino mediante acondicionamiento con cal**

El pH del lodo es elevado a niveles por sobre 12 durante un período no inferior a 72 horas. Durante dicho período la temperatura del lodo deberá ser superior a 52°C por un período no inferior a 12 horas. Adicionalmente, después de transcurridas 72 horas, el lodo deberá secarse al aire hasta obtener un contenido de sólidos totales de 50% o más.

Esta alternativa es viable de ser aplicada y controlada adecuadamente, requiriendo para ello dedicación horaria parcial y moderada.

- **Tratamientos térmicos según determinadas combinaciones de tiempo y temperatura**

Se reconocen 4 combinaciones de regímenes tiempo - temperatura aceptables. Cada una de ellas considera el porcentaje de sólidos contenidos en el lodo y los parámetros operacionales del proceso de tratamiento. El tratamiento cualquiera sea este, importa que los lodos deben mantenerse a una cierta tempe-

ratura por un período de contacto mínimo, el que se determina conforme a las siguientes ecuaciones.

$$D = 131.700.000/10^{0,14 T}$$

donde:

D = Tiempo de contacto mínimo, en días.

T = Temperatura, en grados Celsius.

Cuando se cumpla alguna de las condiciones que a continuación se detallan:

- El contenido de sólidos en los lodos sea mayor o igual a 7%, la temperatura de los lodos no sea inferior a 50 °C y el tiempo de contacto mínimo sea de 20 minutos, excepto en los casos cubiertos por la alternativa i.2.
- El contenido de sólidos en los lodos sea mayor o igual a 7%, la temperatura de los lodos no sea inferior a 50 °C y los lodos estén constituidos por partículas pequeñas que se calientan por medio de gases o líquidos inmiscibles, el tiempo de contacto mínimo será de 15 segundos.
- El contenido de sólidos en los lodos sea menor al 7% y los lodos sean tratados en procesos con un tiempo de contacto que va entre 15 segundos y 30 minutos. Alternativamente, cuando el contenido de sólidos en los lodos sea menor al 7% y la temperatura de los lodos no sea inferior a 50 °C, y sean tratados en procesos con tiempo de contacto mayor o igual a 30 minutos, se aplicará la ecuación.

$$D = 50.070.000/100,14 T$$

donde:

D = Tiempo de contacto mínimo, en días.

T = Temperatura, en grados Celsius.

Esta alternativa exige de infraestructura difícil de implementar en una PTAS del sector rural y requiere adicionalmente de un riguroso control operacional, especialmente de la temperatura requerida y tiempos de contacto.

- **Un proceso de tratamiento equivalente**

Cuyo uso sea previamente aprobado por la autoridad sanitaria.

4.1.2.1.2 Análisis y conclusiones

El análisis de las alternativas de **higienización para obtener lodos clase A**, permite concluir que en general las PTAS no podrían alcanzar esa calidad a menos que se incor-

por infraestructura y equipamiento adicional y se cuente con personal que además de ser calificado deberá derivar mayor requerimiento de dedicación horaria solamente para esta componente. Asimismo, ello llevará asociados mayores costos de operación y el consecuente incremento en las tarifas.

Así por ejemplo, una de las alternativas más simples de implementar, cual es el **tratamiento alcalino mediante acondicionamiento con cal**, requiere que el **pH del lodo sea elevado a niveles por sobre 12 durante un período no inferior a 72 horas**, durante las cuales **la temperatura del lodo deberá ser superior a 52°C por un período no inferior a 12 horas**. Adicionalmente, **después de transcurridas 72 horas, el lodo deberá secarse al aire hasta obtener un contenido de sólidos totales de 50% o más**.

Otra alternativa como la digestión aeróbica termofílica requerirá infraestructura y equipamiento adicional que permita mantener una **temperatura entre 55°C y 60°C** durante el tiempo medio de residencia establecido (**10 días**).

Las demás alternativas requerirán de infraestructura y equipamiento adicional específicos que deberán estar contempladas en el diseño y exigirán de gran dedicación horaria y control adecuado de solamente esta componente, lo cual considerando los consecuentes costos operacionales asociados no las tornan recomendables en el sector rural.

4.1.2.2 Lodos clase B

Son aquellos que **adicionalmente al cumplimiento de la reducción de la atracción de vectores deben cumplir con** los siguientes requisitos.

- **La media geométrica de coliformes fecales del análisis de un número de muestras no inferior a siete (tomadas al momento de su uso o de su eliminación), debe ser menor que 2.000.000 NMP/g sólidos totales en base materia seca.**

4.1.2.2.1 Alternativas

El cumplimiento de lo arriba definido se podrá demostrar mediante la aprobación por la autoridad sanitaria de las condiciones de operación de uno de los procesos de higienización señalados a continuación.

- **Digestión aeróbica**

Los lodos se **agitan con aire u oxígeno** para mantener condiciones aeróbicas durante un tiempo medio de retención celular específico a una temperatura específica. El **tiempo de residencia deberá ser mínimo 40 días y máximo 60 días y la temperatura deberá ser mínimo 20°C en el caso de 40 días de**

residencia y de 15°C en el caso de 60 días. La variación del tiempo de residencia entre los 40 y 60 días, admitirá la variación de la temperatura mínima en una proporción equivalente.

Esta alternativa exige contar con digestión aeróbica que tenga tiempo de residencia de 40 - 60 días (con los consecuentes altos costos operacionales asociados) y un control continuo de temperatura, de alta dedicación horaria para esta componente.

- **Secado al aire**

Procesos de secado sobre una cama de arena o en piscinas de poca profundidad. El proceso de secado debe comprender un tiempo mínimo de tres meses, durante dos de los cuales la temperatura ambiente debe ser superior a 0°C. El tiempo máximo de secado será de seis meses.

Gran parte de las PTAS del sector rural cuenta con lechos de secado, de modo que si su capacidad es adecuada para permitir rotar periódicamente los lodos cada 3 meses, se constituye en una de las alternativas más viables de aplicar tanto por su simplicidad operativa como por los bajos costos operacionales asociados.

- **Digestión anaeróbica**

Los lodos son tratados en ausencia de aire, con un período de residencia medio y una temperatura específica. Los valores del tiempo de residencia medio y temperatura serán de 15 días entre 35°C a 55°C o de 60 días a 20°C.

La mayoría (si no todas) las PTAS del sector rural no incorporan digestión del tipo anaeróbico.

De contar con ello, deben poseer un periodo de retención de 15 días a una temperatura entre 35 y 55°C, o de 60 días a 20°C, lo que requerirá de un elevado control operacional y verificación continua de las condiciones establecidas.

- **Compostaje**

Usando ya sea el método de compostaje confinado, pilas aireadas estáticas o pilas de volteo, la temperatura mínima de los lodos debe elevarse a 40°C o más y mantenerse por 5 días. La temperatura del compost deberá exceder los 55° C durante 4 horas de dicho período.

En el sector rural no se considera en general el composting como parte integrante de la PTAS.

De querer incorporarse, ello exigirá de grandes requerimientos de terreno por las exigencias ambientales y de diseño asociadas, así como una fuerte dedicación horaria en esta componente.

Si existe un compostaje cercano a la PTAS, sería viable considerar el traslado de los lodos a dicho lugar, debiendo contar para ello con los permisos pertinentes.

- **Estabilización con cal**

Procedimiento en el cual se **agrega cal** (viva o apagada) para **eleva el pH de los lodos a 12 durante un período no inferior a dos horas**.

Esta alternativa es viable de ser aplicada y su control requerirá dedicación horaria parcial viable como parte del desarrollo de las actividades del operador.

- **Un proceso de tratamiento equivalente**

Cuyo uso sea previamente aprobado por la autoridad sanitaria.

4.1.2.2 Análisis y conclusiones

Analizando las alternativas de **higienización para obtener lodos clase B**, se puede concluir que en general la mayoría de las PTAS del sector rural podrían alcanzar esa calidad considerando alguna de las siguientes alternativas.

- **Estabilización con CAL**, toda vez que el requerimiento de infraestructura para agregar cal (viva o apagada) que permita elevar el pH de los lodos a 12 durante un período no inferior a dos horas no es significativo desde un punto de vista comparativo con el de otras alternativas pues no requiere de inversiones significativas (sistema de dosificación de cal y eventualmente silo de cal) y los costos de operación son razonables (0,15 - 0,30 kg/kglobo).
- Otra alternativa viable la constituye el **secado al aire**, especialmente al momento de considerar que gran parte de las PTAS del sector rural cuentan con lechos de secado, debiendo para ello contar con una capacidad adecuada que permita rotar periódicamente los lodos cada 3 meses.

Aquellas PTAS que cuentan con digestión aeróbica pueden utilizar esa componente unitaria para efectos de higienización de los lodos, siempre que cumplan con que el período medio de retención esté entre 40 y 60 días.

Una vez desarrollada la clasificación sanitaria de los lodos recientemente detallada, el Reglamento establece una serie de aspectos adicionales, de los cuales se analizan aquellos de mayor relevancia.

4.2 Manejo sanitario de lodos

En este punto se establece que toda PTAS deberá contar con un proyecto de ingeniería que deberá ser aprobado por la autoridad sanitaria. Dicho proyecto deberá dar cuenta del almacenamiento, tratamiento, transporte, disposición final y de los aspectos sanitarios de la aplicación de los lodos al suelo.

El proyecto deberá contemplar el manejo de los lodos que se generan en las distintas componentes unitarias que conforman la PTAS, garantizar que no existirán riesgos para la salud de la población y para el medio ambiente y contemplar las medidas necesarias para que el almacenamiento de lodos en situaciones de emergencia (por ejemplo fallas en parte del circuito de lodos de la PTAS) se realice en condiciones que garanticen un adecuado control de la emanación de gases y olores, la infiltración de líquidos y la proliferación de vectores.

4.3 Almacenamiento de lodos en la PTAS

El tiempo de almacenamiento de lodos crudos en una PTAS no deberá superar al establecido en el proyecto para la alimentación al proceso de estabilización.

Solo se podrá realizar un almacenamiento por un período superior al necesario en caso de problemas operativos en el circuito del tratamiento de lodos.

4.3.1 Almacenamiento de lodos estabilizados

Solo se permitirá el **almacenamiento de lodos estabilizados en la PTAS en cantidades inferiores a 40 (cuarenta) toneladas y por un plazo máximo de 7 (siete) días**. Los lodos deberán ser eliminados de acuerdo a lo aprobado por la autoridad sanitaria en el proyecto.

El diseño y operación de la **zona de almacenamiento** de lodos estabilizados deberá **considerar un sistema de impermeabilización y de control de gases y olores**, garantizando que no existirán riesgos para la salud, el bienestar de la población y el medio ambiente.

En lo referido al **sistema de impermeabilización**, deberá ser diseñado de manera tal **que impida el escape o migración lateral y de fondo de líquidos**, y deberá consistir en una **lámina sintética de polietileno de baja densidad (al menos 0,76 mm. de**

espesor) instalada sobre una capa de arcilla (al menos 30 cm. de espesor) y una conductividad hidráulica no superior a 10^{-7} cm/s u otro sistema aprobado por la autoridad sanitaria que asegure impermeabilidad igual o superior.

4.3.2 Almacenamiento de lodos clase B

Los lodos clase B podrán ser almacenados en la PTAS en cantidades inferiores a 35 toneladas y por un plazo máximo de 7 días sin restricciones adicionales.

El almacenamiento de lodos clase B en cantidades y plazos superiores se debe realizar cumpliendo las exigencias para un monorrelleno señaladas más adelante, o a través de un sistema de confinamiento que asegure que se controlará la generación de olores, atracción de vectores y la migración de líquidos al suelo.

En cuanto al tiempo máximo de permanencia de lodos clase B en el predio, previo a su incorporación al suelo, será de 15 días.

4.4 Transporte de lodos

El transporte de lodos al punto de disposición deberá realizarse en vehículos completamente estancos y cerrados que impidan escurrimientos, derrames y la emanación de olores durante su traslado.

El transporte de lodos que cumpla con los requisitos para lodos clase A o B, y que presenten una humedad igual o inferior a 85%, podrá realizarse en recipientes cubiertos en condiciones que impidan el escurrimiento, el derrame o la emisión del material particulado durante el mismo.

4.5 Disposición de lodos

4.5.1 Disposición en rellenos sanitarios

En **rellenos sanitarios solo se podrá disponer lodos de clase A o B**, debiendo contar para ello con la autorización sanitaria que permita disponer dichos lodos conjuntamente con los residuos domiciliarios.

La cantidad de lodos a disponer diariamente en un relleno sanitario no deberá ser superior a un 6% del total de los residuos dispuestos diariamente, pudiendo autorizarse, en condiciones técnicas justificadas, hasta un 8%.

La humedad media diaria del lodo a disponer no deberá superar el 70%, con un máximo de 75% por muestra. Para los lodos generados en PTAS con una capacidad de hasta 30.000 habitantes, la humedad media diaria del lodo no debe superar el 75%, con un máximo de 80% por muestra.

4.5.2 Disposición en monorrellenos

En monorrellenos para lodos solo se podrán disponer lodos que cumplan con los criterios de estabilización señalados anteriormente.

Los monorrellenos para lodos podrán ser proyectados como instalaciones anexas a las plantas de tratamiento de aguas servidas o rellenos sanitarios o independientes de estos.

Los proyectos de monorrellenos para lodos deberán considerar un sistema de impermeabilización y de control de gases y olores, sin perjuicio de la reglamentación sanitaria vigente aplicable a la disposición final de residuos sólidos

Durante la operación del monorrelleno se requerirá del recubrimiento diario de los lodos, pudiendo la autoridad sanitaria exigir una frecuencia mayor si se generan problemas de olores durante la operación.

4.6 Excepciones al manejo sanitario de lodos

La autoridad sanitaria podrá liberar de las obligaciones señaladas para el manejo sanitario de los lodos a los operadores de PTAS con una capacidad inferior a 2.500 habitantes equivalentes o que generen hasta 100 kg de lodos base materia seca al día.

4.7 Aplicación de lodos al suelo

De acuerdo a lo señalado en los objetivos del estudio, considerando que el escenario es el ámbito rural, un aspecto de alto interés para el estudio lo constituye el analizar la aplicación de los lodos en el entorno inmediato, por lo cual se incorpora en el presente punto el análisis de lo señalado al respecto en DS 04/2009, donde se establecen los siguientes aspectos:

4.7.1 Plan de aplicación de lodos al suelo (plan de aplicación)

Para poder aplicar lodos al suelo, se deberá elaborar previamente un plan de aplicación de lodos al suelo (plan de aplicación), cuya duración no podrá en ningún caso ser superior a un año.

El generador será el responsable del cumplimiento de los requisitos y condiciones técnicas que contemple dicho plan, el cual deberá contener la información requerida en forma individual para cada predio o potrero donde se efectuará la aplicación.

4.7.2 Área de aplicación de lodos al suelo

El área de aplicación deberá cumplir con los siguientes requisitos sanitarios:

- Estar ubicada a más de 300 metros de conjuntos de viviendas (villorrios, pueblos y ciudades), hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas y otros establecimientos similares. Sin perjuicio de lo anterior, la distancia a viviendas aisladas deberá ser superior a 100 metros.
- Estar ubicada a más de 300 metros de una captación de agua subterránea para agua potable. En caso de acuíferos vulnerables (napas ubicadas a bajas profundidades, altas permeabilidades, etc.) la autoridad sanitaria podrá determinar radios mayores.
- Estar ubicada fuera de una franja contigua al punto de captación de aguas superficiales para agua potable, de una longitud de 1.000 metros aguas arriba del punto de captación y 200 metros aguas abajo y un ancho de 500 metros.
- Disponer de una restricción al acceso de animales y personas para evitar riesgos sanitarios (cercos, señalética, etc).

4.7.3 Suelos en que no se podrá efectuar aplicación de lodos

No se podrá aplicar lodos a sitios que presenten algunas de las siguientes condiciones y características:

- Suelo con contenido de arena igual o superior a un 70% que se encuentre en zonas de precipitaciones media anual superiores a 100 mm.
- pH inferior a 5.
- Pendiente superior a 15%. Suelos que teniendo pendiente superior a 15% tengan presencia de cobertura vegetal arbustiva o arbórea podrán realizar aplicación localizada, debiendo ello estar descrito en el plan de aplicación.
- Suelos saturados con agua la mayor parte del tiempo (vegas, bofedales y suelos "ñadis").
- Suelos cuya napa freática se encuentre a menos de 1 metro de profundidad y sitios en los cuales se genere un efecto de napa colgante.
- Suelos cubiertos con nieve.
- Suelos ubicados a menos de 15 metros de las riberas de ríos y lagos.
- Suelos ubicados a menos de 15 metros de un área que cuente con recursos para bebida animal.
- Suelos con riesgo de inundación.

4.7.4 Concentración de metales pesados del suelo para aplicación de lodos

Se establecen las **concentraciones máximas de metales pesados** que pueden contener los **suelos receptores** previo a la aplicación de lodos.

4.7.5 Tasa máxima de aplicación de lodos al suelo

En aquellos suelos que cumplan los requisitos, la **tasa máxima de aplicación de lodos al suelo será de 90 t/ha por año en base materia seca.**

En aquellos **suelos que posean una concentración de metales pesados mayor a la establecida y no hayan sido receptores de lodo, se permitirá una sola aplicación a una tasa máxima de 30 t/ha.**

4.7.6 Concentración de metales pesados de lodos clase A y B para aplicación de lodos al suelo

Los **lodos clase A y B provenientes de PTAS** podrán aplicarse al suelo solamente **si cuentan con un proyecto aprobado por la autoridad sanitaria y cumplan con la concentración máxima de metales señalados en el reglamento.**

El compost producido con lodos provenientes de PTAS deberá cumplir con las exigencias establecidas en la aplicación de lodos al suelo.

4.7.7 Condiciones de aplicación de lodos clase B

En suelos destinados a cultivos hortícolas o frutícolas menores que estén en contacto directo con el suelo y que se consuman normalmente sin proceso de cocción, los lodos clase B deberán aplicarse con a lo menos 12 meses de antelación a la siembra. Durante el ciclo vegetativo de estos cultivos no se podrá aplicar lodos por ningún motivo.

En praderas y cultivos forrajeros, se podrá proceder al pastoreo o a la cosecha solamente después de transcurridos 30 días desde la última aplicación de lodos clase B.

La aplicación de lodos clase B en suelos de uso forestal podrá efectuarse solamente si se cuenta con un control de acceso al área durante los 30 días posteriores a la aplicación.

4.7.8 Procedimientos de medición y control

El Ministerio de Salud será el que determinará los requisitos que deberán cumplir los laboratorios que presten servicios para efectuar los análisis requeridos. El Servicio Agrícola y Ganadero establecerá un sistema para la validación de los análisis y mediciones que efectúen los laboratorios que presten los servicios de caracterización mencionados.

El Ministerio de Salud establecerá los procedimientos y metodologías de determinación de las características sanitarias de lodos. El Servicio Agrícola y Ganadero establecerá los procedimientos y metodologías de determinación de las características fisicoquímicas de los lodos y del suelo.

Los lodos que se depositen en un monorrelleno deberán contar con análisis de la reducción de atracción de vectores.

Los lodos con destino a un relleno sanitario, deberán contar con análisis de reducción de atracción de vectores, de la presencia de patógenos y del contenido de humedad.

Los lodos con destino a la aplicación al suelo deberán contar con la caracterización de la concentración de metales pesados de lodos clase A y B para aplicación de lodos al suelo. En cuanto al suelo receptor de los lodos, deberá contar con la caracterización de la concentración de metales pesados del suelo para aplicación de lodos.

Antes de cada aplicación de lodos al suelo deberá efectuarse un análisis de suelo de acuerdo a un protocolo de toma de muestras de suelos establecido por el SAG. La identificación de los parámetros que indican los grados de limitación del suelo deberá basarse en la "Pauta para estudio de suelos del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)".

En el Anexo N° 8 del presente Informe (versión digital), se presenta a modo ilustrativo un resumen de la medición de parámetros establecidos en el DS 04/2009 para todos los escenarios y alternativas señaladas.

Capítulo 5



Paihuano, Región de Coquimbo

Reutilización de aguas servidas tratadas

5 Reutilización de aguas servidas tratadas

5.1 Antecedentes generales

Tanto en países en vías de desarrollo como en países industrializados, la reutilización del agua es una tendencia de carácter global que ha sido determinada por tres factores principales.

- Incremento de la demanda por el recurso en un escenario climáticamente adverso para su disponibilidad.
- Reconocimiento creciente de la importancia del recurso y del valor de las aguas servidas y de su contenido de nutrientes.
- Consideraciones de carácter económico, relacionadas con el retorno parcial de beneficios en las inversiones en el tratamiento de las aguas residuales ante la posibilidad de comercializar el agua recuperada como un subproducto.

En el sector rural, la reutilización es una medida atractiva que se fundamenta en tres aspectos más específicos y relevantes en la actualidad, que dicen relación con la escasez hídrica local, el uso eficiente del recurso y algunos aspectos de protección sanitaria y ambiental.

El problema global de la disponibilidad del recurso tiene hoy una clara expresión en el sector rural del país, ya que se ha manifestado durante las últimas décadas como consecuencia de una serie de modificaciones climáticas (alza de la temperatura promedio, cambios en los patrones de precipitación y en los eventos climáticos extremos, entre otros), que son a su vez los síntomas del denominado cambio climático, fenómeno que está teniendo repercusiones sobre las actividades económicas y el bienestar de la población y de los ecosistemas.

Como contraparte, existe una demanda creciente por el recurso agua, ya sea para los efectos de la producción de agua potable para el consumo humano o para las actividades económicas propias del sector como es el caso de la agricultura o la producción de alimentos agropecuarios.

Por su parte, el uso eficiente del recurso no solo involucra el agua sino también la energía ya que ambos son mutuamente dependientes, pues la producción de energía requiere grandes volúmenes de agua y la infraestructura destinada a la producción o manejo del agua requiere de importantes cantidades de energía.

En materia de protección medioambiental, es preciso destacar el hecho que la demanda de agua para el consumo humano en escenarios de escasez hídrica lleva al uso de fuentes alternativas por parte de la población, que no siempre son seguras para la salud de las personas.

Por otra parte, las regulaciones ambientales, particularmente de normas de emisión, han tenido una tendencia creciente a restringir los contenidos de nutrientes en las

descargas de aguas servidas tratadas, con la finalidad de proteger ambientalmente los cuerpos receptores de origen natural, sean estos continentales o costeros.

En este contexto y para los efectos del presente estudio, la reutilización se referirá al reuso de aguas servidas tratadas, el cual debiera estar incorporado a cualquier sistema de gestión integral y sustentable del recurso agua, aplicable con beneficios directos al sector rural, ya que permite reducir el grado de tratamiento para cumplir con la reducción de nutrientes, reduciendo en consecuencia los costos y el consumo de energía, y permitiendo utilizar esta agua directamente en ciertas actividades económicas locales.

5.2 Potenciales usos de las aguas servidas tratadas

En términos generales los usos más comunes establecidos en la bibliografía y en desarrollo en diferentes países, se relacionan con la irrigación de suelos agrícolas, riego de parques y prados, uso industrial, recarga de acuíferos subterráneos, uso recreacional, uso en sistemas naturales y generación de energía.

Dado el propósito de reutilización en el sector rural del país, se consideran los usos más relevantes y con beneficios locales directos en cada zona de aplicación, como son el riego de prados y el riego agrícola, sin descartar el uso normal y vigente en aquellas localidades con tratamiento como es la recarga de cuerpos de aguas naturales superficiales.

Para los efectos de los requerimientos, el reuso en riego de prados quedará cubierto con los requerimientos establecidos para el riego de cultivos no alimentarios.

Cuando el reuso de las aguas tratadas tiene como propósito el riego en agricultura se debe tomar en consideración la siguiente consideración el tipo de riego.

Riego restringido. Referido al uso de un agua de regular calidad para riego en áreas agrícolas específicas y para cultivos específicos.

Riego irrestricto. Referido al uso de un agua de buena calidad para riego de todo tipo de cultivos y en todo tipo de suelos, para lo cual debe cumplir con una calidad tal que:

- No tenga efecto adverso en los cultivos.
- No tenga efecto adverso en los suelos.
- No afecte animales ni la salud humana en las etapas de producción agrícola.
- No afecte a los consumidores.
- Ser apta para la preservación de la vida acuática.

Los principales aspectos que tradicionalmente han sido relevantes en el agua destinada al riego de cultivos agrícolas son la salinidad, toxicidad y, dado el origen de las

aguas a reutilizar en riego, preponderantemente su calidad microbiológica, debido a la presencia de organismos patógenos en las aguas servidas.

5.3 Análisis de la normativa nacional vigente

En nuestro país el documento normativo más próximo, pero no asociado a la reutilización de aguas servidas en riego es la Norma NCh 1.333/78, modificada en 1987, que establece los criterios de calidad del agua para diferentes usos, regulando algunos aspectos físicos, químicos y biológicos.

Sus criterios tienen por objeto entre otros, proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo u origen. Esta norma es aplicable a las aguas destinadas a los siguientes usos:

- Agua para consumo humano.
- Agua para la bebida de animales.
- Riego.
- Recreación y estética (recreación con y sin contacto directo).
- Vida acuática.

Por los alcances que tiene esta norma para los efectos de uso de aguas para riego en el sector rural, se presenta un breve análisis con respecto a los principales aspectos regulados sobre la materia.

5.3.1 Uso para bebida de animales

Respecto de este uso específico, aplicable en el sector rural, el documento en referencia se remite a la Norma Nch 409 Agua Potable - Parte 1: Requisitos de Calidad, facultando sin embargo a la autoridad competente para determinar casos especiales.

5.3.2 Uso para riego

La norma establece al respecto la regulación de una serie de parámetros de calidad que son relevantes para esta actividad.

En relación a los requisitos bacteriológicos, esta norma establece un límite para los coliformes fecales de 1.000 NMP/100 ml en agua para riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen crudas. Otros parámetros de tipo físico químico regulados son los siguientes:

TABLA N° 84
Requisitos de calidad para aguas de riego (Norma NCh 1333/87)

Parámetro de calidad	Rangos o límites (mg/l)	Parámetro de calidad	Rangos o límites (mg/l)
pH	5,5-9,0	Hierro	5
Conductividad específica	<1.500 y ≤ 3.000 (1)	Litio	2,5
Salinidad	-	Litio (cítricos)	0,075
Bicarbonato	-	Manganeso	0,2
Coliformes totales (*)	-	Mercurio	0,001
Coliformes fecales (*)	1.000	Molibdeno	0,01
DBO ₅	-	Níquel	0,2
Oxígeno disuelto	-	Plata	0,2
Sólidos disueltos totales	<1.000 y ≤ 2.000 (2)	Plomo	5
Aluminio	5	Zinc	2
Amoníaco	-	Flúor	-
Arsénico	0,1	Fluoruro	1
Bario	4	Cloruro	200
Berilio	0,1	Nitrógeno	-
Boro	0,75	Nitrato	-
Cadmio	0,01	Nitrito	-
Cianuro	0,2	Selenio	0,02
Cobre	0,2	Sodio	35 %
Cobalto	0,05	Sulfato	250
Cromo total	0,1	Vanadio	0,1
Estaño	-	Compuestos fenólicos	-

(1) Concentración en μ .mhos/cm, el agua tendrá efectos adversos.

(2) El agua tendrá efectos adversos en los cultivos.

(*) Concentración en NMP/100 ml.

La salinidad del agua de riego es relevante por el hecho que al acumularse en la zona radicular en una concentración determinada, ocasiona pérdidas en la productividad de las plantas. En este contexto la norma chilena establece también algunas directrices, respecto de los contenidos de salinidad que debieran tener las aguas cuando se emplean para irrigación, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

TABLA N° 85
Requisitos de salinidad para aguas de riego (Norma NCh 1333/87)

Clasificación	Conductividad específica, c , μ , mhos/cm A 25°C	Sólidos disueltos totales, s , mg/l, a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos.	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadoso.	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < s \leq 5000$

Altas concentraciones de sodio en el agua de riego, pueden afectar adversamente la estructura del suelo y reducir la conductividad hidráulica del suelo en suelos de textura fina.

El grado al cual el sodio será absorbido por un suelo es función de la proporción de sodio a los cationes divalentes (Ca y Mg), y es normalmente expresado como razón adsorción sodio (RAS), aspecto que es parte de la salinidad de las aguas destinadas a este uso.

5.4 Normativa internacional

5.4.1 Directrices de la Organización Mundial de la Salud

En la actualidad existe un amplio desarrollo de las regulaciones internacionales para la reutilización de aguas servidas tratadas en agricultura, que han surgido al amparo de la directriz internacional más relevante en la materia, publicada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2006⁸.

El documento de la OMS que entrega directrices para el uso seguro de aguas servidas, excretas y aguas grises, describe el estado del conocimiento científico internacional respecto del impacto del uso de las aguas servidas en la agricultura, en la salud de los consumidores de productos agrícolas, en los trabajadores del campo y sus familias y en las comunidades locales.

⁸ Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywaters WHO-UNEP-FAO 2006

En términos generales, presenta un resumen de la información disponible y de estudios epidemiológicos y de transmisión de enfermedades infecciosas en relación a los riesgos sanitarios asociados al uso de aguas servidas en irrigación, debido a la presencia de organismos patógenos que pueden sobrevivir en el ambiente ya sea en las aguas servidas, en los suelos y/o en los productos agrícolas y que eventualmente pudieran infectar a las personas, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

TABLA N° 86
Riesgos sanitarios por el uso de aguas servidas para irrigación

Grupo expuesto	Riesgos para la Salud Infecc		
	Infecciones por helmintos	Infecciones por bacterias/virus	Infecciones por protozoos
Consumidores	Riesgo significativo de infección por ascaris con aguas servidas no tratadas en adultos y niños.	Reportes de brotes de cólera, tifoidea y shigelosis por el uso de aguas servidas no tratadas.	Evidencia de parásitos encontrados en verduras regadas con aguas servidas, pero no hay evidencia de transmisión de enfermedades.
Trabajadores del campo y sus familias	Riesgo significativo de infección con ascaris por contacto con aguas servidas no tratadas en adultos y niños. Riesgos para los niños se mantienen en aguas tratadas con < 1 huevo nemátodo/L. Incremento del riesgo en los trabajadores por anquilostomiasis.	Riesgo de enfermedades diarreicas en jóvenes por contacto con aguas servidas que exceden 10^4 coliformes termotolerantes/100 ml. Riesgo elevado de infección con salmonella en niños expuestos a las aguas servidas no tratadas. Elevada respuesta a norovirus en adultos expuestos a aguas servidas parcialmente tratadas.	Riesgo insignificante de infección por Giardia Intestinalis por contacto con aguas servidas tratadas y no tratadas. Se observa incremento del riesgo de amebiasis por contacto con aguas servidas no tratadas.
Comunidad cercana	Trasmisión de ascaris en sistemas de riego por aspersión no ha sido estudiada, al igual que en riesgo tendido o por surco.	Riesgo por aspersión de aguas tratadas de baja calidad (coliformes totales $10^5 - 10^8/100$ ml) asociados con aumento de las tasas de infección. Uso de aguas parcialmente tratadas ($10^4 - 10^5$ coliformes termotolerantes/100 ml) para riego por aspersión, no se ha asociado a incrementos de las tasas de infección viral.	No hay información de infecciones protozoarias debidas al riego por aspersión con aguas servidas.

Uno de los aspectos relevantes a considerar en el uso de aguas servidas tratadas para la irrigación, particularmente en agricultura, es la combinación de diferentes medidas de protección sanitaria en toda la cadena del proceso desde la producción del agua destinada al riego hasta el consumidor final del producto agrícola.

En este sentido existen diversas medidas de control, cada una de las cuales tiene asociada una reducción de la concentración de los organismos patógenos, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

TABLA N° 87
Medidas de protección y reducciones asociadas de organismos patógenos

Medida de control	Reducción de patógenos (unidades Log)	Comentario
Tratamiento de aguas servidas	1 - 6.	Niveles de reducción dependen de los diferentes sistemas de tratamiento
Riego por goteo en cultivos bajos	2	Cultivos de tubérculos sobre suelo tales como lechuga
Riego por goteo en cultivos altos	4	Cultivos tales como tomates en que el producto no se encuentra en contacto con el suelo.
Riego controlado por aspersión	1	Uso de microaspersores controlados, control de dirección con anemómetros
Zonas de amortiguación con riego por aspersión	1	Protección de residentes en zona de riego por aspersión; zona de amortiguación entre 50 - 100 m
Mortalidad de organismos patógenos	0,5 - 2/día	Mortalidad sobre los cultivos entre el último riego y su consumo. Reducción depende del clima (temperatura, radiación solar, humedad) tiempo, tipo de cultivo, etc.
Lavado del producto con agua	1	Lavado de ensaladas, vegetales y frutas con agua limpia.
Desinfección del producto	2	Lavado de ensaladas, vegetales y frutas con una solución desinfectante débil y enjuague con agua limpia.
Retiro de cáscara del producto	2	Frutas y tubérculos
Cocción del producto	6 - 7.	Inmersión en agua hirviendo o cercano al punto de ebullición del agua asegura la destrucción de patógenos.

Fuente: Beuchat (1998); Petterson & Ashbolt (2003).

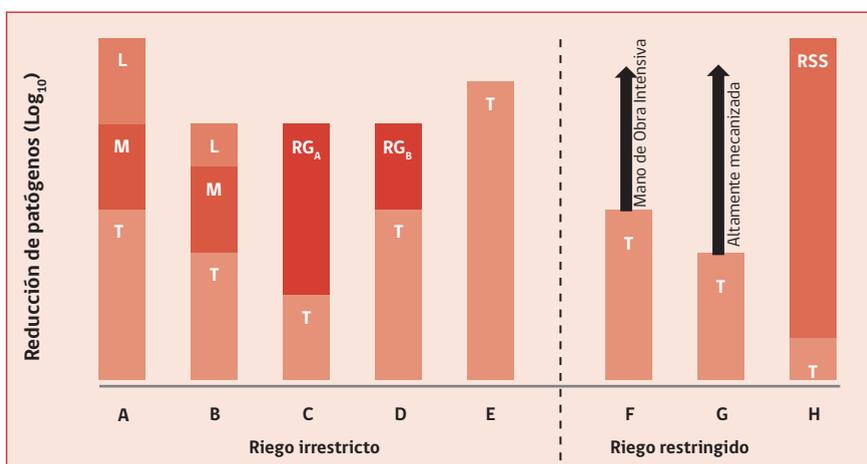
La combinación de estas medidas de control, permite establecer opciones de protección sanitaria que permitan una reducción bacteriológica final de 6-7 órdenes loga-

rítmicos, requeridos para alcanzar los objetivos asociados a la salud de las personas.

La métrica más adecuada para expresar la carga de una enfermedad infecciosa es un índice sintético de salud ampliamente utilizado en la actualidad denominado Índice de Años de Vida Ajustados por Discapacidad (AVAD's)⁹. El valor del índice para enfermedades infecciosas relacionadas con excretas (aguas servidas) ha sido establecido como $\leq 10^{-6}$ por persona-año¹⁰.

La siguiente figura presenta una serie de alternativas para la reducción de organismos patógenos, específicamente virus, bacterias y protozoos en diferentes grados, en función de la combinación de diversas medidas de protección y de los diferentes tipos de cultivos y técnicas de irrigación y que en su conjunto permiten alcanzar dicho objetivo de salud:

FIGURA N° 46
Combinación de medidas de protección sanitaria para la reducción de patógenos en el uso de aguas servidas para irrigación



T Tratamiento
 M Mortalidad*
 L Lavado de productos
RG_A Riego goteo cultivos en altura
 RG_B Riego goteo cultivos ras de suelo
RSS Sistema de riego subsuperficial

^{C_{TUB}} Cultivos de tubérculos (papas, zanahorias, rabanos, etc.)
 ^{C_{HOJ}} Cultivos de hojas (lechuga, apio, etc.)

+ Mortalidad de organismos patógenos durante el período transcurrido entre el último riego del cultivo y su consumo final.

9 Años de Vida Ajustados por Discapacidad índice sintético de salud que combina los años potenciales de vida perdidos con los años de discapacidad. Schopper D, Pereira 1993

10 Assesment risk and risk management for water-related infectious disease Fewtrell & Bartram 2001.

En el caso de la alternativa A, se puede alcanzar una reducción del orden de 7 órdenes logarítmicos en la concentración de los organismos patógenos presentes en las aguas servidas crudas, contribuyendo el tratamiento con cuatro órdenes logarítmicos, el periodo de tiempo establecido entre el último riego y el consumo del cultivo en dos órdenes logarítmicos y finalmente el lavado con agua potable de las ensaladas antes de su consumo con un orden logarítmico de reducción. Esta alternativa es adecuada para el consumo crudo de productos cuyos cultivos crecen bajo tierra como es el caso de los tubérculos, cuando son regados por aguas servidas tratadas, situación que es equivalente a la reducción de coliformes fecales a 1000 NMP/100ml, que hoy se exige en Chile a los efluentes tratados de plantas de aguas servidas en prácticamente todos los escenarios.

La alternativa B considera un orden de reducción menor en el tratamiento, que sumado a la reducción lograda en el periodo previo al consumo y el lavado de las ensaladas, alcanza una reducción final de organismos patógenos de 6 órdenes logarítmicos. Esta opción provee un nivel de protección sanitaria suficiente para el consumo de hojas de vegetales o ensaladas que crecen a ras de suelo y que son regados con aguas servidas tratadas.

Las alternativas C y D mantienen el nivel final de reducción de un máximo de 4 órdenes logarítmicos incluso con un aporte menor de la fase de tratamiento (hasta dos órdenes), combinando sin embargo con la técnica de riego por goteo de cultivos que crecen en altura como el caso de tomates o a ras de suelo, como lechugas y apio.

La alternativa E es la más exigente para el tratamiento ya que establece la reducción de los patógenos en los 7 órdenes logarítmicos en esta etapa, lo que es alcanzable con procesos de tratamiento convencional que contemplen sedimentación primaria, tratamiento biológico secundario con sedimentación secundaria, seguida de procesos químicos de coagulación-floculación, sedimentación y desinfección final.

Las alternativas F y G establecen que la reducción de 4 órdenes logarítmicos en el tratamiento es suficiente cuando se emplea riego restringido con mano de obra intensiva y tan solo bastaría con la reducción de 3 órdenes logarítmicos cuando dicho riego es altamente mecanizado, alcanzándose en ambos casos el objetivo de salud establecido para este efecto.

La alternativa H por su parte, presenta el escenario de tratamiento básico que podría tener una vivienda en el sector rural mediante un sistema de fosa séptica, en el cual se puede alcanzar una reducción de 0,5 órdenes logarítmicos en la concentración de organismos patógenos. En este caso el sistema de irrigación debe ser subsuperficial, para aumentar la reducción de patógenos en 6,5 órdenes logarítmicos.

Finalmente la reducción de huevos de helmintos, no contempladas las alternativas anteriores requiere de tratamiento y eventualmente el lavado del producto agrícola antes de su consumo.

El tratamiento de las aguas servidas puede remover la concentración de 10^3 huevos de helmintos que caracteriza normalmente a las aguas servidas, en cuyo caso no se re-

quiere de otras medidas de protección. Sin embargo si el tratamiento solo remueve 2 órdenes logarítmicos, el tercero debe ser aportado por el lavado del producto agrícola en una solución débil de detergente con un enjuague final con agua limpia. En el caso de los huevos de helmintos estos deben ser reducidos a ≤ 1 huevo/litro.

5.4.2 Reutilización de aguas servidas tratadas en Israel

Israel ha sido un país que ha desarrollado hace ya varios años la reutilización de aguas servidas. En este contexto, el Ministerio de Salud Pública de Israel, publicó una normativa relacionada con la calidad de aguas servidas tratadas destinadas al riego agrícola, la que para los efectos de la materia en estudio establece los siguientes requisitos.

TABLA N° 88
Requisitos para reutilización de aguas servidas tratadas
(Ministerio Salud Pública Israel)

Parámetro de calidad	Categorías específicas de aplicación			
	A	B	C	D
DBO	60	45	35	15
DBO filtrada	-	-	20	10
Sólidos suspendidos	50	40	30	15
Coliformes totales	-	-	250	12
Cloro residual	-	-	0,15	0,5

A: Cultivos industriales, cereales y semillas.

B: Forraje verde, olivos, nogales, almendras y cítricos.

C: Frutas y vegetales para procesamiento, vegetales que se cocinan, frutas pelables, canchas de golf, canchas de fútbol.

D: Todo cultivo sin restricción, cultivos de consumo crudo, parques municipales, prados.

En este caso, la regulación para los efectos de aplicación en riego está fundamentada en parámetros de control operacional propio de plantas de tratamiento de aguas servidas que no están especificados en la norma de calidad NCh 1.333, con la excepción del cloro residual y los coliformes fecales.

5.4.3 Directrices de la Agencia de Protección ambiental (EPA)

La reutilización de aguas servidas para el riego en agricultura se encuentra actualmente regulada en más de 40 estados de los Estados Unidos (Arizona, Nevada, California, Texas, Utah, etc.).

Como ejemplo de estos casos, se puede señalar a una de las normativas más ilustrativas al respecto, constituida por la del Departamento de Salud Pública de Arizona, donde se establecieron los límites máximos para 5 categorías de cultivos y preservación de la vida acuática, de acuerdo al siguiente detalle.

TABLA N° 89
Requisitos para aguas de riego vida acuática (D. Salud Pública Arizona USA)

Parámetro de calidad	Categorías específicas de aplicación					
	A	B	C	D	E	F
Coliformes fecales, NMP/100 ml	1.000	1.000	1.000	1.000	2,2	1000
pH	4,5 - 9	4,5 - 9	4,5 - 9	4,5 - 9	4,5 - 9	4,5 - 9
Turbiedad, NTU	-	-	-	-	1	-
Virus entéricos (PFU/40 l)	-	-	-	-	-	-
Entamoeba histolística	-	-	-	-	N.D.	-
Ascaris lumbricoides (huevos)	-	-	-	-	N.D.	-
Tenias largas	-	-	N.D.	-	-	N.D.
A: Huertos						
B: Fibras, semillas y cultivos forrajeros						
C: Pastizales						
D: Cultivos para alimentos procesados						
F: Vida acuática						

Como se aprecia en este caso, la regulación tiene un marcado énfasis en el contenido de microorganismos (bacterias y parásitos) factibles de encontrar en aguas residuales y que se constituyen normalmente en agentes de transmisión de enfermedades infecciosas.

Por su parte la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha publicado directrices en diferentes aplicaciones para la reutilización de aguas servidas tratadas provenientes de sistemas de aguas servidas de origen doméstico u otros con bajos aportes de aguas residuales industriales.

Para este efecto, estableció requisitos de tratamiento y de calidad para las aguas servidas crudas y tratadas, frecuencia y tipo de controles y distancias para la definición de zonas de protección, fundamentándose para tal efecto en la experiencia de reutilización en Estados Unidos y otros lugares, estudios de investigación y casos de aplicación, antecedentes de la literatura técnica, políticas y regulaciones estatales, prácticas de ingeniería y el uso del concepto de barreras múltiples.

La siguiente tabla elaborada por la EPA consolida los requerimientos mínimos mencionados anteriormente, procedentes de los estados en que se emplean aguas servidas

tratadas para irrigación en agricultura, con el propósito de facilitar la comparación de las diferentes políticas, programas y regulaciones existentes en los diferentes estados y territorios del país.

TABLA N° 90
Requisitos para reutilización de aguas servidas tratadas (EPA/2012)¹¹

Categoría de uso	Tratamiento	Requisitos de calidad ¹	Requisitos de control	Distancias de aplicación ²
Uso en agricultura				
Cultivos alimentarios. El reuso de aguas servidas tratadas para riego superficial o por aspersión de cultivos alimentarios destinados al consumo humano, consumidos crudos.	Secundario ³ Filtración ⁴	pH=6,0-9,0	pH - Semanal	15 m: pozos de agua potable,
	Desinfección ⁵	≤ 10 mg/L DBO	DBO5 - Semanal	30 m: en suelos porosos
		≤ 2 UNT Turbiedad	Turbiedad - continua	
		Coliformes fecales /100ml: ND	Coliforme fecal - Diario	
		Cloro residual: 1mg/L	Cloro residual Continuo	
Cultivos alimentarios. El reuso de aguas servidas tratadas para el riego superficial de cultivos alimentarios destinados al consumo humano, procesados comercialmente.	Secundario ³ Desinfección ⁵	pH=6,0-9,0	pH - Semanal	90 m: pozos de agua potable,
		≤ 30 mg/l DBO	DBO5 - Semanal	30 m: áreas públicas accesibles (irrigación por aspersión)
Cultivos no alimentarios El reuso de aguas servidas tratadas para el riego de cultivos que no son consumidos por los seres humanos, incluyendo forraje, fibra y cultivos de semillas, o para irrigar pastizales, viveros comerciales y granjas de césped.		≤ 30 mg/l SST	Coliforme fecal - Diario	
		Coliformes fecales /100ml: <200	Cloro residual continuo	
		Cloro Residual: 1mg/l		

¹ Aplicable al punto de descarga de las instalaciones de tratamiento de las aguas servidas.

² Distancias para la zona de protección de la contaminación de fuentes de agua potable y de la exposición directa de personal a las aguas de reutilización.

³ Tratamiento secundario incluye sistemas de lodos activados, filtros percoladores, biodiscos o lagunas de estabilización, cuyos efluentes no deben excederse en 30mg/L de DBO5 y SST.

⁴ Filtración incluye infiltración en suelos naturales o filtración en medios granulares, o membranas.

⁵ La desinfección incluye la cloración, para los efectos de destrucción, remoción o inactivación de microorganismos patógenos.

Como se puede apreciar, la regulación efectúa en primer término una diferenciación respecto al destino final de los cultivos (alimentarios y no alimentarios) y en función de ello establece el nivel de restricciones para su irrigación con aguas servidas tratadas.

Con el objeto de asegurar la remoción de materia orgánica y de sólidos suspendidos totales, los requisitos previos de tratamiento para todos los usos en riego establecen que las aguas servidas crudas deben ser sometidas a un tratamiento a nivel secundario.

Los bajos contenidos de materia orgánica ($10 \text{ mg/l} > \text{DBO5} \leq 30 \text{ mg/l}$) alcanzables por este grado de tratamiento tienen como propósito que en la reutilización de las aguas para riego no haya aportes importantes de material orgánico a los suelos, que queden afectos a descomposición, emanación de olores y atracción de vectores en las zonas de aplicación.

La restricción en el contenido de sólidos en suspensión ($\text{SST} \leq 30 \text{ mg/l}$) se relaciona con lo anterior, y también con un aspecto práctico para evitar la obstrucción del sistema de riego, cuando este se efectúa por la técnica de aspersión o riego por goteo.

Cuando los cultivos son de carácter alimenticio y su uso final es el consumo crudo, los requisitos se incrementan, exigiéndose no solo la desinfección de las aguas sino también la filtración por medios granulares porosos naturales o sintéticos o por membranas, para asegurar la reducción total de organismos patógenos (virus, bacterias y parásitos).

Sin embargo cuando los productos agrícolas de carácter alimentario o no son procesados comercial o industrialmente antes de su consumo, se permite el proceso de desinfección, como barrera para la destrucción, remoción o inactivación de microorganismos patógenos.

En todos los casos, la desinfección debe ser un proceso que además de satisfacer la demanda por oxidación de sustancias y destrucción de microorganismos, debe entregar el agua para su reutilización con un residual del desinfectante, para evitar el recrecimiento de organismos antes de su uso en riego, situación que acota el uso de desinfectantes químicos, que tienen la propiedad de dejar un contenido residual, como es el caso del cloro, para cuyo efecto la regulación establece un valor de cloro residual de $1,0 \text{ mg/l}$.

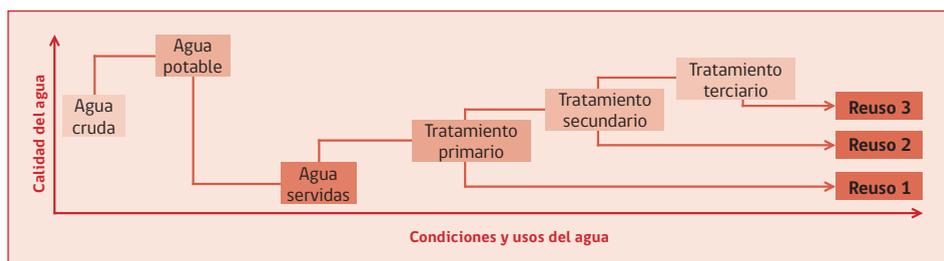
Además del control operacional y su frecuencia, otro aspecto importante regulado en este caso es la definición de una zona de amortiguación o zona de protección radial entre 15 y 90 metros en torno al sitio de aplicación, con el propósito de proteger las fuentes agua potable que puedan encontrarse en el sector y por otra parte evitar el contacto directo de personas con las aguas de riego.

Incluso respecto de la misma materia, la regulación es complementada con una restricción para el ingreso de animales de pastoreo a los lugares de aplicación de a lo menos 15 días después de la fecha de riego.

5.5 Reutilización de aguas en el sector rural

Es de pleno conocimiento el concepto general que la calidad de las aguas está vinculada directamente a sus usos, situación que es plenamente verificable en el ciclo de la actividad sanitaria, que debe administrar las aguas con diferentes niveles de calidad, desde el inicio cuando se extrae el recurso natural, hasta el fin del ciclo, cuando son devueltas al ambiente, como se puede apreciar en la siguiente figura.

FIGURA N° 47
Ciclo sanitario para la reutilización de aguas servidas tratadas



En este contexto, las tecnologías y grados de tratamiento pueden alcanzar cualquier nivel deseado de calidad debiendo, por lo tanto, ser definido para cada caso en particular en función del uso o destino final de las aguas.

Durante muchas décadas, el uso final de las aguas servidas tratadas ha sido para la recarga de aguas en sistemas naturales, mediante su descarga a las diferentes cuencas continentales o al mar, para cuyo efecto se deben cumplir las normas que protegen dichos compartimentos ambientales.

La creciente demanda por la reutilización de las aguas, establece necesariamente la definición de niveles adecuados al propósito final de uso que, como se ha indicado anteriormente, sería el empleo de aguas tratadas para irrigación en agricultura con los beneficios generales y específicos que ya se han detallado.

Las tecnologías de tratamiento secundario, diseñadas adecuadamente y con operación controlada, pueden alcanzar la eficiencia de remoción de contaminantes necesaria para alcanzar los niveles de calidad establecidos por las regulaciones para el uso de las aguas tratadas en riego. Así por ejemplo, las tecnologías en base a lodos activados, biodiscos, lombrifiltros o lagunas aireadas disponen de las componentes unitarias adecuadas para la remoción de materia orgánica, sólidos en suspensión y microorganismos.

Consecuentemente con lo anterior, las plantas de tratamiento de aguas servidas en el sector rural pueden producir aguas tratadas para el segundo nivel de uso de la figura anterior, que comprende el riego de cultivos no alimentarios y de cultivos alimentarios procesados (sin consumo crudo).

5.6 Limitantes para el reúso de aguas servidas tratadas en el sector rural

La reutilización de aguas servidas tratadas no es en definitiva un problema técnico, ya que las tecnologías requeridas para satisfacer los requisitos de calidad necesarios para su uso en irrigación están no solo disponibles, sino que además son tecnologías probadas en el país.

En este escenario, para que la implementación de los proyectos de reutilización en el sector rural que son técnicamente factibles, no solo responda a iniciativas puntuales sino que formen parte de la solución integral y de una política de reutilización, es necesario abordar otros aspectos que se han identificado como limitantes en esta materia.

Los aspectos importantes a abordar para implementar la reutilización de aguas servidas tratadas son de carácter normativo, económico, organizacional y de percepción, cuyas principales características se analizan brevemente a continuación.

5.6.1 Aspectos normativos

El país no dispone actualmente de una regulación habilitante para la reutilización de aguas servidas tratadas, siendo la norma más cercana al requerimiento (NCh 1333), donde se establecen requisitos parciales de calidad para el uso seguro y sostenible de aguas servidas tratadas en irrigación en general, pero no contempla parámetros asociados a las aguas servidas como DBO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, poder espumógeno, etc.

En esta materia, además de los requisitos de calidad necesarios para una correcta aplicación se debe regular el control operacional de la actividad, los métodos o técnicas de aplicación y los criterios para la definición de las zonas de protección en torno a los lugares de aplicación.

5.6.2 Aspectos económicos

La viabilidad económica a largo plazo de los proyectos de reutilización también representa un factor importante para la reutilización del agua. Debe tenerse en consideración algún grado de inversión para disponer del agua en los lugares de aplicación y si el financiamiento de este tipo de obras será o no cargo del Estado en el caso del sector rural.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta el valor de esta agua de riego, el cual debiera cotizarse en una tarifa atractiva para los usuarios potenciales, que permita además recuperar costos operacionales asociados como el tratamiento y las actividades asociadas para desarrollar la organización en el sector rural para entregar este producto.

5.6.3 Aspectos organizacionales

La distribución fragmentada de las responsabilidades en diferentes organismos del Estado y de la autoridad sobre diferentes partes del ciclo del agua en el proceso de reutilización de las aguas, son impedimentos que deben superarse con el propósito de que los proyectos de reutilización del agua puedan ser viables.

En algunas ocasiones, las facultades de la autoridad regional pueden llevar a definiciones diferentes a los criterios del nivel central, establecidos para la actividad sujeta a regulación.

Esta separación de poderes que es real y necesaria en muchos ámbitos, puede conducir a largos períodos de inacción, estancamiento, desacuerdo, negociación y complejos acuerdos interinstitucionales que hacen que los proyectos de reutilización de las aguas se pierdan su atractivo, o resulten mucho más costosos y complejos de lo necesario.

En este sentido se recomienda tender a la definición de una política multisectorial de carácter nacional, que facilite el entendimiento entre las diferentes autoridades involucradas en la materia, orientándolas a un objetivo común.

5.6.4 Aspectos de percepción

Estos aspectos se relacionan con la comunidad y la percepción pública respecto del consumo de alimentos regados con agua reutilizada, estimulando una preferencia por el uso de agua dulce.

Esto está muy relacionado también con barreras educacionales y el conocimiento o entendimiento de las capacidades de la tecnología actual para entregar aguas aptas para su uso en irrigación independientemente de su origen.

Si bien el escenario de escasez local del agua para diferentes usos es significativo en este sentido, es muy interesante la experiencia de Singapur en esta materia, la que ha llevado a cabo un impresionante programa de concientización pública para construir un compromiso nacional para la reutilización del agua.

En este caso, y con el objetivo de promover el conocimiento del riesgo y el cambio de comportamiento, se han desarrollado campañas educativas y técnicas de marketing social donde el uso adecuado del lenguaje ha sido un elemento relevante al no estigmatizar el agua para riego bajo conceptos como "reutilización de aguas residuales", "reutilización de agua", que otorgan una connotación negativa para el público, utilizando en contrario frases como "reciclaje de agua", "agua nueva" (new water en Singapur), las que resultan más atractivas y propensas a promover la aceptación pública.

Capítulo 6



Cunco, Región de La Araucanía

**Normativa vigente de emisión
de calidad asociada a aguas
servidas en el sector rural**

6 Normativa vigente de emisión y calidad asociada a aguas servidas en el sector rural

6.1 Introducción

Esta parte del estudio contempla un análisis de la normativa existente referida a la recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas vigentes a la fecha, a partir de lo cual se evaluará el efecto y viabilidad de su aplicación en el sector rural, así como visualizar las reglamentaciones y normativas que deben complementarse, ajustarse o elaborarse.

Para efectos de una mejor visualización, en el anexo N° 9 del presente estudio (versión digital), se presenta un glosario abreviado de las principales instituciones relacionadas directas o indirectamente con el saneamiento rural.

6.2 Normativa vigente aplicable al sector rural

Para efectos de una mejor visualización, en anexo N° 9 al presente estudio (versión digital), se presenta la normativa vigente relacionada con el saneamiento rural, la que fue elaborada considerando fundamentalmente las características del sector urbano.

Por la importancia que tienen algunos de los cuerpos normativos citados en el saneamiento, se presenta a continuación un resumen de los aspectos más relevantes contenidos en los mismos.

6.2.1 Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. D.S. 90/2000

Esta norma tiene como objetivo de protección ambiental el prevenir la contaminación de los cuerpos receptores mediante el control de aportes contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan en los mismos.

Establece límites máximos para diversos contaminantes en función del tipo de cuerpo receptor. Para el caso de descargas en cuerpos de agua fluviales, se presentan los escenarios de descarga a un cuerpo sin y con capacidad de dilución, correspondiendo la mayoría de las descargas del sector rural a cuerpos de agua sin capacidad de dilución. Adicionalmente, el DS 90/2000 presenta las características de descargas a cuerpos de agua lacustres y al medio marino, segregando estas últimas entre descargas dentro y fuera de la zona de protección litoral, quedando delimitadas del siguiente modo:

- Cuerpos de agua fluviales.
 - Sin capacidad de dilución.
 - Con capacidad de dilución.
- Cuerpos de agua lacustres.
- Cuerpos de agua marinos.
 - Dentro de la zona de protección litoral.
 - Fuera de la zona de protección litoral.

Dentro de la normativa arriba citada, los factores a considerar al considerar cuerpos de agua fluviales son los siguientes:

- **Caudal disponible del cuerpo receptor.** Se refiere al caudal disponible para la dilución en un cuerpo receptor. El caudal disponible del cuerpo receptor en el punto de descarga debe ser determinado por la Dirección General de Aguas.
- **Tasa de dilución del efluente vertido (d).** Corresponde a la razón entre el caudal disponible del cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido durante el mes de máxima producción de residuos líquidos, expresado en las mismas unidades.

La tasa de dilución será entonces la siguiente:

$$d = \frac{\text{Caudal disponible del cuerpo receptor}}{\text{Caudal medio aguas servidas}}$$

Los valores máximos de los principales parámetros de interés establecidos en la tabla pertinente del DS 90/2000, según se trate de descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución (tabla 1), con capacidad de dilución (tabla 2), cuerpo de agua lacustre (tabla 3) o cuerpo de agua marino dentro de la zona de protección litoral (tabla 4) obedecen al siguiente detalle:

TABLA N° 91
Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales (DS 90/2000).

Parámetro	Unidad	Valor			
		Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3	Tabla 4
Temperatura	°C	35	40	30	30
pH	unidad	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 9,0
Sólidos suspendidos totales	mg/l	80 (*)	300	80	100
Químicos, bioquímicos y orgánicos					
DBO	mg/l	35 (*)	300	35	60
Aceites y grasas	mg/l	20	50	20	20
Poder espumógeno	mm	7	7		
SAAM	mg/l			10	10
Nutrientes					
Fósforo total	mg/l	10	15	2	5
Nitrógeno Kjeldahl total	mg/l	50	75		50
Nitrógeno total (**)	mg/l			10	
Parámetros microbiológicos					
Coliformes fecales	NMP/100ml	1.000	1.000	1.000 - 70 (***)	1.000 - 70 (***)

(*) Se debe descontar el contenido de algas para efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas domésticas.

(**) La determinación del contaminante corresponderá a la suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl total, nitrito y nitrato.

(***) En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml.

Determina además el programa y plazos de cumplimiento de la norma para las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, para lo cual establece un procedimiento de medición y control (monitoreo, condiciones de extracción, métodos de análisis).

6.2.2 Ds 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.

Se debe destacar que desde el punto de vista del cumplimiento o no de las normativas recientemente citadas, en el caso del DS 90/2000 se mide si el grado de remoción requerido en término de los principales parámetros de interés es alcanzado o no, lo que no ocurre con el DS 46/2002, toda vez que este último lleva asociado el concepto de Infiltración hacia un suelo, en que se debe evaluar la capacidad de campo efectiva (CCE) de dicho suelo en base a medidas para cada horizonte de suelo individual (sean hechas en terreno, analizadas en el laboratorio o con la ayuda de tablas estándar de manuales de mapeo de suelos), conforme a lo detallado en el manual para la aplicación del concepto de vulnerabilidad de acuíferos establecido en la norma de emisión de residuos líquidos a Aguas Subterráneas. Decreto Supremo N° 46/2002.

De hecho, el manual establece a la letra que “Los titulares de los proyectos que infiltren (fuentes existentes) o requieran infiltrar (fuentes nuevas) los efluentes de sus procesos y que sean considerados fuentes emisoras de acuerdo al DS 46/2002, deberán presentar un informe con la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos de acuerdo a dicho manual. La Dirección General de Aguas (DGA) visará los informes y se pronunciará respecto de la vulnerabilidad del acuífero mediante una resolución”.

6.2.3 NCh 1.333 Of. 1978. Requisitos de calidad de agua para diferentes usos

Corresponde a la principal norma existente de requisitos de calidad de agua para usos determinados 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.

Está asociada a los principales parámetros presentes en aguas superficiales y subterráneas y la calidad de las mismas para distintos usos.

Con la finalidad de preservar las características requeridas para los usos específicos a que se destine el agua, esta norma fija criterios de calidad en términos de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. Indirectamente, permite proteger el recurso de la degradación producida por la contaminación con residuos de cualquier tipo u origen.

En relación a los requisitos bacteriológicos, la norma NCh 1.333 establece un límite para los coliformes fecales de 1.000 NMP/100 ml en agua para riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen crudas.

En términos globales, la norma NCh 1.333. Of 1978 establece los requisitos de calidad según los usos a que se destina las aguas, con las siguientes distinciones:

- Estética.
- Riego.
- Recreación.
- Con contacto directo.
- Sin contacto directo.
- Vida acuática.

En cuanto al agua para bebida de animales, se remite a la norma NCh 409, pero facultando a la autoridad competente para determinar casos especiales.

En forma global, los objetivos de esta norma son los siguientes:

- Fija un criterio de calidad de agua de acuerdo a requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y bacteriológicos.
- Proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos y de la degradación producida por la contaminación con residuos de cualquier tipo u origen.
- Ajustar el vertido de los residuos contaminantes a masas o cursos de agua a los requerimientos de calidad especificados para cada uso, teniendo en cuenta la capacidad de autopurificación y dilución del cuerpo receptor.

El requerimiento en término de los parámetros normados en la calidad de agua para riego puede resumirse del siguiente modo.

TABLA N° 92
Detalle parámetros norma de calidad de agua para riego

Parámetro	N Ch 1333. OF1978
	(mg/l)
pH	5,5-9,0
Conductividad específica	<1.500 y ≤ 3.000 (1)
Salinidad	-
Bicarbonato	-
Coniformes totales (*)	-
Coniformes fecales (*)	1.000
DBO ₅	-
Oxígeno disuelto	-
Sólidos disueltos totales	<1.000 y ≤ 2.000 (2)
Aluminio	5
Amoníaco	-
Arsénico	0,1
Bario	4
Berilio	0,1
Boro	0,75
Cadmio	0,01
Cianuro	0,2
Cobre	0,2
Cobalto	0,05
Cromo total	0,1

Parámetro	N Ch 1333. OF1978
	(mg/l)
Estaño	-
Hierro	5
Litio	2,5
Litio (cítricos)	0,075
Manganeso	0,2
Mercurio	0,001
Molibdeno	0,01
Níquel	0,2
Plata	0,2
Plomo	5
Zinc	2
Flúor	-
Fluoruro	1
Cloruro	200
Nitrógeno	-
Nitrato	-
Nitrito	-
Selenio	0,02
Sodio	35 %
Sulfato	250
Vanadio	0,1
Compuestos fenólicos	-

(1) Concentración en μ .mhos/cm, el agua tendrá efectos adversos

(2) El agua tendrá efectos adversos en los cultivos

(*) Concentración en NMP/100 ml

Para una evaluación más cabal de los aspectos relacionados con esta materia, se debe efectuar una distinción entre 2 tipos de riego.

- Restringido, referido al uso de un agua de regular calidad para riego en áreas agrícolas específicas y para cultivos específicos.
- Irrestringido, referido al uso de un agua de buena calidad para riego de todo tipo de cultivos y en todo tipo de suelos, para lo cual debe cumplir con una calidad tal que:
 - No tenga efecto adverso en los cultivos.
 - No tenga efecto adverso en los suelos.

- No afecte a animales ni la salud humana involucrada en las etapas de producción agrícola.
- No afecte a los consumidores.
- Ser apta para la preservación de la vida acuática.

Considerando la utilidad de visualizar la incidencia de los parámetros de mayor importancia en el uso para riego, se presenta a continuación una descripción somera de los mismos.

- **Salinidad**

La salinidad del agua de riego es un factor muy importante en el crecimiento de las plantas. La máxima concentración permisible de sales de aguas de riego está regida por la tolerancia del cultivo a la sal. Los cultivos tienden a ser más sensibles a la sal del agua de irrigación cuando están recién germinando que cuando se encuentran en desarrollo. También hay límites en el máximo contenido de sales del agua de riego, debido a que los requerimientos de percolado pueden ser impracticablemente altos, requiriendo muy frecuentemente gran riego, y aún entonces, la producción de los cultivos puede ser reducida debido a la concentración promedio de la sal en la raíz puede ser muy alta.

En virtud a lo anterior, es dificultoso prescribir las máximas concentraciones de sales en las aguas para riego, y solamente pueden darse tipos de conveniencia de las aguas. Así por ejemplo, Ayers clasifica las aguas del siguiente modo:

TABLA N° 93
Clasificación de aguas Ayers

Concentración sales (mg/l)	Conductividad eléctrica (dS/m)	Clasificación
< 500	< 0,75	Sin problemas para riego
500 - 2.000	0,75 - 3	Problemas suaves a moderados
> 2.000	> 3	Graves problemas

- **Sodio y riesgo de permeabilidad**

Altas concentraciones de sodio en el agua de riego, pueden afectar adversamente la estructura del suelo y reducir la conductividad hidráulica del suelo en suelos de textura fina.

El grado al cual el sodio será absorbido por un suelo es función de la proporción de sodio a los cationes divalentes (Ca y Mg), y es normalmente expresado como razón adsorción sodio (RAS).

- **Nitrógeno**

Su importancia radica en su calidad de fertilizante en riego agrícola, el que a dosis elevadas genera efectos adversos.

Numerosas investigaciones efectuadas han permitido demostrar que tanto la producción como la calidad de los cultivos de algodón, tomates para procesamiento, azúcar de caña y de remolacha, papas, cítricos, duraznos, manzanas, uvas, etc, pueden verse adversamente afectados por exceso de aplicación del nitrógeno en el caso.

Investigaciones desarrolladas específicamente en Israel, han demostrado que un agua de riego debería tener concentraciones de aproximadamente 15 - 20 mg/l para no exceder los requerimientos de la mayoría de los cultivos.

- **Cloruros**

Se cuenta con los siguientes rangos de valores.

- < 140 mg/l Sin problemas para riego.
- 140 - 350 mg/l Problemas suaves a moderados.
- > 350 mg/l Graves problemas.

- **Metales pesados**

Mientras algunos elementos como B, Cu, Fe y Zn son esenciales para el crecimiento de las plantas en pequeñas concentraciones, un exceso de ellos puede tener efectos tóxicos en los cultivos. De acuerdo a la EPA, para riego del tipo irrestricto, la concentración de metales debe estar bajo los límites establecidos a continuación.

TABLA N° 94
Concentración de metales para riego según la EPA

Parámetro	Riego permanente de todo suelo	Parámetro	Riego permanente de todo suelo
Aluminio	5	Hierro	5
Arsénico	0,1	Plomo	5
Berilio	0,1	Litio	0,075
Boro	0,75	Manganeso	0,2
Cadmio	0,01	Molibdeno	0,01
Cromo	0,1	Níquel	0,2
Cobalto	0,05	Selenio	0,02
Cobre	0,2	Vanadio	0,1
Flúor	1	Zinc	2

- **Pesticidas**

Debido a que el suelo tiene solamente una limitada capacidad para reducir la concentración de algunos pesticidas como hidrocarburos clorados, la EPA considera recomendable que la contaminación por pesticidas no exceda los límites recomendados para el agua potable.

- **Patógenos**

Los cultivos de alimentos de consumo crudo no deben ser fuentes potenciales de ningún riesgo para el ser humano.

Puede apreciarse que la norma no contempla determinados parámetros propios de las aguas servidas como DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, etc.

Se debe destacar que esta norma no contiene los parámetros asociados al reuso de aguas servidas tratadas, para lo cual se requiere una norma específica con la que el país no cuenta.

6.2.4 NCh 409 Norma sobre calidad del agua potable

Esta norma 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 su cumplimiento.

6.2.5 NCh 777 Agua potable, fuentes de abastecimiento y obras de captación, Parte 1: Terminología, clasificación y requisitos

Esta norma establece una clasificación de las fuentes de agua potable según diferentes parámetros de calidad establecidos para esos efectos.

6.2.6 Normativa asociada al servicio de alcantarillado y saneamiento rural

En esta materia la normativa es la misma que para los sectores urbanos, pues no existe en la práctica una normativa específica para las localidades rurales, y los alcantarillados que se encuentran en operación han sido diseñados teniendo en cuenta prácticamente las mismas consideraciones de diseño que se utilizan en el sector urbano. Entre las normas regulatorias asociadas a este aspecto se pueden señalar las siguientes.

- **Ley 20.998 de servicios sanitarios rurales**

Hacia 1964 se implementó la primera etapa del Programa de Agua Potable Rural, con créditos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). A esa fecha, solo un 6% de los habitantes de las localidades rurales de Chile contaban con cobertura de agua potable, en tanto que al presente ese porcentaje excede al 98%, de tal forma que los casi 1.500 comités y cooperativas de APR -con unos 300 mil arranques- abastecen a prácticamente un millón y medio de habitantes de zonas rurales concentradas.

Este desarrollo ha sido el fruto de una eficaz coordinación entre la acción de las organizaciones sociales y la del Estado, en la que este último ha invertido más de US\$ 400 millones, de los cuales US\$ 305 millones (74%), corresponden a inversiones materializadas por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) entre los años 1994 y 2005 (primero por medio de la Dirección de Planeamiento y a partir del año 2001 a través del Departamento de Programas Sanitarios de la Dirección de Obras Hidráulicas). Dicho programa se ha llevado a cabo sobre la base de la voluntad política del Gobierno y parlamentarios de los distritos rurales, pues no existe ninguna Institución del Estado con competencia exclusiva en materia de servicios sanitarios en el sector rural, situación que, entre otras, aborda este proyecto.

El objetivo de la ley promulgada en febrero de 2017 y que entrará en vigencia al mes de promulgado el reglamento correspondiente, es dotar de una institucionalidad para el sector, la que fue generada entre el MOP y la Comisión de OOPP del Senado con el apoyo técnico del BID, lo que permitió a la vez evidenciar los elevados niveles de consenso entre las organizaciones de APR, los legisladores y el Gobierno respecto de la importancia del sector y su desafíos futuros.

- **Reglamento para tratamiento de aguas servidas mediante estanques sépticos**

Reglamento que fuera aprobado por el Ministerio de Salud mediante DS N° 288 de 1969, por medio del cual 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.

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, en el caso de las ciudades y sectores urbanos sin alcantarillado público.

Se aplican además las normas y disposiciones citadas anteriormente del Código Sanitario:

- **Circular N° 4B/95 de 1991 Reglamento de alcantarillados particulares**
- **DS MOP N° 609/1998. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.**

6.3 Incidencia de la aplicación de la normativa de emisión en el sector rural

La normativa de emisión vigente establece la concentración máxima de contaminantes permitidas a fuentes emisoras que descargan residuos líquidos a cuerpos de agua marinos y continentales superficiales (DS 90/2000), a aguas subterráneas (DS 46/2002) o a sistemas de alcantarillado (DS 609/1998).

Si la calidad de la denominada fuente emisora (establecimiento que como resultado de su proceso, actividad o servicio, descarga residuos líquidos con una carga contaminante media diaria superior en uno o más de los parámetros indicados en la respectiva norma) supera la establecida por la normativa, debe efectuarse el tratamiento que permita dar cumplimiento a la calidad exigida, independiente del tamaño de la población asociada a la misma.

Lo anterior ha generado que innumerables programas impulsados por el Programa Chile Barrio, Programa de Mejoramiento de barrios en el sector rural y SERVIU entre otros, contemplaran soluciones de tratamiento y disposición de aguas servidas que den cuenta de la normativa vigente, con implicancias técnicas y económicas que no se limitan solo a la Inversión inicial sino también a la etapa de operación y mantenimiento de los sistemas implementados, los que sea por los costos asociados, el requerimiento de dedicación especializada o adecuado control operacional, en muchos casos quedan en riesgo de quedar finalmente abandonados.

En la mayoría de los casos en el sector rural, el agua servida tratada proveniente de sistemas que tratan más de 100 personas equivalentes es vertida a un cuerpo receptor continental sin capacidad de dilución, cuya normativa vigente la constituye la **"Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales"**, DS 90/2000, donde se establecen valores de emisión a cumplir para los escenarios de cuerpos de agua fluviales (sin y con capacidad de dilución, lacustres y marinos (dentro y fuera de la zona de protección litoral).

Al igual que en las demás normativas vigentes (DS 04/2002 y DS 609/1998), las definiciones del DS 90/2000 están asociadas fundamentalmente a los parámetros y sus máximas concentraciones establecidas para efectuar las descargas.

Los principales aspectos asociados a su repercusión en el ámbito rural son las siguientes:

6.3.1 Establecimiento emisor

El primer aspecto de fundamental importancia lo constituye el que la normativa de emisión vigente (en cualquiera de sus escenarios) 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**, de acuerdo a lo siguiente:

DS 90/2000 de MINSEGPRES

" ...

Fuente emisora: es el establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua receptores, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros indicados, en la siguiente tabla:

**Establecimiento emisor
(extracto de algunos parámetros de la tabla del DS 90/2000)**

Contaminante	Valor característico	Carga contaminante equiv. 1000 Hab/día
pH**	6 - 8.	---
Temperatura**	20 °C	---
Sólidos suspendidos	220 mg/l	3520 g/d
Sólidos sedimentables**	6 ml/l 1h	---
Aceites y grasas	60 mg/l	960 g/d
Hidrocarburos	10 mg/l	160 g/d
DBO ₅	250 mg O ₂ /l	4000 g/d
Arsénico	0,05 mg/l	0,8 g/d
Cadmio	0,01 mg/l	0,16 g/d
Cianuro	0,20 mg/l	3,2 g/d
Cobre	1 mg/l	16 g/d
Cromo total	0,1 mg/l	1,6 g/d
Cromo hexavalente	0,05 mg/l	0,8 g/d
Fósforo total	10 mg/l	80 g/d
Mercurio	0,001 mg/l	0,02 g/d
Níquel	0,1 mg/l	1,6 g/d
Nitrógeno total kjeldahl	50 mg/l	800 g/d
Plomo	0,2 mg/l	3,2 g/d
Sulfatos (disueltos)	300 mg/l	4800 g/d
Sulfuros	3 mg/l	48 g/d
Zinc	1 mg/l	16 g/d
w Fenólicos	0,05 mg/l	0,8 g/d
SAAM	10 mg/l	160 g/d
Coliformes fecales	10 NMP/100 ml	2 x 10 ¹² coli/d

(*) Se consideró una **dotación de agua potable de 200 L/hab/d y un coeficiente de recuperación de 0,8.**

(**) Expresados en valor absoluto y no en términos de carga.

Los establecimientos que no emitan una carga contaminante media diaria de valor superior al equivalente a las aguas servidas de una población de 100 personas no son establecimientos emisores para los efectos de esta norma y no quedan sujetos a la misma.."

A la luz de lo anterior, se puede concluir que el umbral de lo que se define como establecimiento emisor y la consecuente sujeción o no a la norma, corresponde a una población equivalente superior a 100 personas con una dotación de 200 l/hab/día, un aporte per cápita de 40 grDBO/hab/día y relaciones NKT/DBO y PT/DBO de 0,25 y 0,05 respectivamente.

El orden de magnitud de la población de las localidades urbanas es en general significativamente superior al umbral de establecimiento emisor, por lo que no tiene incidencia económica significativa al momento de su aplicación.

No ocurre lo mismo al aplicar este concepto en el área rural, por cuanto parte de las poblaciones asociadas se encuentran en el orden de magnitud del umbral definido como establecimiento emisor.

Así, los servicios de agua potable rural en operación hasta finales de la década pasada (muestra del orden de 1.200.000 habitantes distribuidos en 1.200 servicios) arrojaban un promedio del orden de 1.000 habitantes por servicio.

Al considerar que la población rural está definida como menos de 1.000 habitantes, la población se reduce al orden de 382.000 habitantes distribuidos en 800 servicios, lo que arroja un promedio del orden de 500 habitantes por servicio, correspondiendo el resto del sector rural concentrado o semidisperso a poblaciones menores aún.

Así, las características de los servicios de agua potable rural en operación hasta fines de la década pasada considerando el umbral de establecimiento emisor (100 habitantes) hubiera permitido excluir solamente a 10 de los 1.200 servicios debiendo en consecuencia sujetar a tratamiento más del 99,9% de la población rural.

Si se desfasa el umbral a 500 habitantes, el tratamiento de las aguas servidas hubiera considerado el 88% de la población y si se hubiera desfasado a 1.000 habitantes, el 67% de la población.

En consecuencia, el umbral de lo que se define como establecimiento emisor juega en el sector rural un papel de significativa importancia, puesto que obliga a sujetar a la normativa vigente a partir de conglomerados de 100 personas.

Si adicionalmente se considera que uno de los escenarios más recurrentes en el sector rural lo puede constituir el escenario de descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución, ello obligará a adoptar tecnologías cuyos costos de inversión y operación y mantenimiento pueden resultar inviables, especialmente si se considera que los costos de operación y mantenimiento serán de cargo de la comunidad.

Así entonces, la viabilidad del saneamiento del sector rural debería considerar un umbral de establecimiento emisor distinto al sector urbano, lo que permitiría adicionalmente su implementación gradual y abarcando una población razonable.

6.3.2 Concentración de parámetros de interés

- La definición de establecimiento emisor debe cumplir con lo prescrito en términos de carga y también de concentración (definida como valor característico), por lo que la dotación asumida para definir el establecimiento emisor es de alto impacto en la concentración resultante del parámetro contaminante.

La definición del establecimiento emisor en la normativa considera una dotación de agua potable de 200 l/hab/día (mayor a la del sector rural establecida en la actualidad en el orden de 150 l/hab/día), por lo cual es dable pensar que las concentraciones que arroje la aplicación de la dotación real sean distintas a las establecidas en la normativa vigente, y requieran tratamiento en determinados parámetros.

- La máxima concentración de nitrógeno establecida en los diferentes escenarios de descarga, especialmente lo prescrito en el escenario de descarga a cuerpos de agua sin capacidad de dilución.

Consecuencia de lo anterior, la concentración real de descarga del nitrógeno (NKT) puede resultar superior a la establecida en los diferentes escenarios del DS 90/2000, obligando a tratamiento para la remoción de los mismos, lo cual es particularmente importante pues no todas las alternativas de tratamiento están en condiciones de reducir este parámetro.

- La calidad del efluente establecida en términos de DBO para descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución (35 mg/l).

Considerando el valor máximo establecido para este parámetro, determinadas alternativas de tratamiento alcanzan dicha concentración, pero no a todo evento, por lo cual sería recomendable evaluar la viabilidad de mantener dicho valor en el sector rural.

6.3.3 Soluciones de tratamiento y calidad del efluente

A objeto de visualizar los requerimientos técnicos asociados a la calidad requerida del efluente, se presentan a continuación las alternativas de tratamiento viables de aplicar en los diferentes escenarios asociados.

6.3.3.1 Descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución

Cuando la descarga se efectúa a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución, los sistemas de tratamiento que pueden cumplir con la calidad del efluente serán los siguientes:

- **Lodos activados por aeración extendida**

Cumplen con los parámetros establecidos por la normativa en forma independiente de la calidad de afluente y sin necesidad de incorporar componentes adicionales.

- **Lagunas aireadas 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 de áreas fondo de las lagunas parcialmente aireadas y mayores períodos de retención.

El sistema tiene capacidad reducida de remoción de nutrientes, por lo que el cumplimiento o no de lo prescrito por la normativa dependerá de la concentración de estos parámetros en el afluente.

Cuando el grado de remoción requerido en términos de NKT es menor al 5 - 10% podrían dar cuenta del DS 90/2000 mediante aumento en la dosificación de cloro en la cámara de contacto, la que no generará potencial formación de compuestos organoclorados.

- **Lombrifiltros**

Otra alternativa que también tiene capacidad de remover los principales parámetros de interés, incluido el nitrógeno y aplicable exitosamente en pequeñas comunidades lo constituye la tecnología en base a **lombrifiltros**, cuyas eficiencias de remoción son altas y pueden asemejarse a las de un lodo activado al tratarse de aguas servidas domésticas.

Los lombrifiltros presentan un alto grado de nitrificación, entendible a la luz de que en su calidad de organismos vivos, las lombrices y la población microbiana presentes también requieren nutrientes para su metabolismo.

- **Humedales**

- **Biotreat. Filtros naturales para el tratamiento de aguas servidas domésticas**

Tecnología que obedece a una simbiosis entre la capacidad de depuración de los sistemas de **humedales artificiales** y los sistemas microbiológicos de un tratamiento en base a **filtración biológica**.

Remueve del orden de un 90 % de los principales parámetros contaminantes presentes en el agua a tratar.

- **Filtros plantados de juncos**

Tecnología que contempla un proceso en base a filtros plantados de juncos y que consta de uno o varios filtros verticales para el tratamiento de aguas domiciliarias.

Remueve del orden de un 90 % los principales parámetros de interés.

6.3.3.2 Descarga a un cuerpo de agua con capacidad de dilución

Cuando la descarga se efectúa a un cuerpo de agua con capacidad de dilución, los sistemas de tratamiento que pueden cumplir con la calidad del efluente son los siguientes.

- **Lodos activados por aireación extendida**

Cumplen con los parámetros establecidos por la normativa en forma independiente de la calidad de afluente.

- **Lagunas aireadas multicelulares**

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

En cuanto al NKT el afluente debe estar en el orden de no más de un 10% superior al valor a alcanzar.

- **Tratamiento primario químicamente asistido**

La metodología a considerar para viabilizar su adopción obedece al siguiente análisis en términos de DBO (parámetro limitante).

- Con el caudal de dilución dado por la DGA¹² y Q medio máximo se obtiene la concentración a la que se pueden descargar las aguas servidas tratadas al cuerpo receptor.
- Si la concentración de DBO resultante al aplicar un coeficiente 0,5 a la calidad del afluente (se asume que el CEPT remueve a lo más un 50 % DBO) es

12 Dirección General de Aguas del MOP.

superior a la concentración límite máxima establecida para la descarga y el NKT afluente es un 10% superior al valor a alcanzar, el CEPT no es viable, en tanto que si ambas condiciones se cumplen, se puede adoptar la tecnología.

Se debe destacar que si la calidad del efluente presenta concentraciones altas de los principales parámetros de interés, se pueden generar problemas medioambientales en el cuerpo receptor y su entorno asociado, aún cumpliendo con la normativa.

- **Lombrifiltros**

Otra alternativa que también tiene capacidad de remover los principales parámetros de interés, incluido el nitrógeno y aplicable exitosamente en pequeñas comunidades lo constituye la tecnología en base a **lombrifiltros**, cuyas eficiencias de remoción son altas y pueden asemejarse a las de un lodo activado al tratarse de aguas servidas domésticas.

Los lombrifiltros presentan un alto grado de nitrificación, entendible a la luz de que en su calidad de organismos vivos, las lombrices y la población microbiana presentes también requieren nutrientes para su metabolismo.

- **Humedales**

- **Biotreat. Filtros naturales para el tratamiento de aguas servidas domésticas**

Tecnología que obedece a una simbiosis entre la capacidad de depuración de los sistemas de **humedales artificiales** y los sistemas microbiológicos de un tratamiento en base a **filtración biológica**.

Remueve sobre un 90 % de los contaminantes presente en el agua a tratar.

- **Filtros plantados de juncos**

Tecnología que contempla un proceso en base a filtros plantados de juncos y que consta de uno o varios filtros verticales para el tratamiento de aguas domiciliarias.

Remueve sobre un 90 % los principales parámetros de interés.

Capítulo 7



Collipulli, Región de La Araucanía

Guía de evaluación de sistemas de aguas servidas

7 Guía de evaluación de sistemas de aguas servidas

En este punto se desarrolla una guía que contiene los criterios generales para efectuar una evaluación tanto de la infraestructura como los equipos asociados a las diversas componentes unitarias de las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS).

Los criterios señalados en la presente guía son generales y deben ser tomados como tales, debiendo visualizarse aspectos específicos en cada PTAS para definir a cabalidad el estado de las componentes, equipamiento o la PTAS en general.

La primera parte de la guía, destinada a los operadores de los sistemas de tratamiento, está orientada a la evaluación cualitativa del estado de las componentes unitarias de la PTAS y su equipamiento asociado, para lo cual se definen 3 escalas de diagnóstico, correspondientes a los estados bueno (B), regular (R) y malo (M), debiendo durante la inspección evaluarse detenidamente los aspectos asociados a la calificación del equipamiento o componente.

La segunda parte de la guía, destinada a estamentos profesionales encargados de la supervisión de los sistemas de tratamiento, sistematiza las variables y parámetros requeridos para efectuar cálculos básicos que permitan evaluar la capacidad de las componentes unitarias y si se cuenta con la mínima información requerida, el consecuente comportamiento operacional de la PTAS en su conjunto. Para que el comportamiento operacional sea representativo de las condiciones propias de la PTAS, se deberá contar con información estadísticamente adecuada y suficiente y un seguimiento adecuado.

Considerando que hay muchas tecnologías en el tratamiento de las aguas servidas, se presentan en forma previa a la guía propiamente tal que se detalla más adelante, las principales características asociadas a las tecnologías establecidas más importantes, de modo que la aplicación de la guía sea más práctica y expedita.

7.1 Lodos activados

7.1.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación

7.1.1.1 Caudales

Los distintos tipos de caudales afluentes a la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) necesarios para verificar o evaluar las diferentes componentes unitarias de las configuraciones de tratamiento pueden resumirse del siguiente modo:

- **Medio diario anual.** Corresponde al valor medio diario anual de consumo de agua potable corregido por un factor denominado coeficiente de recuperación, el que en el país es normalmente adoptado como $R = 0,8$.

- **Medio período verano (punta).** corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período del verano (enero a marzo y diciembre de cada año).
- **Medio período resto del año (no punta).** corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período del resto del año (abril a noviembre de cada año).
- **Máximo mensual.** Corresponde al valor del mes de máximo caudal del año (enero a diciembre).
- **Máximo diario.** Corresponde al día de máximo caudal del año.
- **Máximo horario.** Corresponde a la condición de máximo horario obtenido a lo largo del año.

Se debe destacar que un requisito indispensable para poder estimar adecuadamente el comportamiento de la PTAS o determinadas componentes unitarias de la misma, se requiere contar con el caudal medio diario anual, obtenible a partir del análisis estadístico de todo un año de mediciones diarias.

7.1.1.2 Características de las aguas residuales

Para efectos de estimar la carga orgánica afluente al sistema de tratamiento (KgDBO/día), se debe considerar el caudal y la concentración afluente de aguas servidas crudas a la PTAS.

$$\text{Carga orgánica [KgDBO/día]} = (\text{DBO [mg/l]} * \text{Caudal [m}^3\text{/día]} / 1000)$$

Para efectos de la evaluación cuantitativa del comportamiento operacional de la PTAS, se deberá contar con los registros de caudal y concentración de DBO (medidos simultáneamente) de por lo menos el mes anterior al de la evaluación, debiendo cada medición corresponder a la concentración de una muestra compuesta en 24 horas para poder generar conclusiones medianamente representativas del comportamiento de la PTAS.

En lo referido a las características de las aguas servidas crudas del resto de los parámetros de interés, los registros históricos de las PTAS permiten el procesamiento estadístico que genere las relaciones SST/DBO, NKT/DBO, PT/DBO y AyG/DBO, las que deberán estar entre los antecedentes a analizar.

En el evento de no contarse con ellas, se podrán adoptar como una primera aproximación las correlaciones típicas encontradas a lo largo del país, vale decir.

- SST / DBO 1,00
- SSV / SST 0,75 - 0,80
- NKT / DBO 0,25
- PT / DBO 0,05

7.1.1.3 Características de parámetros de proceso

Existen determinados parámetros operacionales que son de alta importancia al momento de efectuar la evaluación cuantitativa del comportamiento de una PTAS.

Al momento de analizar una PTAS en base a lodos activados, es importante contar información referida a los sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM) y el oxígeno disuelto (OD) en el tanque de aireación, caudal de recirculación de lodos activados (RAS), caudal de exceso de lodos activados (WAS), etc.

Al igual que en el análisis de las características de las aguas servidas, es necesario contar con los registros históricos al menos el mes anterior a la evaluación que permita el procesamiento estadístico para obtener valores representativos de las condiciones medias, así como visualizar las condiciones anómalas de tratamiento que puedan haber sucedido o estén sucediendo.

De no contarse con ello, las mediciones puntuales entregarán solamente una especie de fotografía del momento, la que de mostrar condiciones normales no tendrá mayor importancia, pero al momento de encontrarse con una operación anómala no permitirían visualizar de manera clara medidas correctivas que permitan la solución al problema.

7.1.2 Aspectos cualitativos de parámetros operacionales

Los aspectos de la evaluación cualitativa del estado de las componentes unitarias de la PTAS y su equipamiento asociado permiten evaluar el estado de las componentes unitarias a lo largo del sistema de tratamiento y son de vital importancia para un adecuado diagnóstico del sistema de tratamiento en su totalidad.

Por otro lado, los procesos de tratamiento propiamente tales también requieren de una adecuada visualización cualitativa para propender al diagnóstico de los mismos de manera integral. Para ilustrar lo señalado, en el anexo N° 10 del presente estudio (versión digital) se presenta un set de pautas de verificación visual del comportamiento de un sistema de tratamiento de aguas servidas por aireación extendida, claramente la mayormente implementada de las variantes de lodos activados en el sector rural.

7.1.3 Aspectos cuantitativos de parámetros operacionales

Las actividades de evaluación en terreno de PTAS en base a lodos activados contemplan la medición de determinados parámetros que permitan por un lado contrastar la precisión de las mediciones, y por otro registrar determinadas variables que pueden considerarse bajo régimen estacionario del sistema, como por ejemplo, el manto de lodos de la sedimentación secundaria, espesamiento de lodos, etc.

7.1.3.1 Registros y control

A objeto de poder contrastar la precisión de los registros disponibles, se deberán efectuar las mediciones de los siguientes parámetros y en alguno o el total de los siguientes puntos.

TABLA N° 95
Registros y control de parámetros a lo largo de la PTAS

Parámetro	Punto de medición
Oxígeno disuelto (in situ)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tanque de aireación ○ Sedimentación secundaria (en vertedero de salida del efluente) ○ Efluente final
Temperatura (in situ)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Afluente ○ Tanque de aireación ○ Efluente final
pH (in situ)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Afluente ○ Tanque de aireación ○ Efluente final
Demanda de cloro	<ul style="list-style-type: none"> ○ Efluente final

Por otro lado, durante el recorrido de los circuitos líquido y de lodos de la PTAS, se deberán efectuar las siguientes observaciones visuales a objeto de llenar adecuadamente la planilla correspondiente.

TABLA N° 96
Registro de parámetros en determinados puntos PTAS

Punto de observación	Parámetro
Entorno de la PTAS	<ul style="list-style-type: none"> ○ Olor
Afluente	<ul style="list-style-type: none"> ○ Color ○ Nivel del líquido
Sedimentación primaria	<ul style="list-style-type: none"> ○ Color ○ Espuma
Tanque de aireación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Turbulencia ○ Color ○ Cantidad de espuma superficial
Sedimentación secundaria	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tipo de efluente (claro o turbio) ○ Tipo de sólidos superficiales
Lodo activado de retorno	<ul style="list-style-type: none"> ○ Color ○ Olor
Motores y equipos	<ul style="list-style-type: none"> ○ Operación pareja ○ Vibraciones ○ Ruidos ○ Temperatura

7.1.3.2 Registros y parámetros de control

Al término del recorrido de la PTAS, se deberá llenar la información obtenida y conseguir los registros operacionales diarios de al menos el último mes, de modo de poder determinar el comportamiento operacional del sistema. Dichos registros también permitirán visualizar la aparición de problemas y ayudar a identificar la fuente de los mismos.

Los registros más importantes a obtener para la evaluación obedecerán al siguiente detalle.

TABLA N° 97
Registros diarios de operación PTAS

o Caudal medio diario (l/s).
o Concentración DBO afluente (mg/l)
o Concentración SST afluente (mg/l)
o Concentración SST tanque aireación (kg.)
o Concentración SSV tanque aireación (kg.)
o Tasa de lodos de retorno con respecto al caudal afluente
o Lodos de exceso evacuados diariamente (kg/d)
o Cantidad aire suministrado a los tanques de aireación
o Edad del lodo
o F/M
o IVL
o Consumo de energía

Adicionalmente, se deberá efectuar el **test de sedimentabilidad** a una muestra tomada al momento de la visita, la que permitirá evaluar la tendencia del comportamiento del último mes.

Los principales criterios relacionados con este parámetro para su medición e interpretación obedecen al siguiente detalle.

Se deberá coleccionar una muestra del tanque de aireación y efectuar la prueba por un tiempo de 60 minutos usando un cilindro graduado de 1000 ml (si es posible usar un cilindro de 2000 ml de 125 mm de diámetro se podrán obtener resultados más precisos). Se deberá observar la sedimentación del lodo en la muestra por aproximadamente una hora. Después de algunos minutos se empezarán a formar pequeñas partículas muy finas en el cilindro con un color ligero café claro. Las partículas permanecerán suspendidas, pero sedimentando, similar a las partículas de polvo de destello liviano.

Después de una hora, se deberá medir la altura de lodos precipitados en el fondo del cilindro, lo que constituye un indicador de las condiciones en el tanque de aireación.

Algunos aspectos y consideraciones generales con respecto a la prueba propiamente tal y al momento de interpretar los resultados y efectuar los cálculos necesarios relacionados con el test de sedimentabilidad pueden resumirse del siguiente modo:

- Los sólidos medidos sea en términos de [mg/l] o de [kg de sólidos secos] permiten obtener una indicación del tamaño de la población microbiana en el tanque de aireación. La determinación de los sólidos suspendidos en el licor mezclado del tanque de aireación dará la concentración en [mg/l], en tanto que los [kg de sólidos] serán calculados considerando el volumen del tanque de aireación.
- Los sólidos suspendidos a medir en el licor mezclado se efectúan normalmente en una muestra puntual obtenida en el efluente del tanque de aireación. Para asegurar un buen muestreo, se debe tomar la muestra del licor mezclado a aproximadamente 1,5 metro del efluente del tanque de aireación y a 0,4 - 0,6 m debajo de la superficie del agua. También debe tomarse a la misma hora una muestra del lodo de recirculación para determinar su concentración.
- La observación de las características de los sólidos y los resultados de las pruebas de sedimentabilidad en 60 minutos permitirán visualizar la tasa de crecimiento de los sólidos, las condiciones de los sólidos al interior del tanque de aireación y fundamentalmente la cantidad de lodo debe retornarse para asegurar el retorno adecuado de microorganismos al tanque de aireación. Así por ejemplo, si el agua residual cruda es débil será necesario retornar todo el lodo por 10 a 15 días o más.
- Los resultados de la prueba de sedimentabilidad en 60 minutos pueden usarse para estimar si la tasa de retorno de lodos es muy alta o muy baja. Así por ejemplo, si el volumen del lodo sedimentado en el cilindro es indicativo de la cantidad de lodo sedimentando en el sedimentador secundario, el volumen de lodos de retorno deberá ser igual o ligeramente mayor que el porcentaje del lodo sedimentado en el cilindro, multiplicado por la suma de los caudales efluente del sedimentador primario y del lodo de retorno. Otro ejemplo lo constituye la cantidad de lodo de retorno adoptada. Si la tasa de recirculación es muy alta, los altos caudales resultantes reducen el período de retención en el tanque de aireación y el sedimentador secundario. Si por el contrario la tasa de retorno de lodos es muy baja, se pueden desarrollar las siguientes condiciones no deseables:
 - Cantidad insuficiente de microorganismos para tratar la carga afluente (alimento) en el tanque de aireación.
 - Desarrollo de un lodo séptico si el período de retención en el sedimentador secundario es muy alto.
 - Manto de lodos profundo por acumulación de lodo en el sedimentador secundario, lo que ocasionará que los sólidos salgan en el efluente.

Constituyendo la evaluación cuantitativa de un sistema en base a lodos activados un aspecto de suma importancia, se debe sistematizar la misma para a partir de síntomas u observaciones generar conclusiones preliminares. En el Anexo N° 10 del presente

estudio (versión digital), se presenta la aplicación del denominado "sistema experto" a una PTAS en base a lodos activados, el que está basado en determinadas reglas en las cuales el conocimiento de dominio está sustentado de la siguiente forma:

SI (antecedente)

ENTONCES (consecuencia)

El antecedente puede ser una evidencia, síntomas u observaciones que representen una condición, en tanto que la consecuencia puede ser una hipótesis o acción que denota una conclusión.

Es evidente que las reglas ahí detalladas no pueden describir todos los aspectos de un proceso de lodos activados, y no se puede esperar que estas reglas base digan relación con todas las condiciones operativas posibles. Las reglas base tienen por objetivo fundamental el orientar las decisiones día a día, las que deberán adoptarse tomando en especial consideración los siguientes aspectos:

- Cuando se presenta un problema, la selección de una acción de control tiene sus efectos más inmediatos en la protección de la calidad del efluente.
- Cuando se presenta un problema, se deben examinar las tendencias de la variable en análisis para poder determinar la acción apropiada.
- Acciones de control efectuadas recientemente pueden influenciar la decisión del momento.
- Se debe ser precavido al actuar sobre la base de valores puntuales inusualmente altos o bajos.
- Cuando se presenta el problema, a veces hay poco o ningún riesgo en esperar a que se obtenga mayor cantidad de datos, de manera de evaluar comportamientos representativos.

7.2 Lagunas aireadas multicelulares

7.2.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación

En lo referido a las bases de cálculo requeridas para la evaluación de un sistema en base a lagunas aireadas, se pueden precisar al menos las siguientes:

7.2.1.1 Caudales

Los distintos tipos de caudales afluentes a la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) en base a lagunas aireadas que son necesarios para verificar o evaluar las diferentes componentes unitarias de las configuraciones de tratamiento pueden resumirse del siguiente modo.

- **Caudal medio diario anual.** Corresponde al valor medio diario anual de consumo de agua potable corregido por un factor denominado coeficiente de recuperación, el que en el país es normalmente adoptado como $R = 0,8$.
- **Medio período verano (punta).** Corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período del verano (enero a marzo y diciembre de cada año).
- **Medio período resto del año (no punta).** Corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período del resto del año (abril a noviembre de cada año).
- **Máximo mensual.** Corresponde al valor del mes de máximo caudal del año (enero a diciembre).
- **Máximo diario.** Corresponde al día de máximo caudal del año.
- **Máximo horario.** Corresponde a la condición de máximo horario obtenido a lo largo del año.

7.2.1.2 Características de las aguas residuales

Para efectos de estimar la carga orgánica afluyente al sistema de tratamiento (kgD-BO/d), se debe considerar el caudal y la concentración afluyente de aguas servidas crudas a la PTAS.

$$\text{Carga Orgánica} = (\text{DBO} [\text{mg/l}] * \text{Caudal} [\text{m}^3/\text{día}] / 1000)$$

Para efectos de la evaluación cuantitativa del comportamiento operacional de la PTAS, se deberá contar con los registros de caudal y concentración de DBO (medidos en forma simultánea) de por lo menos el mes anterior al de la evaluación, debiendo cada medición de DBO corresponder a la concentración de una muestra compuesta en 24 horas para poder generar conclusiones medianamente representativas de comportamiento de la PTAS.

En lo referido a las características de las aguas servidas crudas del resto de los parámetros de interés, los registros históricos de las PTAS permiten el procesamiento estadístico que genere las relaciones SST/DBO, NKT/DBO, PT/DBO y AyG/DBO, las que deberán estar entre los antecedentes a analizar.

En el evento de no contarse con ellas, se podrán adoptar como una primera aproximación las correlaciones típicas encontradas a lo largo del país, vale decir:

- SST / DBO 1,00
- SSV / SST 0,75 - 0,80
- NKT / DBO 0,25
- PT / DBO 0,05

7.2.2 Factores que afectan el proceso de tratamiento en base a lagunas aireadas

En general, los factores que afectan el proceso pueden ser clasificados bajo las siguientes áreas.

- **Factores naturales**
 - Altitud
 - Temperatura
 - Precipitación y evaporación
- **Factores físicos**
 - Volumen de la laguna
 - Profundidad de operación
- **Factores fisicoquímicos**
 - pH
 - Compuestos tóxicos
 - Nutrientes
 - Oxígeno requerido y disponible

7.2.2.1 Parámetros de control operacional

Los requerimientos de observación de determinados parámetros de interés abarcan un amplio espectro que va desde la inspección visual del sistema de tratamiento hasta mediciones caudal y determinación de parámetros específicos tales como pH, temperatura, oxígeno disuelto, etc.

7.2.2.1.1 Parámetros operacionales

Los parámetros operacionales que permiten visualizar el comportamiento de las lagunas son los siguientes:

La determinación del pH debe hacerse tanto en el afluente como efluente de la planta y en cada laguna, directamente en terreno.

Para ello, se pueden usar medidores de pH de terreno del tipo colorimétrico o digital, los que proporcionan un buen grado de precisión en la medición. Se recomienda el uso de medidores de rango amplio (4 - 10).

- **Oxígeno disuelto**

Mide el contenido de oxígeno molecular (atmosférico) disuelto en el agua y permite visualizar la calidad del agua y el consecuente grado de contaminación orgánica. Puede medirse en terreno.

Los factores asociados a este parámetro son en general los siguientes.

- Altitud sobre el nivel del mar.
A mayor altitud menor cantidad de OD (disminución de solubilidad del O₂ del orden de 1% por cada 300 m de elevación).
- Temperatura.
A mayor temperatura menor cantidad de OD.
- Profundidad del cuerpo líquido.
A mayor profundidad menor cantidad de OD.
- Sólidos disueltos (salinidad).
A mayor cantidad de sólidos disueltos menor cantidad de OD (p.e. el agua de mar tiene 4,5 - 5,5 mg/l de OD cuando la concentración de SD es del orden de 50.000 mg/l).

7.2.2.1.2 Parámetros de laboratorio

Cuando se presentan anomalías que se arrastran por determinado lapso de tiempo en el comportamiento del sistema, los parámetros de laboratorio se constituyen en los de mayor importancia para efectuar la evaluación del mismo, especialmente en lo que dice relación con las eficiencias de remoción y el grado de tratamiento alcanzado. Los parámetros de laboratorio que deben analizarse son fundamentalmente DBO, sólidos suspendidos totales y volátiles, nitrógeno Kjeldahl total, fósforo total, aceites y grasas, etc.

7.2.3 Características de parámetros operacionales del proceso

Existen determinados parámetros operacionales que son de alta importancia al momento de efectuar la evaluación cuantitativa del comportamiento de una PTAS.

Al momento de analizar una PTAS en base a Lagunas aireadas, es importante contar información referida al oxígeno disuelto (OD) en la laguna aireada a mezcla completa y laguna(s) de sedimentación, etc.

Al igual que en el análisis de las características de las aguas servidas, es necesario contar con los registros históricos al menos de un mes que permitan el procesamiento estadístico para obtener valores representativos de las condiciones medias, así como visualizar las condiciones anómalas de tratamiento que puedan haber sucedido o estén sucediendo.

De no contarse con ello, las mediciones puntuales entregarán solamente una especie de fotografía del momento, la que de mostrar condiciones normales no tendrá mayor importancia, pero al momento de encontrarse con una operación anómala no permitirían visualizar de manera clara medidas correctivas que permitan la solución al problema.

Un adecuado control para una correcta operación y control del sistema de tratamiento de aguas servidas en base a lagunas aireadas (laguna aireada a mezcla completa seguida de laguna(s) de sedimentación parcialmente aireadas y posterior desinfección) debe considerar determinados aspectos y parámetros operacionales.

Considerando que las lagunas aireadas a mezcla completa pueden ser asimiladas a un proceso de lodos activados sin recirculación, se cuenta con criterios de diseño y operacionales claramente definidos, siendo los más importantes los siguientes:

- Período de retención 3 a 5 días
- Demanda de oxígeno 1,25 [kgO₂/kgDBO_{REM}]

En este tipo de unidades, todos los sólidos se mantienen en suspensión y salen con el efluente, por lo que se requieren unidades adicionales de decantación de lodos. Los lodos se digieren anaeróbicamente en lagunas de sedimentación, lo que genera una baja producción. El lodo purgado de las lagunas de sedimentación parcialmente aireadas se encuentra digerido y tiene una adecuada humedad, por lo que en general es directamente enviado al sistema de deshidratación mecanizada o por lechos de secado prescindiendo de unidades de espesamiento, aunque la experiencia a nivel nacional ha mostrado en determinados casos la conveniencia de espesar los lodos antes de proceder a su deshidratación.

Dada la configuración de este tipo de tratamiento, la operación y control de un sistema de lagunas aireadas es simple, toda vez que al no existir recirculación, la edad del lodo es equivalente al tiempo de retención de la unidad, y la eficiencia del sistema solo depende de este parámetro. Por otro lado, 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.

Las lagunas son equipadas con aireadores (flotantes, fijos o sumergidos y rápidos o lentos, siendo los más comunes los flotantes de alta o baja rotación). El sistema de aireación debe considerar no solo la potencia necesaria para suplir los requerimientos de oxígeno, sino también la potencia necesaria para proveer mezcla completa (mantención de los sólidos en suspensión).

En cuanto a la laguna de sedimentación, contempla la inclusión de aireadores superficiales operando a una baja densidad de mezcla ($1-2 \text{ W/m}^3$), a objeto tanto de obtener un efluente con una baja concentración de sólidos suspendidos como proveer una remoción adicional de DBO soluble e impedir la generación de algas (para tiempos de retención menores a 2 días).

Cuando las aguas servidas traen un alto contenido de sulfatos, la aireación de la laguna de sedimentación minimiza la potencial producción de olores, debido fundamentalmente a la oxidación de los eventuales sulfuros que pudieran generarse en el lodo acumulado en el fondo de la laguna.

7.2.4 Consideraciones específicas del control del sistema de tratamiento

A objeto de permitir una mejor comprensión de los parámetros operacionales de control, se presenta a continuación un resumen de las partes más relevante del dimensionamiento del sistema de tratamiento.

7.2.4.1 Tiempo de retención y eficiencia del sistema

Como criterio para la condición más desfavorable en términos de caudal (normalmente el invierno), se ha fijado un tiempo de retención (V/Q_{medio}) mínimo de 3,0 [días] en la laguna aireada (trabajando o no a profundidad variable).

En las lagunas de sedimentación parcialmente aireadas, el tiempo de retención para la sedimentación descontando el volumen ocupado por los lodos, oscila en el orden de 1,0 - 1,5 días.

En cuanto a la eficiencia del sistema, arroja una DBO efluente en el orden de 30 - 40 mg/l. Si se desea mantener el sistema cumpliendo la normativa vigente para descarga a un cuerpo de agua sin capacidad de dilución, se debe efectuar un estricto control a la extracción de los lodos de las lagunas de sedimentación parcialmente aireadas, debiendo aumentarse la frecuencia normalmente adoptada (1 - 2 veces al año) de extracción.

7.2.4.2 Aireación y mezcla

Para proveer el grado de aireación y mezcla necesario en las lagunas, se consideran aireadores, cuyas características específicas son entregadas por el proveedor y deben formar parte integrante de la evaluación y control del sistema.

Los criterios de aireación y mezcla a cumplir deben satisfacer las siguientes condiciones de borde:

- Laguna aireada a mezcla completa:
 - Densidad de energía mezcla completa $5 - 7 \text{ W/m}^3$
 - Requerimientos oxígeno $1,5 \text{ kgO}_2/\text{kgDBO}$

Se adopta el mayor requerimiento, de modo de satisfacer ambas condiciones.

- Lagunas de sedimentación parcialmente aireadas:
 - Densidad de energía $1,5 - 2 \text{ W/m}^3$

7.2.4.3 Desinfección por cloración

Para la desinfección por cloración, se considera una cámara de contacto con un tiempo de retención mayor a 30 minutos a condiciones de caudal medio a lo largo del período de previsión. El sistema de cloración es en base a cloro gas o hipoclorito de sodio y se considera una dosificación no superior a $6 - 7 \text{ [mg/l]}$ de cloro activo para lograr el abatimiento bacteriológico requerido.

7.2.4.4 Deshidratación y disposición de lodos

Para la deshidratación de los lodos se utiliza normalmente lechos de secado o sistemas mecanizados, pero considerando que el deshidratado se efectúa una o dos veces al año (normalmente por 60 - 90 días durante el verano), esta última alternativa tendría capacidad ociosa gran parte del año, a menos que sea transportable a otras PTAS.

En cuanto a los lechos de secado, la principal característica es que recibirán lodos con una altura máxima de 30 cm y deberán permanecer un mínimo de 3 - 4 semanas antes de ser evacuados para su disposición final.

7.2.4.5 Elementos complementarios

Aparte de las lagunas propiamente tales, se debe efectuar un control de los elementos complementarios que componen este tipo de sistemas, específicamente los siguientes:

- Tratamiento preliminar:
 - Cámara de rejas.
 - Desarenador / Desgrasador.
- Medidores de caudal.
- Obras de arte de:
 - Ingreso a las lagunas.
 - Interconexiones entre lagunas.
 - Salida de las lagunas.

7.2.4.6 Detección de anomalías

Deberán revisarse las posibles anomalías que se detecten, especialmente las que digan relación con los siguientes aspectos:

- Cambios en el nivel y tipo de ruido de los aireadores y cualquier equipo en general.
- Variaciones de caudal con respecto a los registros históricos.
- Temperaturas anormales.
- Variación en el consumo de energía con respecto a los registros históricos.
- Irregularidades.

En el caso de equipos o piezas especiales y de mecanismo a la vista, se deberán observar y registrar posibles pérdidas o derrames.

7.3 Tratamiento primario solo o químicamente asistido

7.3.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación

En lo referido a las bases de cálculo requeridas para la evaluación de un sistema en base a tratamiento primario solo o químicamente asistido, se pueden precisar al menos las siguientes.

7.3.1.1 Caudales

Los distintos tipos de caudales afluentes a la planta de tratamiento de aguas servidas (ptas) en base a tratamiento primario que son necesarios para verificar o evaluar las diferentes componentes unitarias de las configuraciones de tratamiento pueden resumirse del siguiente modo.

- **Caudal medio diario anual.** Corresponde al valor medio diario anual de consumo de agua potable corregido por un factor denominado coeficiente de recuperación, el que en el país es normalmente adoptado como $R = 0,8$.
- **Medio período verano (punta).** Corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período del verano (enero a marzo y diciembre de cada año).
- **Medio período resto del año (no punta).** Corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período del resto del año (abril a noviembre de cada año).
- **Máximo mensual.** Corresponde al valor del mes de máximo caudal del año (enero a diciembre).
- **Máximo diario.** Corresponde al día de máximo caudal del año.
- **Máximo horario.** Corresponde a la condición de máximo horario obtenido a lo largo del año.

7.3.1.2 Características de las aguas residuales

Para efectos de estimar la carga orgánica afluente al sistema de tratamiento (kgD-BO/d), se debe considerar el caudal y la concentración afluente de aguas servidas crudas a la PTAS.

$$\text{Carga Orgánica} = (\text{DBO} [\text{mg/l}] * \text{Caudal} [\text{m}^3/\text{día}] / 1000)$$

Para efectos de la evaluación cuantitativa del comportamiento operacional de la PTAS, se deberá contar con los registros de caudal y concentración de DBO (en forma simultánea) de por lo menos el mes anterior a la evaluación, debiendo cada medición de DBO corresponder a la concentración de una muestra compuesta en 24 horas en proporción al caudal para poder generar conclusiones medianamente representativas de comportamiento de la PTAS.

En lo referido a las características de las aguas servidas crudas del resto de los parámetros de interés, los registros históricos de las PTAS permiten el procesamiento

estadístico que genere las relaciones SST/DBO, NKT/DBO, PT/DBO y AyG/DBO, las que deberán estar entre los antecedentes a analizar.

En el evento de no contarse con ellas, se podrán adoptar como una primera aproximación las correlaciones típicas encontradas a lo largo del país, vale decir:

- SST / DBO 1,00
- NKT / DBO 0,25
- PT / DBO 0,05

7.3.2 Consideraciones específicas del control del sistema de tratamiento

Existen determinados parámetros operacionales que son de alta importancia al momento de efectuar la evaluación cuantitativa del comportamiento de una PTAS.

Al momento de analizar una PTAS en base a tratamiento primario, es importante contar información referida a los caudales medios de ingreso correspondientes a un período de tiempo que sea estadísticamente representativo para una adecuada evaluación.

Al igual que en el análisis de las características de las aguas servidas, es necesario contar con los registros históricos al menos de un mes que permitan el procesamiento estadístico para obtener valores representativos de las condiciones medias, así como visualizar las condiciones anómalas de tratamiento que puedan haber sucedido o estén sucediendo.

De no contarse con ello, las mediciones puntuales entregarán solamente una especie de fotografía del momento, la que de mostrar condiciones normales no tendrá mayor importancia, pero al momento de encontrarse con una operación anómala no permitirían visualizar de manera clara medidas correctivas que permitan la solución al problema.

A objeto de permitir una mejor comprensión de los parámetros operacionales de control, se presenta a continuación un resumen de las partes más relevante del dimensionamiento del sistema de tratamiento.

7.3.2.1 Tiempo de retención y tasa hidráulica

Como criterio para la condición más desfavorable en términos de caudal (normalmente el invierno), se debe verificar que el tiempo de retención (V/Q_{medio}) y la tasa hidráulica (Q_{medio}/A) correspondan a los establecidos en el diseño.

7.3.2.2 Desinfección por cloración

Para la desinfección por cloración, se considera una cámara de contacto con un tiempo de retención mayor a 30 minutos a condiciones de caudal medio a lo largo del período de previsión. El sistema de cloración es en base a cloro gas o hipoclorito de sodio y se considera una dosificación no superior a 7 - 12 [mg/l] de cloro activo para lograr el abatimiento bacteriológico requerido.

7.3.2.3 Deshidratación y disposición de lodos

Para la deshidratación de los lodos se utiliza normalmente lechos de secado o sistemas mecanizados.

En relación a los lechos de secado, la principal característica es que recibirán lodos con una altura máxima de 30 cm y deberán permanecer un mínimo de 3 semanas antes de ser evacuados para su disposición final.

En cuanto a los sistemas mecanizados, la magnitud del volumen de los lodos generados en el sector rural generarían capacidad ociosa gran parte del tiempo, a menos que sean transportables a otras PTAS.

7.3.3 Características de parámetros operacionales de los procesos de tratamiento primario y primario químicamente asistido (CEPT)

A diferencia de las alternativas biológicas, el tratamiento primario 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.

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.).

Este tipo de tratamiento (primario solo o químicamente asistido) tiene una baja eficiencia de remoción de determinados parámetros de interés (DBO, etc.), alto requerimiento de cloro (debido a la presencia de materia orgánica) y mayor generación de cantidad de lodos en el tratamiento primario químicamente asistido debido a la adición de coagulante.

Las principales características técnicas pueden resumirse del siguiente modo:

7.3.3.1 Tratamiento primario seguido de desinfección

El tratamiento físico de aguas servidas (en el presente caso primario en base a sedimentación) es un tratamiento de tecnología establecida, y se constituye en una alternativa para aguas servidas domésticas cuando la eficiencia de remoción requerida de los parámetros de interés es baja.

Considerando que el sistema no contempla acción biológica, su operación es más simple que la de las alternativas convencionales y es efectivo en la remoción de SST, fósforo y metales, pero no así de DBO, por lo que es aplicable sea para tratar aguas servidas domésticas diluidas con bajo aporte orgánico o cuando la normativa vigente permite descargar concentraciones más altas de los parámetros de interés.

Por otro lado, la concentración del efluente tratado depende directamente de la concentración del afluente (a mayor concentración del afluente, mayor concentración en el efluente) y genera lodos crudos que deben ser estabilizados sea químicamente o por digestión aeróbica o anaeróbica (la cual debe estar controlada continua y adecuadamente para que no existan riesgos de inhibición de las bacterias en la digestión y los consecuentes potenciales problemas de olores ofensivos en las épocas de altas temperaturas).

Considerando que la eficiencia media de remoción de DBO es del orden de un 25%, la desinfección lleva asociada un requerimiento mayor de cloro para la desinfección.

Para estabilizar los lodos, la adición de cal se constituye en una alternativa viable para pequeñas y medianas localidades y al respecto la bibliografía especializada reporta que la estabilización química de los lodos está basada en que la mezcla lodo-cal debe mantener un pH elevado por un período de tiempo dado, de manera de permitir reducir los patógenos (y la consecuente inactivación microbiana) y alcanzar otros objetivos de estabilización.

7.3.3.2 Tratamiento primario químicamente asistido seguido de desinfección

El tratamiento primario químicamente asistido es adoptado normalmente cuando el tratamiento primario no es capaz de dar cuenta del grado de tratamiento requerido, optándose por añadir determinados reactivos que mejoren las eficiencias de remoción de los parámetros de interés.

El sistema de tratamiento primario químicamente asistido (en adelante CEPT por su denominación en inglés "chemically enhanced primary treatment") es una tecnología de tratamiento que consiste en la dosificación de sales metálicas (ej. sulfato de aluminio, cloruro férrico, etc.), donde la alta carga positiva del coagulante neutraliza la carga negativa de las partículas del agua residual doméstica, formando largos flóculos de sedimentación rápida.

Al igual que el tratamiento primario descrito anteriormente, el tratamiento primario químicamente asistido (Fisicoquímico) tampoco involucra el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales por medio de un proceso biológico, sino fundamentalmente por reacción física y química sobre la base de adición de reactivos específicos.

Si bien el tratamiento primario químicamente asistido (tratamiento fisicoquímico) de aguas servidas es un tratamiento de tecnología establecida, se constituye en una alternativa viable sea para aguas servidas domésticas diluidas o cuando la calidad de la descarga establece una alta concentración en términos de DBO, principalmente porque si bien la eficiencia de remoción de este parámetro (50 %) es superior a la del tratamiento primario, sigue siendo baja con respecto a otras tecnologías.

Considerando el porcentaje de remoción de DBO que alcanza esta tecnología (50 - 55%), la limitante vendrá dada por la concentración del afluente, la que deberá ser a lo sumo el doble de la concentración límite máxima establecida para la descarga al cuerpo de agua.

El análisis y consideraciones técnicas señaladas en relación a la desinfección en el tratamiento primario son extensivos al tratamiento primario químicamente asistido.

Por otro lado, y al igual que en el caso del tratamiento primario, los lodos generados en la sedimentación primaria químicamente asistida tampoco se encontrarán estabilizados, por lo cual será necesario contemplar dicho proceso, sea en base a estabilización química (normalmente por adición de cal) o por digestión (aeróbica o anaeróbica). Las consideraciones realizadas al respecto en el análisis conceptual del tratamiento primario son extensivas al tratamiento primario químicamente asistido.

7.3.4 Verificación operacional de los criterios de diseño

Las condiciones de borde y criterios de diseño típicos para el dimensionamiento del sistema de tratamiento en base a la sedimentación primaria sola o químicamente asistida (CEPT) y que deben verificarse durante la evaluación obedecen al siguiente detalle.

● Sedimentación primaria.	
● Criterio diseño	Tasas hidráulicas y de carga.
● Dosificación coagulante (FeCl ₃ al 42 %)	30 mg/l.
● Concentración lodo sedimentado	10 kg/m ³
● Desinfección por cloración.	
● Dosificación	10 mg/l cloro activo.
● Período retención	> 30 min (@Caudal medio).
● Tratamiento lodos	
● Espesador	

• Sedimentación primaria.	
• Conc. lodo espesado	60 – 80 kg/m ³ .
• Deshidratación mecanizada.	
• Dosis polímero	6 – 10 kg/tlodoBSeca
• Encalamiento de Lodos.	
• Dosificación cal	0,1 – 0,3 kg/kglodo.

7.4 Lombrifiltros

7.4.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación

En lo referido a las bases de cálculo requeridas para la evaluación de un sistema en base a lombrifiltros, se pueden precisar al menos las siguientes.

7.4.1.1 Caudales

Los distintos tipos de caudales afluentes a la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) necesarios para verificar o evaluar las diferentes componentes unitarias de las configuraciones de tratamiento pueden resumirse del siguiente modo.

- **Caudal medio diario anual.** Corresponde al valor medio diario anual de consumo de agua potable corregido por un factor denominado coeficiente de recuperación, el que en el país es normalmente adoptado como $R = 0,8$.
- **Medio período verano (punta).** Corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período de verano (enero a marzo y diciembre de cada año).
- **Medio período resto del año (no punta).** Corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período del resto del año (abril a noviembre de cada año).
- **Máximo mensual.** Corresponde al valor del mes de máximo caudal del año (enero a diciembre).
- **Máximo diario.** Corresponde al día de máximo caudal del año.
- **Máximo horario.** Corresponde a la condición de máximo horario obtenido a lo largo del año.

7.4.1.2 Características de las aguas residuales

Para efectos de estimar la carga orgánica afluyente al sistema de tratamiento (kgDBO/día), se debe considerar el caudal y la concentración afluyente de aguas servidas crudas a la PTAS.

$$\text{Carga Orgánica} = (\text{DBO [mg/l]} * \text{Caudal [m}^3\text{/día]} / 1000)$$

Se debe destacar que para poder estimar adecuadamente el comportamiento de la PTAS o determinadas componentes unitarias de la misma, se requiere contar con el caudal medio diario anual, obtenible a partir del análisis estadístico de todo un año de mediciones diarias.

Para efectos de la evaluación cuantitativa del comportamiento operacional de la PTAS, se deberá contar con los registros de caudal y concentración de DBO medidos simultáneamente de por lo menos el mes anterior a la evaluación, debiendo cada medición de DBO corresponder a la concentración de una muestra compuesta en 24 horas para poder generar conclusiones medianamente representativas de comportamiento de la PTAS. De no contarse con ello, las mediciones puntuales entregarán solamente una especie de fotografía del momento.

En lo referido a las características de las aguas servidas crudas del resto de los parámetros de interés, los registros históricos de las PTAS permiten el procesamiento estadístico que genere las relaciones SST/DBO, NKT/DBO, PT/DBO y AyG/DBO, las que deberán estar entre los antecedentes a analizar.

En el evento de no contarse con ellas, se podrán adoptar como una primera aproximación las correlaciones típicas encontradas a lo largo del país, vale decir:

- SST / DBO 1,00
- NKT / DBO 0,25
- PT / DBO 0,05
- AyG 0,20

7.4.2 Criterios de diseño y control de variables operacionales del proceso

Existen determinados parámetros operacionales que son de alta importancia al momento de efectuar la evaluación cuantitativa del comportamiento de una PTAS.

Los requerimientos de observación de determinados parámetros de interés abarcan un amplio espectro que va desde la inspección visual del sistema de tratamiento hasta mediciones caudal y determinación de parámetros específicos tales como pH, etc. Al momento de analizar una PTAS en base a lombrifiltros, es importante contar infor-

mación referida al menos al caudal y carga orgánica afluente, asociada al área del lombrifiltro.

7.4.2.1 Caudal

El caudal, llamado también flujo o gasto, puede ser definido en forma sencilla, como la cantidad de aguas servidas expresada en unidades de volumen, que entra o sale de una laguna por unidad de tiempo. En nuestro país, el caudal normalmente se expresa en términos de litros por segundo (l/seg) o metros cúbicos por segundo (m^3 /seg).

El caudal que entra al sistema se llama “afluente” y el que sale del mismo se llama “efluente”.

Si se desea mayor precisión en los caudales de entrada y salida del sistema, es fundamental contar con información que permita efectuar un balance de aguas al interior del mismo, vale decir, caudal afluente y efluente del sistema y las pérdidas por evaporación y percolación.

Las mediciones de caudal del efluente se constituyen en valores más representativos de las condiciones medias de operación del lombrifiltro, pues está más amortiguado que el caudal de entrada a la PTAS.

7.4.2.2 Tasa superficial y carga orgánica volumétrica

Los parámetros de diseño del lombrifiltro son semejantes a los de los sistemas en base a cultivo fijo por filtros biológicos (FB), operando conceptualmente 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.

Las principales características para la verificación del sistema de tratamiento son al menos las siguientes:

- Los criterios de diseño corresponden a la tasa superficial y la carga orgánica volumétrica, debiendo verificarse que al evaluar el sistema se satisfagan ambas condiciones.

- | | |
|---|-----------|
| • Carga volumétrica (kgDBO/ m^3 /día) | 0,2 - 0,3 |
| • Tasa superficial (m^3/m^2 /día) | 0,6 - 0,8 |

7.4.2.3 Otras variables

- El sistema permite cargas orgánicas altas. No obstante, es bueno verificarla bi o trimensualmente pues es preferible cargarlo con concentraciones de sólidos no

mayores a 700 - 1.000 mg/l, ya que podrían tender a colmatar la superficie del lecho.

- Es bueno verificar la limpieza y acondicionamiento adecuado del lecho por "horqueteo" (abrir el lecho con horqueta) para mantener un esponjamiento adecuado y permitir que sólidos retenidos en la superficie se incorporen al lecho), así como la mantención de los aspersores libres de obstrucción.
- Al interior del sistema se genera humus de lombriz y se degrada la viruta, debiendo el primero ser retirado y la viruta ser repuesta a determinadas frecuencias. La experiencia local muestra que la reposición anual de viruta es del orden del 20% del volumen, la que se debe realizar en forma totalmente manual.

7.5 Lagunas de estabilización

7.5.1 Bases de cálculo e información requerida para la evaluación

En lo referido a las bases de cálculo requeridas para la evaluación de un sistema en base a lagunas de estabilización, se pueden precisar al menos las siguientes.

7.5.1.1 Caudales

Los distintos tipos de caudales afluentes a la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) en base a lagunas facultativas que son necesarios para verificar o evaluar las diferentes componentes unitarias de las configuraciones de tratamiento pueden resumirse del siguiente modo.

- **Caudal medio diario anual.** Corresponde al valor medio diario anual de consumo de agua potable corregido por un factor denominado coeficiente de recuperación, el que en el país es normalmente adoptado como $R = 0,8$.
- **Medio período verano (punta).** Corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período de verano (enero a marzo y diciembre de cada año).
- **Medio período resto del año (no punta).** Corresponde al valor medio diario del caudal correspondiente al período del resto del año (abril a noviembre de cada año).
- **Máximo mensual.** Corresponde al valor del mes de máximo caudal del año (enero a diciembre).

- **Máximo diario.** Corresponde al día de máximo caudal del año.
- **Máximo horario.** Corresponde a la condición de máximo horario obtenido a lo largo del año.

7.5.1.2 Características de las aguas residuales

Para efectos de estimar la carga orgánica afluyente al sistema de tratamiento (kgD-BO/d), se debe considerar el caudal y la concentración afluyente de aguas servidas crudas a la PTAS.

$$\text{Carga Orgánica} = (\text{DBO} [\text{mg/l}] * \text{Caudal} [\text{m}^3/\text{día}] / 1000)$$

Se debe destacar que para poder estimar adecuadamente el comportamiento de la PTAS o determinadas componentes unitarias de la misma, se requiere contar con el caudal medio diario anual, obtenible a partir del análisis estadístico de todo un año de mediciones diarias.

Para efectos de la evaluación cuantitativa del comportamiento operacional de la PTAS, se deberá contar con los registros simultáneos de caudal y concentración de DBO de por lo menos el mes anterior a la evaluación, debiendo cada medición de DBO corresponder a la concentración de una muestra compuesta en 24 horas para poder generar conclusiones medianamente representativas del comportamiento de la PTAS.

En lo referido a las características de las aguas servidas crudas del resto de los parámetros de interés, los registros históricos de las PTAS permiten el procesamiento estadístico que genere las relaciones SST/DBO, NKT/DBO, PT/DBO y AyG/DBO, las que deberán estar entre los antecedentes a analizar.

En el evento de no contarse con ellas, se podrán adoptar como una primera aproximación las correlaciones típicas encontradas a lo largo del país, vale decir:

- SST / DBO 1,00
- NKT / DBO 0,25
- PT / DBO 0,05

Al momento de analizar una PTAS en base a lagunas facultativas, es importante contar información referida a los caudales medios de ingreso correspondientes a un período de tiempo que sea estadísticamente representativo para una adecuada evaluación.

Al igual que en el análisis de las características de las aguas servidas, es necesario contar con los registros históricos al menos de un mes que permitan el procesamiento estadístico para obtener valores representativos de las condiciones medias, así como visualizar las condiciones anómalas de tratamiento que puedan haber sucedido o estén sucediendo.

De no contarse con ello, las mediciones puntuales entregarán solamente una especie de fotografía del momento, la que de mostrar condiciones normales no tendrá mayor importancia, pero al momento de encontrarse con una operación anómala no permitirían visualizar de manera clara medidas correctivas que permitan la solución al problema.

7.5.1.3 Variables que definen el comportamiento del sistema

En este tipo de unidades la mortalidad bacteriana, expresada comúnmente a través del abatimiento de coliformes fecales, se produce por un conjunto de variables naturales de mayor o menor significación como la radiación solar, el incremento de pH producido por la fotosíntesis, la temperatura, el antagonismo con otros organismos como algas, la sedimentación, etc. Adicionalmente, se presenta una remoción de parásitos por sedimentación, teniéndose una eliminación prácticamente completa de estos para tiempos de retención mayores a 10 días.

Las lagunas facultativas pueden concebirse como unidades primarias destinadas principalmente a remover la carga orgánica seguidas de secundarias (y terciarias) llamadas de maduración, de especial importancia cuando el objetivo es el abatimiento bacteriológico, aunque la experiencia ha demostrado que la reducción bacteriológica requiere de desinfección (a muy bajas dosis) para alcanzar los requerimientos normativos.

La principal ventaja de este sistema son los bajos costos de operación, en tanto que las desventajas son la gran cantidad de terreno requerida y la dificultad de control del proceso, que impide garantizar calidades efluentes consistentes y estables cuando son muy restrictivos.

El comportamiento esperado en términos de los parámetros de interés (contenido algal, sólidos suspendidos, DBO y nutrientes), obedece resumidamente a lo siguiente.

- **Comportamiento algal**

En una laguna facultativa bien operada, la población algal involucrada es alta, con concentraciones de "clorofila-a" que se encuentran en el rango de 1.000 - 3.000 $\mu\text{g/l}$ o aún superiores, debiendo destacar que los valores de la concentración del efluente no proveen una información útil del comportamiento de la laguna, toda vez que sufren grandes variaciones debido al movimiento vertical diurno de las algas al interior de la columna de agua.

La variación en la calidad del efluente puede ligarse a la estratificación microbiana y físicoquímica al interior de la columna de agua, particularmente algal, y en lagunas facultativas, la zona de movimiento de la banda algal está generalmente restringida a los primeros 50 - 60 cm. La concentración de coliformes fecales resulta menor en la superficie, pero aumentan bajo la banda algal.

- **DBO y algas**

La contribución algal a la DBO (y DQO) difiere en algún grado de acuerdo a las especies. Estudios efectuados por Mara permitieron encontrar una relación lineal directa entre la concentración de "clorofila a" y la contribución de DQO, en que una concentración equivalente a 1 mg/l de "clorofila a", contribuye aproximadamente 300 mg/l de DQO.

Una proporción significativa de la DBO del agua servida cruda es convertida a biomasa algal en las lagunas. Claramente, esta DBO algal no es ni remotamente similar a la DBO de efluentes de sistemas de tratamiento del tipo convencional, y se constituye en un problema al evaluar el comportamiento de la laguna, toda vez que su eficiencia está correctamente expresada como:

$$\frac{[(\text{DBO}_{\text{AGUA SERVIDA CRUDA}}) - ((\text{DBO}_{\text{EFLUENTE LAGUNA}}) - (\text{DBO}_{\text{ALGAL EFLUENTE}}))]}{[\text{DBO}_{\text{AGUA SERVIDA CRUDA}}]}$$

Frecuentemente la DBO del efluente es determinada en muestras filtradas, debiendo destacar que el filtrado remueve también DBO asociada a sólidos no algales.

- **Nutrientes**

Los sistemas en base a lagunas facultativas tienen una capacidad de remoción de nutrientes del orden del 40 - 50 % en términos de nitrógeno y 20 - 60 % en términos de fósforo.

7.5.2 Criterios de diseño y control de variables operacionales del proceso

El sistema de tratamiento está conformado en general por dos lagunas facultativas primarias seguidas de dos lagunas facultativas secundarias (o de maduración) y desinfección, de manera que durante el verano se puede efectuar la deshidratación vaciando uno de los trenes y dejando el otro operando con todo el caudal, debiendo verificarse previamente que la carga orgánica afluente sea menor a la de la máxima carga orgánica admisible.

Existen determinados parámetros operacionales que son de alta importancia al momento de efectuar la evaluación cuantitativa del comportamiento de una PTAS.

En términos del diseño, la laguna facultativa primaria es diseñada de modo que no se exceda la máxima carga orgánica admisible, en tanto que la laguna facultativa secundaria es diseñada en función de la calidad bacteriológica deseada del efluente (en general < 1.000 nmp/100ml) y verificación de la máxima carga orgánica admisible.

Los criterios de diseño en estos sistemas son los siguientes:

- Temperatura
- Tasa de mortalidad bacteriana, Kb
- Factor de dispersión
Este factor juega un papel incidente en el comportamiento hidráulico y depende fundamentalmente de la geometría de las unidades. Está relacionado con la localización entre la entrada y salida de la laguna, y con las dimensiones, con el ancho y largo de la laguna.
- Máxima carga orgánica admisible
La carga orgánica aplicada en una laguna facultativa no puede sobrepasar un máximo admisible, dependiente de la temperatura del agua en la laguna, y en consecuencia es variable a lo largo del año.

Como puede apreciarse, ninguna de las variables arriba citadas puede ser controlada operacionalmente.

- **Desinfección del efluente**
Para la desinfección por cloración, se considera un estanque de contacto con un tiempo de retención mayor a 30 minutos a condiciones de caudal medio, constituido por determinado número de canales de ancho y profundidad de la masa líquida generalmente tipo *round the end*.
La cloración del efluente es en base a hipoclorito de sodio o cloro gas. La dosificación requerida para alcanzar la calidad bacteriológica establecida por la normativa (1.000 NMP/100ml) es baja, requiriendo del orden de 2 - 4 mg/l.

Esta variable tiene incidencia fundamentalmente en la calidad bacteriológica.

7.5.3 Variables cualitativas en lagunas facultativas

Se deben visualizar las condiciones generales de la laguna, en especial en lo que a color y olor se refiere, puesto que un cambio en esos parámetros pronostica con toda probabilidad un cambio en el comportamiento del sistema.

La coloración del agua y su apariencia indica el estado general de los microorganismos en las capas superficiales de la laguna, lo que debe estimarse visualmente al momento del recorrido por la PTAS. En el Anexo N° 10 del presente estudio (versión digital), se presenta un detalle "in extenso" de los colores que pueden aparecer en la laguna facultativa y las razones a que obedece.

Capítulo 8



Melefqén, Región de los Ríos

**Guía diagnóstico operacional,
sistema de tratamiento de
aguas servidas**

8 Guía diagnóstico operacional sistemas de tratamiento de aguas servidas

Una vez definidas las variables de control operacional de cada uno de los tipos de tratamiento, se presentan a continuación las guías del diagnóstico cualitativo y cuantitativo del estado operacional de los sistemas de tratamiento de aguas servidas.

8.1 Guía para el diagnóstico cualitativo y estado operacional de las plantas de tratamiento de aguas servidas

Esta guía está orientada fundamentalmente a los operadores de los sistemas de tratamiento, y contiene los criterios generales para efectuar una evaluación tanto de la infraestructura como los equipos asociados a las diversas componentes unitarias de las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS).

Los criterios señalados en la presente guía son generales y deben ser tomados como tales, debiendo visualizarse aspectos específicos en cada PTAS para definir a cabalidad el estado de las componentes, equipamiento o la PTAS en general.

Esta parte de la guía está orientada a la evaluación cualitativa del estado de las componentes unitarias de la PTAS y su equipamiento asociado, para lo cual se definen tres escenarios de diagnosis, correspondientes a un estado bueno (B), uno regular (R) y uno malo (M), debiendo durante la inspección evaluarse detenidamente los aspectos asociadas a la calificación del equipamiento o componente.

8.1.1 Evaluación obras civiles (OCC)

Se aplicará a todas las componentes unitarias que cuentan con obras civiles. En las PTAS en base a lodos activados involucra si forman parte de la misma, rejillas (gruesas y/o finas), desarenador, desgrasador, sedimentación primaria, estanque de aireación, sedimentación secundaria, cámara de contacto, espesamiento de lodos, digestión de lodos, acumulador de lodos, etc.

Bueno (B)	Hormigón (o acero) en buenas condiciones.
Regular (R)	Hormigón (o acero) en condición regular (recubrimientos quebrados, enfierradura a la vista).
Malo (M)	Hormigón (o acero) roto con desprendimiento de paredes, filtraciones visibles.

8.1.2 Evaluación de equipos

Estación elevadora

8.1.2.1 Planta elevadora aguas servidas (PEAS)

- **Bombas**

Esta evaluación se aplicará a las bombas de las PEAS y a todas las bombas de diversos tipos emplazadas en las distintas componentes unitarias de la PTAS, vale decir, bombas para extracción de arenas, bombas para extracción de grasas, bombas de extracción de lodos primarios y secundarios, bombas de recirculación de lodos secundarios, bombas de extracción de lodos espesados, bombas de extracción de lodos digeridos, bombas de extracción de lodos acumulados, etc.

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños, vibraciones ni fugas de agua, impulsando correctamente el caudal entrante.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños o vibraciones, impulsando correctamente el caudal entrante.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y vibraciones (mal anclada) o no impulsa correctamente el caudal.

- **Rejas gruesas**

Bueno (B)	Sin presencia de sólidos que peraltan el flujo. No existen reboses del flujo.
Regular (R)	Reja con más del 40% de su capacidad obstruida con sólidos.
Malo (M)	Reja con más del 70% de su capacidad obstruida con sólidos. Existencia de reboses de flujo.

- **Sensor de nivel**

Bueno (B)	Funcionamiento normal de medición en nivel mínimo y máximo.
Regular (R)	Si se encuentran con grasa y/o flotantes enredadas y/o con residuos adosados.
Malo (M)	No realiza regulaciones en su nivel mínimo y/o máximo.

- **Sistema control de olores**

Bueno (B)	Zona encapsulada adecuadamente y con tratamiento de olores (carbón activado, biofiltro, etc., identificando el tipo instalado).
Regular (R)	Zona encapsulada regularmente y con superficies abiertas.
Malo (M)	Zona libre sin encapsulado.

- **Sistema izaje**

Bueno (B)	Engranaje engrasado con giro libre.
Regular (R)	Engranaje seco con giro libre.
Malo (M)	Engranaje seco con giro atascado.

Circuito líquido PTAS

8.1.2.2 Tratamiento preliminar

- **Rejas**

Bueno (B)	Sin presencia de sólidos que peraltan el flujo. No existen reboses del flujo.
Regular (R)	Reja con más del 40% de su superficie obstruida con sólidos.
Malo (M)	Reja con más del 70% de su superficie obstruida con sólidos. Existencia de reboses de flujo.

- **Contenedores**

Bueno (B)	Sólidos descartados en contenedores cerrados y sin fuga de percolados.
Regular (R)	Sólidos descartados en contenedores abiertos y sin fuga de percolados.
Malo (M)	Sólidos descartados en contenedores abiertos con fuga de percolados.

- **Compactadores**

Bueno (B)	No existen fugas de sólidos ni de percolados. No hay presencia de vibraciones.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños y/o vibraciones.
Malo (M)	Presenta fugas de sólidos y/o percolados.

- **Sistema de aireación**

Bueno (B)	Distribución homogénea de la aireación.
Regular (R)	Distribución parcialmente homogénea con consecuencia en el proceso.
Malo (M)	Distribución irregular o inexistente de la aireación.

- **Desarenadores**

Bueno (B)	Sistema de descarte de arenas operativo (en caso de bomba chequear estado operacional de estas, en caso de válvulas chequear su maniobrabilidad). Contenedor de arena sin fugas y cerrado.
Regular (R)	Sistema de descarte de arenas con deficiencias de purga (en caso de bomba en estado regular y válvula de difícil maniobrabilidad). Contenedor de arena abierto sin fugas de percolados y/o arenas.
Malo (M)	Sistema de descarte de arenas no operativo (en caso de bomba chequear estado operacional de estas, en caso de válvulas no se pueden maniobrar). Contenedor de arena no existe o tiene presencia de fugas de percolados.

- **Clasificador de arenas**

Bueno (B)	Arenas en el contenedor no presentan olores.
Regular (R)	Arenas en el contenedor con mal olor.
Malo (M)	Arenas en el contenedor con olor séptico.

- **Desgrasadores**

Bueno (B)	Presencia de burbujas finas con distribución uniforme. Arrastre de grasas operativa con arrastre del más del 90% de las grasas. Contenedor de grasas.
Regular (R)	Presencia de burbujas gruesas con distribución deficientes. Arrastre de grasas operativa con arrastre con menos del 50% de las grasas de la superficie. Contenedor de grasas abierto con o sin presencia de fugas de percolados.
Malo (M)	Sin presencia de burbujas o arrastre de grasas no operativo.

- **Concentrador de grasas**

Bueno (B)	Extracción de manera continua de las mayor parte de las grasas. Cerrado sin presencia de fugas de percolados.
Regular (R)	Extracción de manera parcial y/o discontinua de las grasas. Abierto sin presencia de fugas de percolados.
Malo (M)	No presenta una correcta separación de las grasas. Abierto con presencia de fugas de percolados.

- **Sistema control de olores**

Bueno (B)	Zona encapsulada adecuadamente y con tratamiento de olores (carbón activado, etc. indicando el tipo en observaciones).
Regular (R)	Zona encapsulada regularmente y con superficies abiertas.
Malo (M)	Zona libre sin encapsulado.

8.1.2.3 Tratamiento primario

Sedimentación primaria o sedimentación primaria químicamente asistida (CEPT)

Bueno (B)	Sistema de descarte de lodos primarios operativo (chequear estado operacional de bombas) y sistema de puente de arrastre operativo, con un correcto (eficiente) arrastre de sólidos flotantes (chequear estado operacional de bombas).
Regular (R)	Sistema de descarte de lodos primarios regular (chequear estado operacional de bombas) y arrastre de sólidos flotantes de puente barredor deficiente.
Malo (M)	Sistema de descarte de lodos primarios malo (chequear estado operacional de bombas) o puente barredor no operativo.

- **Equipamiento dosificación cloruro férrico**

Bueno (B)	Dosificación eficiente en forma continua y/o intervalos periódicos.
Regular (R)	Dosificación irregular en cantidad e intervalos.
Malo (M)	Dosificación discontinua o inexistente

8.1.2.4 Tratamiento secundario

8.1.2.4.1 Reactores biológicos

- **Presencia de espumas**

1. Espuma blanca espesa.

Tiempo de retención celular bajo (lodo joven), SSTLM muy bajo, F/M muy alto, presencia de detergentes, proteínas o descargas de RILES con alta carga orgánica, descargas de sustancias tóxicas o inhibidoras (pH muy bajo o alto), bajo OD, deficiencias nutrientes o cambios bruscos de temperatura.

2. Espuma café-chocolate.

Planta operando a baja carga orgánica afluyente, en modo de nitrificación, F/M bajo, SSTLM muy alto por Insuficiencias purga de lodos, alta aireación.

3. Espuma muy oscura o negra.

Aumento de aireación (OD alto), descarga de RILES, bajo SSTLM.

- **Aireadores superficiales**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma continua.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma continua.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma discontinua.

- **Aireación por difusión**

- **Sopladores**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños, vibraciones ni fugas de aire e impulsa correctamente el caudal de aire.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños o vibraciones e impulsa correctamente el caudal de aire.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y vibraciones (mal anclada) o no impulsa correctamente el caudal de aire.

- **Parrilla difusores**

Bueno (B)	Distribución homogénea de la aireación a lo largo del tanque.
Regular (R)	Distribución parcialmente homogénea con consecuencia en el proceso.
Malo (M)	Distribución irregular o inexistente de la aireación a lo largo del tanque.

- **Agitadores sumergibles**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma continua.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma continua.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma discontinua.

8.1.2.4.2 Sedimentación secundaria

Bueno (B)	Sistema de descarte de lodos secundarios operativo (chequear estado operacional de bombas) y sistema de puente de arrastre operativo, con un correcto (eficiente) arrastre de sólidos flotantes (chequear estado operacional de bombas).
Regular (R)	Sistema de descarte de lodos secundarios regular (chequear estado operacional de bombas) y arrastre de sólidos flotantes de puente barredor deficiente.
Malo (M)	Sistema de descarte de lodos secundarios malo (chequear estado operacional de bombas) o puente barredor fuera no operativo.

- **Puente barredor**

Bueno (B)	Funcionamiento continuo y sin ruidos.
Regular (R)	Funcionamiento continuo y con ruidos.
Malo (M)	Funcionamiento discontinuo y con ruidos.

- **Equipo dosificación reactivo**

Bueno (B)	Dosificación eficiente en forma continua y/o intervalos periódicos.
Regular (R)	Dosificación irregular en cantidad e intervalos.
Malo (M)	Dosificación discontinua o inexistente

8.1.2.5 Desinfección y decloración

- **Cloración**

- **Estanque de contacto**

Buena (B)	Sin lodos refltados ni sedimentados. Sin filtraciones ni fugas.
Regular (R)	Sólidos refltados y/o sedimentados en estanque de contacto.
Malo (M)	Lodos refltados y sedimentados. Filtraciones y/o fugas.

- **Equipo cloración por gas cloro**

Bueno (B)	Dosificación en forma continua.
Regular (R)	Dosificación irregular en cantidad o intervalos.
Malo (M)	Dosificación discontinua o inexistente

- **Sistema de seguridad (gas cloro)**

Bueno (B)	Activa la alarma de gas cloro.
Malo (M)	No activa la alarma en presencia de gas cloro.

- **Equipamiento cloración por hipoclorito de sodio**

Bueno (B)	Dosificación en forma continua.
Regular (R)	Dosificación irregular en cantidad o intervalos.
Malo (M)	Dosificación discontinua o inexistente

- **Radiación ultravioleta**

- **Equipamiento desinfección UV**

Bueno (B)	Todas las lámparas 100% operativas y limpias.
Regular (R)	Más del 75% de las lámparas 100% operativas y limpias.
Malo (M)	Menos del 75% de las lámparas 100% operativas y limpias.

- **Declaración**

- **Equipamiento declaración por dióxido de azufre**

Bueno (B)	Dosificación en forma continua.
Regular (R)	Dosificación irregular en cantidad o intervalos.
Malo (M)	Dosificación discontinua o inexistente

- **Equipamiento decloración por metabisulfito**

Bueno (B)	Dosificación en forma continua.
Regular (R)	Dosificación irregular en cantidad o intervalos.
Malo (M)	Dosificación discontinua o inexistente

Circuito de lodos PTAS

8.1.2.6 Espesamiento de lodos

8.1.2.6.1 Espesamiento gravitacional

- **Olores**

Bueno (B)	No genera olores.
Regular (R)	Generación esporádica de olores molestos.
Malo (M)	Generación continua de olores molestos.

- **Rastra**

Bueno (B)	Funcionamiento continuo de los motores.
Regular (R)	Funcionamiento discontinuo de los motores.
Malo (M)	Funcionamiento nulo o inexistente.

- **Equipo suministro lechada de cal**

Bueno (B)	Dosificación continua o a intervalos periódicos.
Regular (R)	Dosificación a intervalos irregulares.
Malo (M)	Sin dosificación.

8.1.2.6.2 Espesamiento mecanizado

- **Olores**

Bueno (B)	No genera olores.
Regular (R)	Generación esporádica de olores molestos.
Malo (M)	Generación continua de olores molestos.

- **Equipo (mesa espesadora, flotación, etc.)**

Bueno (B)	Comportamiento uniforme de los engranajes y rotores.
Regular (R)	Funcionamiento irregular de los engranajes y rotores.
Malo (M)	Los engranajes y rotores no funcionan.

- **Compresores**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños, vibraciones ni fugas de aire e impulsa correctamente el caudal de aire.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños o vibraciones e impulsa correctamente el caudal de aire.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y vibraciones (mal anclada) o no impulsa correctamente el caudal de aire.

8.1.2.7 Digestión aeróbica

- **Aireadores superficiales**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma continua.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma continua.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma discontinua.

- **Aireación por difusión**

- **Sopladores**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños, vibraciones ni fugas de aire e impulsa correctamente el caudal de aire.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños o vibraciones e impulsa correctamente el caudal de aire.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y vibraciones (mal anclada) o no impulsa correctamente el caudal de aire.

- **Parrilla difusores**

Bueno (B)	Distribución homogénea de la aireación.
Regular (R)	Distribución parcialmente homogénea con consecuencia en el proceso.
Malo (M)	Distribución irregular o inexistente de la aireación.

- **Agitadores sumergibles**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma continua.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma continua.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma discontinua.

8.1.2.8 Acumulación de lodos

- **Aireadores superficiales**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma continua.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma continua.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y suministra el caudal de aire en forma discontinua.

- **Aireacion por difusión**

- **Sopladores**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños, vibraciones ni fugas de aire e impulsa correctamente el caudal de aire.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños o vibraciones e impulsa correctamente el caudal de aire.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y vibraciones (mal anclada) o no impulsa correctamente el caudal de aire.

- **Parrilla difusores**

Bueno (B)	Distribución homogénea de la aireación.
Regular (R)	Distribución parcialmente homogénea con consecuencia en el proceso.
Malo (M)	Distribución irregular o inexistente de la aireación.

- **Agitadores sumergibles**

Bueno (B)	Sin presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma continua.
Regular (R)	Presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma continua.
Malo (M)	Presencia de ruidos extraños y mezcla del líquido en forma discontinua.

8.1.2.9 Deshidratación de lodos

8.1.2.9.1 Deshidratación mecanizada (filtro de banda, filtro de prensa, centrífuga)

- **Funcionamiento y características del lodo**

Bueno (B)	Equipo operando adecuadamente (sistema mecánico operativo, hidráulico, motor y/o banda en buenas condiciones). Lodo bien deshidratado. No queda pegado en la mano y tiene textura sólida. Un poco de lodo puesto en el suelo no atrae vectores.
Regular (R)	Equipo operando adecuadamente pero con ruidos en parte del mismo. Lodo medianamente deshidratado y queda parcialmente pegado en la mano. Un poco de lodo puesto en el suelo atrae pocos vectores.
Malo (M)	Equipo no operativo u operando con ruidos continuos o intermitentes (banda y/o equipos en estado deficiente para el filtrado de lodos, motores no operativos). Lodo mal deshidratado, aguachento y escurre por la mano. Un poco de lodo puesto en el suelo atrae vectores.

- **Equipo dosificación de polímero**

Bueno (B)	Dosificación continua o a intervalos periódicos.
Regular (R)	Dosificación a intervalos irregulares.
Malo (M)	Sin dosificación.

8.1.2.9.2 Deshidratación gravitacional por lecho de secado

Bueno (B)	Línea de percolados operativa. Lodos dentro del perímetro del lecho de secado.
Regular (R)	Línea de percolados operativa o con ligeros problemas en el percolado. Lodos fuera del perímetro del lecho.
Malo (M)	Línea de percolados tapada fuera de uso. Lodos fuera del perímetro del lecho.

8.1.2.10 Recirculación sobrenadantes

Bombas recirculadas a cabecera de planta provenientes de sobrenadante del espesador, percolado de la deshidratación mecanizada, etc. ver bombas en planta elevadora cabecera.

8.1.2.11 Equipo dosificación de cal

Bueno (B)	Dosificación continua o a intervalos periódicos.
Regular (R)	Dosificación a intervalos irregulares.
Malo (M)	Sin dosificación.

8.1.2.12 Manejo y disposición de lodos

- **Acopio en planta**

Bueno (B)	Lodos dentro del perímetro de la zona de acopio. Sin generación de olores al entorno inmediato. Volteo sistemático de los lodos.
Regular (R)	Lodos dentro del perímetro de la zona de acopio. Ligera generación de olores al entorno inmediato. Volteo esporádico de los lodos.
Malo (M)	Lodos fuera del perímetro de la zona de acopio. Generación de olores al entorno.

- **Cancha de secado**

Bueno (B)	Línea de percolados operativa. Lodos dentro del perímetro de la cancha de secado.
Regular (R)	Línea de percolados operativa o con ligeros problemas en el percolado. Lodos fuera del perímetro de la cancha de secado.
Malo (M)	Línea de percolados tapada fuera de uso. Lodos fuera del perímetro de la cancha de secado.

- **Contenedor de lodos**

Sin evaluación de operación.

Bueno (B)	Sólidos deshidratados en contenedores cerrados.
Regular (R)	Sólidos deshidratados en contenedores abiertos y sin fugas de percolados.
Malo (M)	Sólidos deshidratados en contenedores abiertos con fugas de percolados.

8.1.3 Otros

- **Grupo electrógeno respaldo**

Bueno (B)	Arranque inmediato. Posee carga de petróleo que garantice horas de autonomía.
Regular (R)	Retraso en el arranque del motor. Posee carga de petróleo que garantice horas de autonomía.
Malo (M)	Equipo no operativo.

8.2 Guía referencial para el diagnóstico cuantitativo de las plantas de tratamiento de aguas servidas

Esta guía está orientada fundamentalmente a supervisores o ingenieros encargados de la evaluación del comportamiento de los sistemas de tratamiento.

En este punto se sistematizan las variables y parámetros mínimos requeridos que permitan efectuar una evaluación básica de la capacidad de las componentes unitarias de la PTAS. Para que se pueda diagnosticar el comportamiento operacional de manera representativa de las condiciones propias de la PTAS, se deberá contar con información estadísticamente adecuada y suficiente a través de un registro permanente de los parámetros y variables.

Para la evaluación básica de cada componente unitaria se debe contar con la información mínima que permita su adecuado procesamiento. A continuación se presentan los requerimientos y variables asociadas a cada componente unitaria por medio de dos tablas. La primera de ellas consta de las variables y parámetros que se deben registrar y el consecuente cálculo de los parámetros de evaluación, en tanto que la segunda tabla (en fondo celeste) muestra los rangos en que se encuentran los parámetros de evaluación en una operación normal.

Las variables asociadas a la evaluación de las principales componentes unitarias de las tecnologías pueden resumirse de acuerdo al siguiente detalle.

Circuito líquido

8.2.1 Tratamiento primario

Sedimentación primaria o sedimentación primaria químicamente asistida (CEPT)

	Sedimentador 1	Sedimentador 2	Sedimentador 3
Caudal medio PTAS unitario (m ³ /día)			
Caudal máximo horario unitario (m ³ /día)			
Área unitaria (m ²)			
Tasa hidráulica media (m ³ /m ² /día)			
Tasa hidráulica máxima (m ³ /m ² /día)			
Concentración sólidos totales (mg/l)			
Dosificación precipitante (mg/l)			

Valores normales de diseño	Tasa hidráulica media (m ³ /m ² /día)	Tasa hidráulica máxima (m ³ /m ² /día)
Sedimentación primaria	28	55

El algoritmo de evaluación es el siguiente:

1. Los parámetros de evaluación son la tasa hidráulica media y máxima (segunda tabla).
2. Para obtener la tasa hidráulica media se debe dividir el caudal medio diario que entra a cada sedimentador por el área de la componente (primera tabla sombreada en verde pálido).
3. Se debe verificar entonces si el valor obtenido (primera tabla sombreada en celeste) es cercano al señalado en la tabla referencial.
4. Se repite el mismo algoritmo con el caudal máximo horario y se obtiene la tasa hidráulica máxima.

8.2.2 Tratamiento secundario

8.2.2.1 Lodos activados

- Reactores biológicos

	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Reactor 4
Volumen (m ³)				
Carga orgánica afluente (kgDBO/día)				
SSLM (kg/m ³)				
Tiempo retención celular, θ_c (días)				
IVL (ml/g) calculable				
F/M (kgDBO/m ³ /día)				
Producción lodos (kg/kgDBO) (kg/día)				
O.D. en el tanque de aireación (mg/l)				

θ_c días	kgLodo/kgDBOaf	
	20°C	10°C
3	0,969	1,017
5	0,878	0,929
10	0,763	0,808
15	0,708	0,746
20	0,676	0,708
25	0,654	0,682
30	0,639	0,664

Valores de diseño	θ_c (días)	IVL (ml/g)	SSTLM (mg/l)
Aireación extendida	20 - 30	50 - 150	3.000 - 6.000
Lodo activado a media carga	10 - 20	50 - 150	2.000 - 4.500

Oxígeno disuelto en el tanque de aireación	
Valor leído	Verificaciones.
OD > 1 mg/l.	Presencia de burbujas finas con distribución uniforme. Menos del 25% de la superficie con espuma delgada (de espesor menor que 8 mm) siempre y cuando esta no sea blanca espesa, cafésosa, oscura con aspecto grasiento o espumoso o muy negra. pH neutro entre 6 y 8. Tiempo de retención celular y SSTLM dentro de los valores de diseño.
1 > OD > 0,5 mg/l.	Burbujas gruesas y no uniformemente distribuidas. Más del 25% de la superficie con espuma delgada (de espesor menor que 8 mm) siempre y cuando esta no sea blanca espesa, cafésosa, oscura con aspecto grasiento o espumoso o muy negra. Tiempo de retención celular y SSTLM dentro de los valores de diseño
OD < 0,5 mg/l	Presencia de espumas extrañas. Tiempo de retención celular y SSTLM fuera de los valores de diseño

- **Sedimentación secundaria**

	Sedimenta- dor 1	Sedimenta- dor 2	Sedimenta- dor 3
Caudal medio PTAS unitario (m ³ /día)			
Caudal máximo horario unitario (m ³ /día)			
Área unitaria (m ²)			
Tasa hidráulica media (m ³ /m ² /día)			
Tasa hidráulica máxima (m ³ /m ² /día)			
Concentración sólidos totales (mg/l)			

Valores normales de diseño	Tasa hidráulica máxima (m ³ /m ² /día)
Sedimentación secundaria	< 0,95 *

* Valor 0,95 corresponde al criterio ATV [500/(IVL*SSTLM)]

8.2.2.2 Biofiltros

Caudal medio (m ³ /día)	
Carga orgánica (kgDBO/día)	
Área horizontal biofiltro (m ²)	
Carga hidráulica (m ³ /m ² /día)	
Carga orgánica volumétrica (kgDBO/m ³ /día)	

Proceso	Carga hidráulica $m^3/m^2/d$ (1)	Carga org. volumétrica $kg/m^3/día$	Recirculación Qr/Q
Baja tasa	1,0 - 4,0	0,08 - 0,40	0
Media tasa	3,5 - 9,5	0,24 - 0,48	0 - 1
Alta tasa	9,5 - 38,0	0,96 - 0,48	1 - 2
Superalta tasa	12,0 - 85,0	0,48 - 1,60	1 - 2

(1) La unidad "m²" se refiere al área horizontal del biofiltro y no al área efectiva del medio de soporte.

8.2.2.3 Biodiscos

Caudal medio ($m^3/día$)	
Carga orgánica ($kgDBO/día$)	
Área efectiva medio soporte (m^2)	
Temperatura agua servida	
Tasa hidráulica superficial [$m^3/m^2/día$]	
Tasa carga orgánica superficial [$gDBO/m^2/día$]	

Ítem	
Tasa superficial [$m^3/m^2/d$]	0,08 - 0,16
Tasa carga orgánica [$grDBO_{soluble}/m^2/día$] (Temp > 13 °C)	3,7 - 9,8
[$grDBO_{total}/m^2/día$] (Temp > 13 °C)	9,8 - 17,2
Máxima carga orgánica primera etapa [$grDBO_{soluble}/m^2/día$] (Temp > 13 °C)	19,6 - 29,4
[$grDBO_{total}/m^2/día$] (Temp > 13 °C)	39,2 - 58,8
Tiempo de retención hidráulico [hr]	0,7 - 1,5

La DBO soluble se mide filtrando previamente el agua para remover los sólidos suspendidos.

La unidad "m²" consignada en los distintos parámetros se refiere al área efectiva de medio de soporte.

8.2.2.4 Lombrifiltros

Caudal medio (m ³ /día)	
Carga orgánica (kgDBO/día)	
Área lombrifiltro (m ²)	
Tasa superficial [m ³ /m ² /día]	
Tasa carga [kgDBO/m ² /día]	

Variable	
Tasa superficial [m ³ /m ² /día]	0,5 - 0,7
Tasa carga [kgDBO/m ² /día]	0,15 - 0,25

8.2.2.5 Lagunas aireadas

Caudal medio (m ³ /día)				
Carga orgánica (kgDBO/día)				
Requerimientos oxígeno				
Cond standard (kgO ₂ /h)				
Cond campo (kgO ₂ /h)				
	TREN 1		TREN 2	
	L aireada M completa	L sedim. Parc aireada	L aireada M completa	L sedim. Parc aireada
Volumen (m ³)				
Tiempo de retención hidráulico (d)				
Número de aireadores				
Potencia unitaria (kw)				
Potencia total aireadores (kw)				
Densidad de energía (w/m ³)				

Período retención (día)	
laguna aireada a mezcla completa	3 - 5
laguna sedimentación parcialmente aireada	1
Requerimientos oxígeno (kgO ₂ /kgDBO)	1,25
Transferencia aireador (kgO ₂ /kWH)	
Nuevo	1,5
Usado	1,0
Densidad de energía (W/m ³)	
laguna aireada a mezcla completa	5 - 7
laguna sedimentación parcialmente aireada	1 - 2

8.2.2.6 Lagunas facultativas

Caudal medio (m ³ /día)				
Carga orgánica (kgDBO/día)				
Temp media mensual agua en laguna				
Mes más frío				
Mes más cálido				
	Tren 1		Tren 2	
	Lag Facult 1	Lag Facult 2	Lag Facult 1	Lag Facult 2
Área superficial (ha)				
Tasa carga superficial (kgDBO/ha/día)				
Volumen (m ³)				
Tiempo de retención hidráulico (día)				
Tasa carga superficial (kgDBO/ha/día)	TCS < COM_{AD} = 357,4 x 1,085^(t-20)			

8.2.3 Desinfección

	Cámara contacto
Caudal medio total (m ³ /día)	
Volumen cámara contacto (m ³)	
Tiempo de contacto a caudal medio (min)	
Dosificación (cloro activo) desinfección (mg/l)	
Dosis lámparas UV (mW/cm ²)	
Reactivo decoloración	
Dosificación decoloración (mg/l)	
Concentración cloro residual (mg/l)	

Tecnología	Dosificación cloro activo
Lodos activados (mg/l)	4 - 6
Lagunas aireadas multicelulares (mg/l)	5 - 7
Lagunas facultativas (mg/l)	5 - 8
Primario más desinfección o CEPT (mg/l)	10 - 12

Condición	Periodo Retención (min)
Caudal medio	30
Caudal máximo horario	15 - 20

Línea de lodos

8.2.4 Espesamiento

	Espesador 1	Espesador 2
Carga orgánica (kgDBO/día)		
Área unitaria (m ²)		
Tasa carga orgánica (kgDBO/m ² /día)		
Humedad lodo entrada (%)		
Concentración sólidos lodo entrada (mg/l)		
Humedad lodo salida (%)		
Concentración sólidos lodo salida (mg/l)		

Valores normales de diseño	Tasa carga orgánica (kgDBO/m ² /día)
Espesamiento primario	100
Espesamiento secundario	30

8.2.5 Digestión aeróbica

Volumen (m ³)	
Caudal lodos entrada (m ³ /día)	
Período retención (día)	
Edad del lodo (día)	
Potencia total aireadores (kW)	

8.2.6 Deshidratación de lodos

8.2.6.1 Deshidratación mecanizada

	Deshidratación mecanizada
Caudal lodos a deshidratación (m ³ /h)	
Contenido de humedad (%)	
Carga de sólidos a deshidratación (kgSSTm ³ /h)	
Dosificación polímero (g/kgLodo)	
Humedad lodos deshidratados (%)	
Caudal lodos deshidratados (m ³ /h)	
Carga de sólidos deshidratados (kgSST/h)	
Dosificación de cal (kg cal/kg lodos deshidratados)	

Carga de sólidos a deshidratación (kgSST/h)	Según catálogo equipo
---	-----------------------

Capacidad referencial filtro prensa

Volumen	pie ³	0,5	1	2	3	5
Capacidad	kg/ciclo	14	28	57	85	142
Duración ciclo	h/ciclo	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Volumen por placa	pie ³ /placa	0,194	0,194	0,194	0,194	0,194
Nº requerido placas		3	6	11	16	26
Carga sólidos	kg/h	9	19	38	57	94
Tasa hidráulica	m ³ /h	0,4	0,8	1,5	2,3	3,8

Capacidad referencial filtro banda

Ancho	Carga sólidos	Potencia
banda	kgLodo/h	kW
0,5	125	4,1
1,0	250	5,6
1,5	375	6,2
2,0	499	7,7

Capacidad referencial centrífuga

Caudal	Potencia
m ³ /h	kW
3,0	8,0
9,0	14,0
14,0	19,0

8.2.6.2 Lechos de secado

	Lecho de secado
Caudal lodos a deshidratación (m ³ /h)	
Carga de sólidos (kgSST/día)	
Área total deshidratación (m ²)	
Tiempo de deshidratación (día)	
Verano	
Resto del año	
Humedad lodos deshidratados (%)	

Tiempo deshidratación (día)	
Verano	20 - 28
Resto del año	28 - 35
Carga unitaria aplicada, CUA (kg SST/m ²)	50 < CUA < 125

(*). Zona norte y central del país. Zona sur requerirá mayor tiempo de deshidratación y techado de los lechos.

8.3 Información complementaria para el diagnóstico cuantitativo plantas de tratamiento de aguas servidas. Situaciones excepcionales en la operación

8.3.1 Parámetros complementarios utilizados en el control operativo de las PTAS

8.3.1.1 Generalidades

A objeto de poder efectuar un diagnóstico cuantitativo adecuado de una planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS), es importante poder visualizar las principales características asociadas a la dinámica de la misma.

En general, se puede establecer que la dinámica del tratamiento de las aguas residuales tiene una inercia que permite que cuando el sistema sufre una perturbación, hay un tiempo de retardo en manifestarse en la calidad del efluente. Así por ejemplo, en el caso de una PTAS en base a lodos activados, algunos eventos como descarga de residuos tóxicos, sobrecarga orgánica, déficit de nutrientes, etc., se reflejan primero en el tanque de aireación (fundamentalmente a nivel de la biomasa), en la sedimentación secundaria y al final en el efluente.

Desde ese punto de vista, los resultados de los monitoreos que exige la norma son periódicos, transcurriendo un intervalo de tiempo entre campañas durante el cual pueden ocurrir eventos que atenten contra la integridad de la planta. De hecho, las condiciones de entorno a las cuales son sometidos los microorganismos (variaciones climáticas, de carga orgánica, problemas de equipos de aireación, etc.) pueden afectar en forma drástica el funcionamiento del sistema y abrir un espacio de vulnerabilidad no despreciable en cuanto al conocimiento del estado de la planta si se toma en cuenta la periodicidad mencionada. Adicionalmente, la información que se obtiene a partir del monitoreo exigido en el efluente (DBO, SST y otros) exige de tiempo para la obtención de los resultados (p. ej. la DBO que requiere de 5 días para obtener el valor), y en dicho periodo los efectos de una perturbación exógena al sistema pueden generar consecuencias en la biomasa que es la que realiza la depuración.

Teniendo presente lo anterior, la evaluación cuantitativa debe considerar parámetros adicionales o complementarios que permitan visualizar un comportamiento anómalo anterior y el estado actual del sistema de tratamiento, así como anticipar probables daños o deterioros que con posterioridad se reflejen en el efluente. Dichos parámetros son en general registrados prácticamente en forma diaria por los encargados de la operación de las PTAS. Así por ejemplo, en el caso de las PTAS en base a lodos activados, los parámetros complementarios corresponden a oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales y volátiles e índice volumétrico de lodos en el tanque de aireación.

En consecuencia, tales parámetros de interés (p. ej. SST, SSV, IVL y oxígeno disuelto en el tanque de aireación) son necesarios desde el punto de vista de la calidad de los pro-

cesos para garantizar un efluente de calidad conforme la norma, evaluar las condiciones operativas del sistema y visualizar medidas para resolver una situación anómala.

Adicionalmente, dichos parámetros permiten evaluar la consistencia y representatividad de los parámetros de control que la empresa realiza, en consideración a que los niveles de depuración que alcanza una planta están en estricta relación con la cantidad y calidad de la biomasa. Así por ejemplo, para depurar una carga determinada de contaminación orgánica se requiere una población determinada de microorganismos y que estos sean del tipo floculentos y no filamentosos, lo que se puede evaluar a través de la obtención de los SST, SSV e IVL.

También se necesita saber los niveles de actividad que alcanza la población de microorganismos, lo que se obtiene con los niveles de oxígeno disuelto (cantidad de oxígeno disuelto en aguas residuales o cursos de agua, generalmente expresado en mg/l e indica la disponibilidad o no de oxígeno para llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales por vía aeróbica) y realizando monitoreos de OUR (*Oxygen Uptake Rate*) o tasa de consumo de oxígeno.

La evaluación de dicha información permite establecer tanto la consistencia de los resultados obtenidos para los parámetros de control como explorar posibles anomalías en aquellos casos que no exista coherencia.

8.3.1.2 Parámetros operacionales de control

A continuación, se presenta un análisis somero de los parámetros operacionales de control de mayor interés en las alternativas de tratamiento mayormente aplicadas en el país.

- **Lagunas facultativas**

La capacidad de manejo que se tiene en estos sistemas es muy reducida ya que el tratamiento de esta planta está condicionado básicamente por el comportamiento natural de las poblaciones microbiológicas y bacteriológicas al interior del proceso. En todo caso, la evaluación del registro de parámetros como pH, temperatura y oxígeno disuelto permite evaluar el comportamiento y tendencia del proceso de tratamiento.

- **Lagunas aireadas**

La capacidad de manejo que se tiene en estos sistemas está condicionada básicamente por el suministro de oxígeno a objeto de entregar condiciones adecuadas para la población microbiológica y bacteriológica actuante al interior del proceso. La evaluación del registro de parámetros como oxígeno disuelto, pH y temperatura permite evaluar el comportamiento y tendencia del proceso de tratamiento.

- **Lodos activados**

El proceso de lodos activados debe generar condiciones favorables para el cultivo y desarrollo de una colonia bacteriana dispersa en forma de flóculos al interior de un tanque aireado que será alimentado en forma continua por aguas residuales que en la mayor parte de los casos tienen un alto contenido de materia orgánica.

La agitación del tanque tiene por objeto homogenizar la mezcla constituida por la colonia bacteriana y el agua residual, evitando sedimentos y zonas de cortocircuito. La aireación tiene por objetivo abastecer de oxígeno a las bacterias depuradoras, ya que su metabolismo lo requiere para llevar a cabo la degradación biológica de la materia orgánica. Ello requiere de un tiempo mínimo de permanencia del agua residual para que se lleve a cabo el proceso bioquímico en que participan los microorganismos, la materia orgánica y el oxígeno.

El líquido residual que contiene además una parte importante de bacterias es enviado a la componente de sedimentación secundaria, la que tiene por objeto separar el agua clarificada de los lodos. Estos últimos se recirculan al tanque de aireación para mantener una concentración adecuada de bacterias en el mismo. El excedente de lodos es evacuado desde el fondo de la sedimentación secundaria.

Los parámetros de control son el **oxígeno disuelto, sólidos suspendidos del licor mezclado, IVL y exceso de lodos**.

- **Cultivo fijo (biomasa soportada)**

Estos procesos se caracterizan por utilizar un medio de soporte de la biomasa, la cual se mantiene fija. Existen dos variantes principales, la primera de las cuales son los **filtros percoladores (biofiltros)**, los que contienen un relleno cubierto de limo biológico a través del cual el agua residual, distribuida en forma de pulverización uniforme mediante un distribuidor rotativo de flujo, percola en forma descendente y el efluente se recoge en el fondo.

La otra modalidad de tratamiento por cultivo fijo se denomina **biodiscos o contactores biológicos rotativos (RBC)**, donde el agua pasa horizontalmente a través de un tanque en el cual giran unos ejes con discos de gran diámetro, los que permanecen semisumergidos, suficientemente separados, para permitir el crecimiento de biomasa sobre su superficie.

Los parámetros de control son el oxígeno disuelto y el espesor del limo o alternatively la concentración de SST en la película biológica.

A objeto de visualizar los rangos normales de los parámetros operacionales, se presenta la siguiente tabla resumen.

TABLA N° 98
Rangos de parámetros operacionales

	Espesor limo (mm)	SST	SSV	IVL	OD (mg/l)			
Lagunas facultativas					1,5 - 2			
Lagunas aireadas								
Lodos activados								
Aireación extendida						2500-3500	1800-2800	80 - 150
Convencional						3500-5000	2700-4200	80 - 150
Alta tasa						5000-6000	3800-5000	80 - 150
Filtros percoladores	1 - 3							

8.3.2 Situaciones excepcionales en la operación de las PTAS

Frente a eventuales problemas operacionales de las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) que consideren el incumplimiento parcial o total de la normativa ambiental aplicable por un periodo de tiempo acotado, la evaluación deberá comprender los siguientes alcances.

- a) Ante **situaciones programadas de mantenimiento o mejoramientos de la PTAS**, se deberá revisar al menos lo siguiente:
 - Alcances técnicos y objetivos de situaciones programadas (obras de mantenimiento, mejora del sistema, etc.) y su efecto en la operación normal del sistema.
 - Programación establecida para tales efectos (inicio y final de las obras, fecha de restablecimiento del servicio de tratamiento).
 - Impacto en la calidad del efluente referida al nivel de incumplimiento de la normativa.
 - Eventuales medidas técnicas mitigatorias.

- b) Ante **situaciones de emergencia**, se deberá revisar lo siguiente:
 - Alcances técnicos y objetivos de situaciones de emergencia, especialmente en lo referido a:
 - Causa y descripción del problema.
 - Impacto en la calidad del efluente y nivel de incumplimiento de la normativa.
 - Eventuales medidas técnicas mitigatorias.

- Carta Gantt de las obras o acciones requeridas para que el sistema de tratamiento cumpla cabalmente con la normativa ambiental aplicable.
- c) Ante **problemas operacionales en la PTAS**, se deberá verificar que los controles del efluente muestran cumplimiento de la normativa vigente durante todo el período que dure el problema.
- d) A objeto de diagnosticar y dimensionar el **uso operacional del by-pass en las PTAS**, se deberá evaluar el registro continuo de las mediciones de caudal.

Se debe destacar que el uso operacional del by-pass en las PTAS debe ocurrir fundamentalmente ante eventos de lluvia en las localidades que hagan que el caudal de aguas servidas crudas que llega a la PTAS supere puntualmente el caudal máximo horario de diseño con el que fue diseñado y construido (final del período de previsión) o supere durante un cierto período de tiempo el caudal medio de diseño con la eventual probabilidad de generar un *washout* o lavado de las componentes unitarias del tratamiento biológico.

Capítulo 9



Caleta Tortel, Región de Aysén

Diagnóstico de plantas de tratamiento de aguas servidas

9 Diagnóstico de plantas de tratamiento de aguas servidas

9.1 Introducción

De acuerdo a lo señalado en los objetivos del estudio, uno de los aspectos a considerar consistió en definir en conjunto con la Unidad de Saneamiento Sanitario una muestra representativa de cinco PTAS a partir de los antecedentes del Catastro Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas de la SUBDERE, para evaluar in situ las condiciones reales de su infraestructura sanitaria.

Las PTAS seleccionadas tuvieron por objetivo contemplar las diferentes tecnologías mayormente emplazadas en el sector rural y quedaron configuradas en definitiva del siguiente modo:

TABLA N° 99
PTAS a evaluar

PTAS Servicio APR	Tecnología	Región	Comuna
Marquesa Nueva Talcuna	Lodos activados	Coquimbo	Vicuña
San Enrique María Pinto	Biodisco	Metropolitana	María Pinto
Gultro-Yungay	Cultivo mixto	Libertador Bernardo O'Higgins	Olivar
Pataguas Cerro	Lodos activados	Libertador Bernardo O'Higgins	Pichidegua
Quiñipeumo	Lombrifiltro	Maule	Talca

La muestra se basó en un levantamiento básico de las instalaciones y de su estado de operación y en una campaña de monitoreo del afluente y efluente de la planta que contempló la medición de parámetros operacionales críticos y de control que permitan evaluar el cumplimiento de la normativa de emisión vigente.

En lo referido al funcionamiento de las PTAS, se necesitaba contar adicionalmente con los siguientes antecedentes:

- Características técnicas de las PTAS.
- Características físicas de las componentes unitarias (fundamentalmente dimensiones).
- Bases de cálculo con que se diseñaron las PTAS.
- Catastro de todos los equipos (capacidad, potencia, etc.).
- Mediciones disponibles de las variables operacionales asociadas al tipo de tratamiento específico.

- Comportamiento histórico de la PTAS en términos de caudal y parámetros contaminantes de interés tanto en el afluente como efluente.

En todos los casos se apreció falencia de un banco de datos con los antecedentes de cada PTAS y la recopilación de los mismos por parte de las instituciones encargadas (cooperativa, comité APR, o municipalidad) requirió de un tiempo apreciable.

Así, de los tres grupos de antecedentes requeridos, la mayoría de las PTAS seleccionadas entregaron información muy básica del primero, algunas con información básica del segundo (equipos) y las menos con información mínima del tercero (variables operacionales).

Este es un aspecto de la mayor importancia y las instituciones encargadas deberán prioritariamente abrir un banco de datos que permita contar con toda la información histórica y estadística de las PTAS a su cargo.

9.2 Campañas de aforo y caracterización de PTAS

Por otro lado, y conforme lo señalado en los Términos de Referencia y la Propuesta Técnica de la consultora, los antecedentes arriba mencionados fueron complementados con una campaña de aforo y caracterización de las aguas servidas crudas y tratadas en las PTAS.

Las campañas de aforo y caracterización comprendieron un tiempo de un día, en que se midieron caudal, pH y temperatura en forma continua y los parámetros aceites y grasas, DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, nitrógeno Kjeldahl total y fósforo total que ingresan (afluente) y salen del sistema (efluente) a través de la respectiva muestra compuesta en base a muestras puntuales cada hora en proporción al caudal durante 24 horas.

El caudal medio medido en las campañas correspondió a la suma de los caudales de aguas servidas domésticas y aguas de infiltración (de acuerdo a lo reportado por el comité de APR no hay RILES). Asimismo, el caudal máximo registrado correspondió a la suma de los caudales máximo de aguas servidas domésticas y aguas de infiltración, lo que permite generar la siguiente ecuación.

$$Q_{medafor} = Q_{medTot} = Q_{medAS} + Q_{inf}$$

De las cinco PTAS seleccionadas, solamente se pudo realizar la campaña en cuatro de ellas y que son las siguientes:

TABLA N° 100
PTAS evaluadas

PTAS Servicio APR	Tecnología
Marquesa Nueva Talcuna	Lodos activados
Gultro-Yungay	Cultivo mixto
Pataguas Cerro	Lodos activados
Quiñipeumo	Lombrifiltro

En cuanto a la PTAS San Enrique María Pinto, administrada por la municipalidad, cuenta con tecnología en base a biodiscos, y se encontraba detenida por falta de repuestos mínimos y básicos por más de un mes, lo que imposibilitó efectuar la campaña. Al momento de la visita, el agua servida era derivada sin tratamiento al canal de riego que constituye su cuerpo receptor.

Los resultados obtenidos en las campañas realizadas a las PTAS se encuentran detallados en el Anexo N° 11 (versión digital) y el resumen de las mismas obedece al siguiente detalle:

PTAS Servicio APR	Tecnología	Región	Comuna
Marquesa nueva talcuna	Lodos activados	Coquimbo	Vicuña

Esta PTAS es manejada por una cooperativa y se encuentra en excelente estado operacional y de mantención, debiendo destacar que cuenta con operadores que sin ser especializados, controlan el proceso (por percepción) para dejarlo exento de olores y con un efluente visualmente aceptable sin mediar análisis técnico de por medio pues no cuentan con capacitación específica ni registros de calidad de las aguas servidas y tratadas.

El efluente cumple con los parámetros exigidos por la normativa pertinente, con excepción del nitrógeno Kjeldahl (no alcanza el grado de nitrificación requerido) y la calidad bacteriológica, debido probablemente a una dosificación baja de cloro activo.

PTAS Servicio APR	Tecnología	Región	Comuna
Gultro-Yungay	Cultivo mixto	L. Bernardo O'Higgins	Oliver

Esta PTAS se encuentra en buen estado operacional y de mantención, y cuenta con operadores que sin ser especializados, controlan el proceso de tratamiento para dejarlo exento de olores y con un efluente visualmente aceptable sin mediar análisis técnico de por medio pues no cuentan con capacitación específica ni registros de calidad de las aguas servidas y tratadas.

El efluente cumple con los parámetros exigidos por la normativa vigente para la descarga de su efluente, con excepción del nitrógeno Kjeldahl (no alcanza el grado de nitrificación requerido).

PTAS Servicio APR	Tecnología	Región	Comuna
Pataguas cerro	Lodos activados	L. Bernardo O'Higgins	Pichidegua

Esta PTAS es manejada por una cooperativa y se encuentra en excelente estado operacional y de mantención, debiendo destacar que cuenta con operadores que sin ser especializados, controlan el proceso de tratamiento para dejarlo exento de olores y con un efluente visualmente amigable sin mediar análisis técnico de por medio pues no cuentan con registros de calidad de las aguas servidas y tratadas.

El efluente cumple con los parámetros exigidos por la normativa vigente para la descarga de su efluente, con excepción de la DBO que muestra solamente un 35% de eficiencia de remoción, el nitrógeno Kjeldahl (no alcanza el grado de nitrificación requerido), los sólidos suspendidos (los que al mostrar un incremento al doble de la calidad del afluente hacen cuestionable la representatividad del resultado) y la calidad bacteriológica, debido probablemente a una dosificación baja de cloro activo.

Por otro lado, se detectaron diferencias significativas entre los caudales del efluente y afluente. Considerando que el caudal efluente prácticamente llega a duplicar el caudal afluente, se solicitó a la empresa encargada la explicación pertinente pero no se recibió respuesta hasta el presente.

PTAS Servicio APR	Tecnología	Región	Comuna
Quiñipeumo	Lombrifiltro	Región del Maule	Talca

Esta PTAS es manejada por la municipalidad y al momento de la visita no tenía operador encargado, encontrándose carente de un control operacional y de mantención.

De los seis distribuidores de agua del Lombrifiltro, dos estaban en buenas condiciones, dos estaban sin distribuidor con lo que el agua formaba pozas en su entorno y dos estaban fuera de uso.

Con ello, el efluente cumple con los parámetros exigidos por la normativa vigente para la descarga de su efluente, con excepción de la DBO que muestra un 50% de eficiencia de remoción, el nitrógeno Kjeldahl (no alcanza el grado de nitrificación requerido), los sólidos suspendidos y la calidad bacteriológica, debido a que el sistema de desinfección actúa ineficientemente por falta de control.

También se detectaron diferencias significativas entre los caudales del efluente y afluente. Considerando que el caudal efluente es prácticamente del orden de cinco veces el caudal afluente, se solicitó a la empresa encargada la explicación pertinente pero no se recibió respuesta hasta el presente.

9.3 Bases de cálculo generadas a partir de las campañas

Los resultados de las campañas de aforo y caracterización permitieron generar las correspondientes bases de cálculo. A objeto de poder contar con un marco referencial se presentan adicionalmente las bases de cálculo adoptadas en el diseño de las PTAS, cuyo detalle se presenta en el Anexo N° 11 del presente estudio (versión digital) y que pueden resumirse del siguiente modo:

TABLA N° 101
Bases de cálculo a partir de la campaña de aforo y caracterización

Campaña aforo y caracterización						
Localidad	Un.	Quiñipeu- mo	Marq. Nva Talcuna	Pataguas Cerro	Gultro- Yungay	Media Pond
N° Viviendas conectadas	N°	110	500	555		
densidad habitacional	hab/viv	4	3,8	4		
población actual conectada	hab	440	1.900	2.220	7.174	
Caudal medio diario	m ³ /día	21,8	88,4	129,5	421,8	
	l/s	0,25	1,02	1,50	4,88	
Dotación (con R = 0,8)	l/hab/día	61,9	58,2	72,9	73,5	70,5
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	216	279	267	266	266
	kg/día	4,7	24,7	34,6	112,2	
	g/hab/día	10,7	13,0	15,6	15,6	15,0
Demanda química de oxígeno	mg/l	443	668	518	560	562
	DQO/DBO	2,1	2,4	1,9	2,1	2,1
Fósforo total	mg/l	8,8	7,0	7,7	10,5	9,4
	PT/DBO	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
Nitrógeno Kjeldahl total	mg/l	69,8	88,7	82,2	81,9	82,5
	NKT/DBO	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31
Sólidos suspendidos totales	mg/l	142	274	210	267	253
	SST/DBO	0,66	0,98	0,79	1,00	0,95
Aceites y grasas	mg/l	40	68	76	66	67
	AyG/DBO	0,19	0,24	0,28	0,25	0,25

TABLA N° 102
Bases de cálculo del diseño

Localidad	Un	Quiñipeu- mo	Marq. Nva Talcuna	Pata- guas Cerro	Gultro- Yungay	Media Pond
N° viviendas conectadas densidad habitacional población de diseño	N° hab/viv hab	600	3.714	1.500	14.347	
Caudal medio diario de diseño	m ³ /día l/s	71,7 0,83	446,0 5,16	180,0 2,08	2.095,2 24,3	
Dotación (con R = 0,8)	l/hab/ día	149,4	150,1	150,0	182,5	173,2
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	291	250	270	131	163
	kg/día	20,9	111,5	48,6	273,9	
	g/hab/día	34,8	30,0	32,4	19,1	22,6

Al establecer un análisis comparativo entre las bases de cálculo adoptadas en el diseño y las obtenidas en la campaña de aforo y caracterización, se pueden apreciar diferencias en determinadas variables o parámetros, entre las que destacan las siguientes.

- La dotación media ponderada obtenida para las cuatro localidades (considerando un factor de recuperación $R = 0,8$ en ambos escenarios), resulta ser de 173 [l/hab/día] para las bases de diseño (variaciones entre 149 y 183 l/hab/día) y de 71 [l/hab/día] para las bases generadas a partir de las campañas en las cuatro localidades (variaciones entre 58 y 74 l/hab/día).
- La concentración media ponderada de la DBO obtenida para las cuatro localidades resulta ser de 163 [mg/l] para las bases de diseño (variaciones entre 131 y 291 mg/l) y de 266 [mg/l] para las bases generadas a partir de las campañas en las cuatro localidades (variaciones entre 216 y 279 mg/l).
- El consecuente aporte per cápita medio ponderado obtenido para las cuatro localidades resulta ser de 22,6 [g/hab/día] para las bases de diseño (variaciones entre 19,1 y 34,8 g/hab/día) y de 15 [g/hab/día] para las bases generadas a partir de las campañas en las 4 localidades (variaciones entre 10,7 y 15,6 g/hab/día).

Asumiendo que las poblaciones servidas señaladas al momento de las campañas son representativas de las actuales condiciones y considerando que los parámetros obedecen a la media ponderada de las cuatro localidades en proporción a la población de cada una de ellas, los resultados obtenidos en relación a los adoptados en las bases de cálculo del diseño permiten apreciar que la dotación encontrada es más baja, y la consecuente concentración de DBO más alta. Asimismo, el aporte per cápita (ApC) resulta ser también más bajo, con respecto a los valores del diseño también lo eran aunque en menor escala.

Lo anterior permite visualizar que los resultados obtenidos en la campaña tienen diferencias con las bases de cálculo adoptadas para el diseño.

Se considera la importancia de los resultados de la campaña, pues muestran las concentraciones reales de los parámetros de interés del afluente, en el caso del ejemplo debería repetirse la campaña para validar las concentraciones y caudales.

9.4 Diagnóstico de las plantas

Al momento en que se realizó la visita y la campaña de aforo y caracterización en cada una de las plantas seleccionadas, se procedió a aplicar la guía cualitativa detallada anteriormente, generando la correspondiente cartilla asociada a las respectivas obras civiles y equipos detallados, las que se presentan en el Anexo N° 11 del presente estudio (versión digital).

Capítulo 10



Cunco, Región de La Araucanía

Glosario de agua potable y aguas servidas y bibliografía

10 Glosario de agua potable y aguas servidas y bibliografía

10.1 Bibliografía

Metcalf & Eddy. "Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse", McGraw-Hill, Fourth Edition, New York, 2003.

Water Environment Federation. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants, Manual of Practice N°8. Alexandria, Va.; Am. Soc. Civ. Eng. Manual and Report on Engineering Practice N°76, New York.

U.S. Environmental Protection Agency (1979) Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal. EPA 625/1-79-011.

U.S. Environmental Protection Agency (1993) Standards for the use or disposal of sewage sludge. Code of Federal Regulations CFR 40, part 503.

Eckenfelder W. Wesley, Musterman Jack L., "Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater", Technomic Publishing co., Inc., 1995.

Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura, Serie de Informes Técnicos 778, Organización Mundial de la Salud, 1989.

Guidelines for Water Reuse. US Environmental Protection Agency, EPA/600/R-12/618 | September 2012.

Tecnologías de Tratamiento de bajo costo, Alem Pedro, AIDIS, Santiago de Chile, 1993

Lagunas de Estabilización: Teoría, Diseño y Mantenimiento, Yañez Fabián, Cuenca Ecuador, Junio 1993.

Tratamiento Biológico de Aguas Residuales, Ronzano E., Dapena J.L, PRIDESA, 1995.

The Design of Aerated Lagoon Systems for Optimum Performance, Rich L.G., "Clemson University, April 1991.

Water and Quality Treatment Fourth Edition 1990 AWWA – McGraw Hill.

Water and Wastewater Treatment J.E. Drinan, F.R. Spellmann Second Edition 2013 CRC.

Water Treatment Plant Design Second Edition 1990 AWWA – McGraw Hill.

Safe Use of Wastewater-Wastewater use in agricultural WHO-UNEP-FAO 2006.

Daly's Health Indicators A.H Javelaar, J.M.Melsen 2002 – WHO.

10.2 Glosario de agua potable y aguas servidas

A

Acuífero

Una capa en el suelo que es capaz de transportar un volumen significativo de agua subterránea. Es una formación geológica subterránea capaz de rendir cantidades utilizables de agua a un pozo o a un manantial. Es una formación geológica, o grupo de formaciones, o parte de una formación, capaz de acumular una significativa cantidad de agua subterránea, la cual puede brotar, o se puede extraer para consumo.

Agua ácida

Agua que contiene una cantidad de sustancias ácidas que hacen al pH estar por debajo de 7,0.

Agua blanda.

Cualquier agua que no contiene grandes concentraciones de minerales disueltos como calcio y magnesio.

Agua contaminada

La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua.

Agua dura

Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve malamente en las aguas duras.

Agua Potable

Agua que es segura para beber y para cocinar. Es aquella que por reunir los requisitos organolépticos (olor, sabor y percepción visual), físicos, químicos y microbiológicos, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

Agua salobre

Agua que no está contenida en la categoría de agua salada, ni en la categoría de agua dulce.

Esta agua está contenida entre las dos anteriores.

Agua subterránea

Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo, la que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.

Aguas Grises

Aguas residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales.

Aguas lluvias

Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

Aguas servidas

Aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

Aguas residuales domésticas

Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones.

Aguas residuales no domésticas

Son los residuos líquidos procedentes de una actividad comercial, industrial o de servicios y que en general, tienen características notablemente distintas a las domésticas.

Alcantarillado

Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o de las aguas lluvias.

Alcantarillado de aguas combinadas

Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.

Alcantarillado separado

Sistema constituido por un alcantarillado de aguas residuales y otro de aguas lluvias que recolectan en forma independiente en un mismo sector.

Aliviadero de Tormenta.

Estructura diseñada en colectores combinados, con el propósito de separar los cau-

dales que exceden la capacidad del sistema y conducirlos a un sistema de drenaje de agua lluvia.

C

Caracterización de las aguas

Determinación de la cantidad y características físicas, químicas y biológicas de las aguas.

Colector Principal o Matriz

Conducto cerrado circular, semicircular, rectangular, entre otros, sin conexiones domiciliarias directas que recibe los caudales de los tramos secundarios, siguiendo líneas directas de evacuación de un determinado sector.

Coliformes

Bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35° o 37° C (coliformes totales).

Coliformes Fecales

Bacterias aerobias gram-negativas, no formadoras de esporas, de forma bacilar y que, incubadas 44.5° C, fermentan la lactosa en un término de 48 horas, con producción de gas, pudiendo ser residentes del tracto digestivo humano y de animales de sangre caliente Coliformes fecales y E. coli son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales

Conexión domiciliaria

Tubería que transporta las aguas residuales y/o las aguas lluvias desde la caja domiciliaria hasta un colector secundario. Generalmente son de 150 mm de diámetro para vivienda unifamiliar

Consumo

Volumen de agua potable recibido por el usuario en un periodo determinado

Cuerpo receptor

Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final.

D

Déficit Hídrico

Diferencia acumulada entre evapotranspiración potencial y precipitación durante un período determinado, en el cual la precipitación es la menor de las dos variables

Densidad

El peso de una cierta cantidad de agua. Esta es usualmente expresada en kilogramos por metro cúbico.

Densidad de población

Número de personas que habitan dentro de un área bruta o neta determinada.

DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)

La cantidad de oxígeno (medido en el mg/l) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales.

DBO5: cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, incubada durante cinco días a 20 °C. reproduce el consumo de oxígeno en el medio natural.

DQO (Demanda Química de Oxígeno)

Cantidad de oxígeno (medido en mg/L) que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. En contraposición al BOD, con el DQO prácticamente todos los compuestos son oxidados.

Desalcalinización

Cualquier proceso que sirve para reducir la alcalinidad del agua.

Desalinización

La eliminación de la sal del agua del mar o de aguas salobres para producir agua potable, usando varias técnicas.

Desinfección

La descontaminación de fluidos y superficies. Para desinfectar un fluido o una superficie una variedad de técnicas están disponible, como desinfección por ozono. A menudo desinfección significa eliminación de la presencia de microorganismo con un biocida.

Desionización

Proceso que sirve para eliminar todas las sustancias ionizadas de una solución. Más comúnmente es un proceso de intercambio donde cationes y aniones son eliminados independientemente los unos de los otros.

Desmineralización

Procesos para eliminar minerales del agua, usualmente el término es restringido para procesos de intercambio de iones.

Desnitrificación

Eliminación de productos nitritos y nitratos del agua para producir una calidad que responda a los estándares comunes.

Dotación

Cantidad de agua promedio diaria por habitante que suministra el sistema de acueducto, expresada en litros por habitante por día.

E

Emisario final

Colectores cerrados que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, sanitarias o combinadas de una localidad hasta el sitio de vertimiento o a las plantas de tratamiento de aguas residuales. En caso de aguas lluvias pueden ser colectores a cielo abierto

Energía hidráulica.

Energía originada mediante turbinas por el aprovechamiento de la presión que se produce en un salto de agua por la diferencia de alturas. Fuerza viva de una corriente o de una caída de agua que se aprovecha en forma de energía mecánica para mover maquinarias o producir energía eléctrica.

Escorrentía

Parte del agua de precipitación que discurre por la superficie de la tierra hacia corrientes u otras aguas superficiales. Agua que fluye directamente desde la superficie del suelo a las corrientes, ríos y lagos.

Escherichia Coli (E. coli)

Bacteria coliforme que está a menudo asociada con el hombre y desechos a animales y es encontrada en el intestino. Es usada por departamentos de salud y laboratorios privados para medir la calidad de las aguas.

Estación de bombeo (o Planta Elevadora) de aguas residuales

Componente de un sistema de alcantarillado sanitario o combinado utilizado para evacuar por bombeo las aguas residuales de las zonas bajas de una población. Lo anterior puede también lograrse con estaciones elevadoras de aguas residuales. Una definición similar es aplicable a estaciones de bombeo de aguas lluvias.

Eutrófico

Referente al agua que está enriquecida en nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

Eutrofización

Enriquecimiento del agua, la cual causa un crecimiento excesivo de plantas acuáticas e incrementan la actividad de microorganismos anaeróbicos. Como resultado los niveles de oxígenos disminuyen rápidamente y el agua se asfixia, haciendo la vida imposible para los organismos acuáticos aeróbicos.

Evaporación

El proceso de pasar el agua de forma líquida a gaseosa.

Evapotranspiración

Pérdida de agua del suelo a través de la vaporación, por vaporación directa y por la transpiración de las plantas.

F

Filtración

Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que solo permite pasar al líquido a través de él.

H

Hidráulica

Rama de la mecánica de fluidos que estudia el flujo de agua (u otros líquidos) en conductos y canales abiertos. Ciencia que estudia la ingeniería del comportamiento de los líquidos con respecto a la presión y al flujo de los mismos

Hidrología

Es la ciencia de la naturaleza que estudia el agua dentro del planeta Tierra, tanto en los aspectos de ocurrencia como acumulación y circulación desde el punto de vista cualitativo, cuantitativo y estadístico. También se le llama Hidrografía.

Hidrografía

Ciencia que trata de la descripción y medición de masas de agua con lámina libre, por ejemplo océanos, mares, corrientes, ríos, lagos, embalses, etc. En particular, cartografía de masas de agua para fines de navegación

Hidrólisis

La descomposición de compuestos orgánicos por la interacción del agua.

Humedad

Un área que está cubierta por agua superficial o subterránea, con vegetación adaptada para vivir bajo esta clase de condiciones del suelo.

Humedad atmosférica

Contenido de vapor de agua en el aire. La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y varía según las condiciones climatológicas, está presente en la troposfera (desde el nivel del mar hasta una altura media de 11 km) y varía de 0 a 25 % en volumen

Hongos

Organismos del Reino Fungi. Considerados antes como vegetales, en la actualidad (sistema de los cinco reinos) se tratan como un reino aparte, el de los hongos. Son organismos eucarióticos no fotosintéticos, heterótrofos (saprófitos o parásitos), unicelulares o pluricelulares. Estos últimos están formados por un micelio, que es un conjunto de hifas o filamentos celulares tabicados o no.

I

Infiltración

Penetración del agua en un medio, por ejemplo el suelo

L

Lago

Masa aislada y permanente de agua, de considerable volumen con comunicación al mar o sin ella. Masa de agua continental de considerable tamaño

M

Manto freático

Cuerpo de agua de infiltración en el subsuelo que se encuentra ubicado a poca profundidad, generalmente a unos pocos metros de la superficie. También llamado Acuífero.

N

No potable

Agua que es insegura o desagradable para beber debido a su contenido en contaminantes, minerales o a los agentes infecciosos.

Nitratos

Los nitratos constituyen una tercera etapa del ciclo del Nitrógeno, al que se llega la acción de bacterias aerobias, los nitrosomas y nitrobacter. Se consideran sales nocivas para la salud por la capacidad del organismo para transformarlo en nitrito

Nivel freático

Nivel del agua subterránea en un acuífero no confinado, es decir, aquel que está en contacto con la presión atmosférica.

Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.

Superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aeración de la de saturación

O

Olor del agua

El olor en el agua es causado por la presencia de compuestos volátiles disueltos. Una buena parte de estos compuestos tienen un origen biológico, al formarse a causa de la descomposición de biomasa, pero también existen compuestos naturales volátiles (H₂S, NH₃) que se generan gracias a procesos de reducción

Ósmosis

Moléculas de agua pasan a través de membranas de forma natural, de una parte con una elevada concentración de impurezas disueltas.

P

Permeabilidad

La habilidad de un fluido para pasar a través de un medio bajo presión.

pH

El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrogeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

Planta de tratamiento de Aguas Servidas (PTAS)

Una estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente.

Población servida

Número de habitantes que son servidos por un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales

Política Hídrica

Conjunto de normas legislativas y legales, decisiones gubernamentales, políticas de gestión y respuestas culturales para la conservación cuantitativa y cualitativa de los recursos hídricos de una región, cuenca o país

Precipitación

Fenómeno meteorológico por el cual el vapor de agua se condensa y llega al suelo en forma de nieve, granizo, rocío y principalmente agua lluvia. Elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo. Cantidad de agua caída sobre una unidad de superficie horizontal por unidad de tiempo.

Presión atmosférica

Fuerza ejercida por el peso de la capa de aire o atmósfera que rodea la tierra. La columna de aire oprime, pues, todos los objetos de la tierra, pesa sobre nosotros y sobre el suelo. La presión disminuye según aumenta la elevación sobre el nivel del mar. Esta presión se mide con el barómetro

Presión de vapor

Presión ejercida por un vapor dentro de un espacio confinado. Es función de la temperatura.

Presión parcial del vapor de agua en la atmósfera

Protozoos

Nombre que se aplica a todos los organismos animales unicelulares, alguno de los cuales puede formar colonias. En la clasificación generalizada, los protozoos se incluyen en el reino Protista, junto con otros organismos unicelulares cuyo núcleo celular está rodeado de una membrana.

Q

Quebrada

Curso de agua que corre por las quebradas de las sierras, montañas o en tierra plana.

Cualquier agua que corre de un barranco a un río.

R

Recarga de acuíferos

Aporte de agua a los acuíferos. La recarga natural procede del agua de infiltración o agua superficial de las precipitaciones que se infiltra en el terreno, del agua de ríos y lagos, y en acuíferos litorales, incluso del agua del mar. Proceso por el cual se aporta

agua del exterior a la zona de saturación de un acuífero, bien directamente a la misma formación o indirectamente a través de otra formación

Recursos naturales

Son todos los elementos de orden natural que constituyen y potencian la riqueza de una nación; estos se dividen en renovables y no renovables. Se consideran como recursos aquellos elementos de la naturaleza que poseen la cualidad de satisfacer, directa o indirectamente, alguna de las necesidades de la población. El agua es un recurso natural renovable.

Red de Drenaje

Disposición de los cauces de drenaje, naturales o artificiales, de una zona

Red pública de alcantarillado

Conjunto de colectores domiciliarios y matrices que conforman el sistema de alcantarillado

S

Salinidad

Medida de la concentración de sales disueltas, principalmente cloruro de sodio, en agua salina y agua del mar. Medida de la concentración de sales minerales disueltas en el agua.

Salinización

Proceso paulatino de acumulación de sales en el suelo, directamente aportadas por las actividades del hombre y/o por afloramiento desde el subsuelo como resultado del riego artificial

Saneamiento

Se entiende por saneamiento básico y mejoramiento ambiental la ejecución de las obras de acueductos urbanos y rurales, alcantarillados, tratamiento de agua y manejo y disposición de residuos líquidos y sólidos.

Sedimentos

Suelo, arena, y minerales lavados desde el suelo hacia la tierra generalmente después de la lluvia. Material transportado por el agua desde su lugar de origen al de depósito. En los cursos de agua, son los materiales aluviales llevados en suspensión o como

arrastre de fondo. Material sólido orgánico o mineral que es transportado desde su lugar de origen por el aire, el agua o el hielo y que se deposita en la superficie de la tierra, ya sea sobre o bajo el nivel del mar.

Sedimentación, cuencas

Depósito de partículas previamente erosionadas y transportadas por los agentes geológicos externos desde una parte alta (generadora) a un área receptora o cuenca sedimentaria

Sistema de abastecimiento de agua

La colección, tratamiento, almacenaje, y distribución de un agua desde su fuente hasta los consumidores.

Sistema de aguas residuales

Todo el sistema de recolección de aguas residuales, tratamiento, y disposición.

Sistema de alcantarillado

Tuberías que colectan y transportan aguas residuales desde fuentes individuales hasta una alcantarilla mayor que la transportará a continuación hacia una planta de tratamiento.

Sólidos

En las aguas residuales se encuentran todo tipo de sólidos, distinguiéndose entre ellos orgánicos e inorgánicos. Los sólidos comúnmente se clasifican en suspendidos, disueltos y totales.

Sólidos Suspendidos

Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución.

Sólidos Disueltos

Materiales sólidos que se disuelven totalmente en agua y pueden ser eliminados por filtración.

Sólidos Totales

Todos los sólidos en el agua residual o aguas de deshecho, incluyendo sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

Suelo

Capa superior de la corteza terrestre que puede tener pocos milímetros o muchos metros y donde se desarrollan las raíces de las plantas, gracias al depósito de agua y alimentos. Se forma por el desgaste natural de las piedras y por la descomposición de restos orgánicos (Humus).

T

Tratamiento.

Proceso de transformación, destrucción o destoxificación de los residuos/desechos provenientes de diversos procesos de separación/concentración con el objeto de convertirlos en sustancias inocuas o menos tóxicas previo a su descarga en cuerpos receptores.

Tratamiento de Agua Potable

Cuando un proveedor de agua obtiene el agua no tratada de un río o embalse, regularmente el agua contiene suciedad y pequeños pedazos de hojas y otras materias orgánicas además de pequeñas cantidades de ciertos contaminantes

Tratamiento de Aguas Residuales

Conjunto de procesos, operaciones y obras que son necesarias para lograr la depuración de las aguas servidas (residuales, grises, negras), que pueden incluir, además de los procesos de tratamiento tradicionales, obras de conducción y estaciones de bombeo, lagunas de tratamiento y de compensación, entre otros

Tratamiento Aguas Residuales en Suelos

Es un método de disposición en el cual un residuo sólido o semisólido, que contiene sustancias contaminantes, es incorporado al suelo para que sea degradado por microorganismos

Turbidez o Turbiedad

Medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida.

V

Vapor

La fase gaseosa de una sustancia como el agua.

Vapor de agua

Agua en estado gaseoso, que se emplea para generar energía y en muchos procesos industriales. Esto hace que las técnicas de generación y uso del vapor de agua sean componentes importantes de la ingeniería tecnológica

Vaporización

Conversión de un líquido a vapor.

