

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE SISTEMAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS PARA LOCALIDADES RURALES DE LA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA. ZONAS COSTERAS Y ALTIPLÁNICAS.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ANDREA ALEJANDRA GARCÍA LASTRA

PROFESOR GUÍA:
JORGE CASTILLO GONZÁLEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARÍA PÍA MENA PATRI
ANA MARÍA SANCHA FERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2009

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL
POR: ANDREA GARCÍA L.
FECHA: 01/12/08
PROF. GUÍA: SR. JORGE CASTILLO G.

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE SISTEMAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS PARA LOCALIDADES RURALES DE LA
REGIÓN DE ANTOFAGASTA. ZONAS COSTERAS Y ALTIPLÁNICAS.**

El objetivo principal de este trabajo de título es definir alternativas de sistemas de tratamiento de aguas servidas para poblaciones rurales de la región de Antofagasta, de manera que las personas encargadas de escoger un sistema de tratamiento en la zona lo hagan lo suficientemente informados.

Para alcanzar el objetivo planteado se estudiaron las características de la región de Antofagasta y se escogieron 17 poblaciones rurales existentes en ella, las cuales se analizaron con el objeto de obtener las características principales de las localidades rurales de la zona. Luego se estudiaron los sistemas de tratamiento de aguas servidas más utilizados actualmente en este tipo de poblaciones y de ellos se escogieron las alternativas que más se adecúan a las características de la zona y de las poblaciones rurales presentes en ella. Posteriormente se evaluaron económicamente las alternativas escogidas y con ello se determinó la o las mejores alternativas para cada población.

Se plantearon tanto soluciones individuales como soluciones colectivas. Dentro de las soluciones individuales se consideró para el saneamiento la utilización de Unidad Sanitaria Seca y de Fosa Séptica. En las soluciones colectivas se consideró Alcantarillado Tradicional y Alcantarillado de Pequeño Diámetro para la recolección, Humedal Artificial y Sistemas de Infiltración en Suelo para el tratamiento y la infiltración en suelo o reutilización del efluente en riego.

El principal resultado del estudio es que, para poblaciones compuestas por menos de 160 viviendas y/o con una distancia entre viviendas mayor a 15 m, siempre las soluciones individuales son más convenientes que las colectivas. En cambio, para el resto de las poblaciones los resultados no son tan claros, por lo tanto no basta con considerar un indicador económico para definir la alternativa a utilizar, si no que es necesario también evaluar si la población tiene la capacidad de mantener y operar un sistema colectivo, si están dispuestos a pagar un poco más de tarifa y a cambio conseguir agua para riego o si están dispuestos a utilizar un sistema no convencional como la Unidad Sanitaria Seca a cambio de disminuir el consumo de agua.

Finalmente, la principal conclusión del trabajo de título es que siempre se debe considerar la opinión de la población beneficiada al decidir que alternativa utilizar, ya que ellos serán los que utilizarán, administrarán, operarán y mantendrán el sistema, y si no lo consideran como propio o se les presenta algún problema, dejen de utilizarlo y la inversión habrá sido en vano.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REGIÓN DE ANTOFAGASTA.....	3
2.1. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA	3
2.1.1. Provincia de Antofagasta.....	4
2.1.2. Provincia de El Loa.....	4
2.1.3. Provincia de Tocopilla	5
2.2. RELIEVE	5
2.2.1. Cordillera de los Andes	5
2.2.2. Depresión Intermedia	6
2.2.3. Cordillera de la Costa.....	6
2.2.4. Planicies Litorales.....	6
2.3. CLIMA	6
2.3.1. Clima Desértico Costero.....	7
2.3.2. Clima Desértico Normal.....	7
2.3.3. Clima Desértico Marginal de Altura	8
2.3.4. Clima Estepárico de Altura	8
2.4. HIDROGRAFÍA	8
3. POBLACIONES RURALES DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA	10
3.1. COMUNA DE TAL-TAL	12
3.1.1. Paposo.....	12
3.1.2. Caleta Cifuncho	13
3.2. COMUNA DE CALAMA	15
3.2.1. Ayquina.....	15
3.2.2. Turi.....	16

3.2.3. Cupo	17
3.2.4. Caspana	18
3.2.5. Toconce	19
3.2.6. Chunchuri Bajo	21
3.2.7. Yalquincha	22
3.3. COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA	23
3.3.1. Río Grande	23
3.3.2. Toconao	24
3.3.3. Camar	25
3.3.4. Peine	26
3.3.5. Socaire	27
3.4. COMUNA DE TOCOPILLA.....	27
3.4.1. Caleta Buena	27
3.4.2. Punta Arenas	29
3.4.3. Quillagua.....	30
4. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN BASE A SISTEMAS INDIVIDUALES	33
4.1. FOSAS SÉPTICAS	33
4.2. UNIDAD SANITARIA SECA (USS)	35
4.3. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN.....	37
4.3.1. Pozo Absorbente	37
4.3.2. Drenes de Infiltración.....	38
5. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN BASE A COLECTORES PÚBLICOS	41
5.1. SISTEMAS DE RECOLECCIÓN.....	41
5.1.1. Alcantarillado Tradicional	41

5.1.2. Alcantarillado de Pequeño Diámetro	42
5.2. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	44
5.2.1. Sistemas de Tratamiento del Tipo No Convencional	44
5.2.1.1. Lagunas de Estabilización	45
5.2.1.2. Humedales Artificiales	48
5.2.1.3. Lombrifiltración	53
5.2.1.4. Sistemas de Infiltración en Suelo.....	55
5.2.2. Sistemas de Tratamiento del Tipo Convencional.....	59
5.2.2.1. Biofiltros o Filtros Percoladores	59
5.2.2.2. Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios	63
5.2.2.3. Lodos Activados (Plantas Compactas)	65
5.2.2.4. Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	66
5.2.2.5. Lagunas Aireadas.....	68
5.2.3. Tratamientos Fisicoquímicos.....	71
5.3. DESINFECCIÓN DEL EFLUENTE	73
5.3.1. Desinfección con Cloro y sus Compuestos.....	75
5.4. DISPOSICIÓN O REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE	77
5.4.1. Reutilización en Riego.....	77
5.4.2. Disposición por Infiltración.....	77
5.4.3. Disposición en Cursos de Agua Superficiales.....	78
5.5. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS	79
5.5.1. Tratamiento.....	79
5.5.2. Disposición o Utilización de Lodos	81
6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAMENTE FACTIBLES.....	82
6.1. FACTORES A CONSIDERAR	82
6.1.1. Programa Nacional de Agua Potable Rural	82

6.1.2. Características Aguas Servidas	82
6.1.3. Características Región de Antofagasta.....	84
6.1.4. Características Poblaciones Rurales.....	84
6.2. ALTERNATIVAS ESCOGIDAS	85
6.2.1. Soluciones Individuales	85
6.2.2. Soluciones en Base a Colectores Públicos	85
7. VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS	89
7.1. CASETA SANITARIA	89
7.2. SOLUCIONES INDIVIDUALES	90
7.2.1. Fosa Séptica.....	90
7.2.2. Unidad Sanitaria Seca.....	91
7.2.3. Pozo Absorbente	92
7.2.4. Drenes de Infiltración.....	93
7.2.5. Interconexiones	94
7.3. SOLUCIONES EN BASE A COLECTORES PÚBLICOS.....	94
7.3.1. Sistemas de Recolección	94
7.3.1.1. Alcantarillado Tradicional.....	94
7.3.1.2. Alcantarillado de Pequeño Diámetro	95
7.3.2. Tratamiento.....	96
7.3.2.1. Tratamiento Primario	96
7.3.2.2. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial.....	97
7.3.2.3. Sistemas de Infiltración en Suelo.....	98
7.3.3. Desinfección	99
7.3.4. Disposición o Reutilización del Efluente.....	100
7.4. DETERMINACIÓN FUNCIONES DE COSTOS.....	101

8. ANÁLISIS DE COSTOS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	104
8.1. ANÁLISIS DE COSTOS.....	104
8.1.1. Soluciones Individuales	104
8.1.2. Soluciones en Base a Colectores Públicos	105
8.1.3. Análisis Conjunto de Soluciones Individuales y Soluciones Colectivas.....	109
8.2. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	112
8.3. RESULTADOS EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	114
9. PROPOSICIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA POBLACIONES ESTUDIADAS	116
9.1. COMUNA DE TAL-TAL	116
9.1.1. Paposo.....	116
9.1.2. Caleta Cifuncho	116
9.2. COMUNA DE CALAMA	117
9.2.1. Ayquina.....	117
9.2.2. Turi.....	118
9.2.3. Cupo	119
9.2.4. Caspana	119
9.2.5. Toconce	120
9.2.6. Chunchuri Bajo	121
9.2.7. Yalquincha	121
9.3. COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA	122
9.3.1. Río Grande	122
9.3.2. Toconao.....	122
9.3.3. Camar.....	123
9.3.4. Peine.....	123
9.3.5. Socaire.....	125

9.4. COMUNA DE TOCOPILLA.....	125
9.4.1. Caleta Buena.....	125
9.4.2. Punta Arenas.....	126
9.4.3. Quillagua.....	126
10. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131

ANEXOS

Anexo A: Recomendaciones de Agua para Riego.

Anexo B: Experiencia en las Soluciones Propuestas.

Anexo C: Costos de Sistemas de Infiltración en Suelo y Humedales Artificiales según permeabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las formas de mejorar las condiciones básicas de vida de la población es dotarla de servicios de agua potable y alcantarillado. La falta de estos servicios frena las posibilidades de desarrollo, favorece la transmisión de enfermedades, frena avances en salud y produce la muerte de cerca de 5.000 niños diariamente en todo el mundo (UNICEF, 2007).

Si bien Chile está a la cabeza de los países latinoamericanos en cuanto a saneamiento y agua potable, aún hay una tarea pendiente con las poblaciones rurales. Las localidades rurales, las cuales representan cerca de un 15% del total del país, han logrado más de un 90% de cobertura de agua potable gracias al Programa Nacional de Agua Potable Rural, impulsado por el gobierno en el año 1964. Sin embargo, el saneamiento en estas poblaciones aún es muy precario y la tarea que queda por realizar es grande.

Además suele suceder que las personas encargadas de escoger las alternativas de tratamiento para poblaciones rurales no están lo suficientemente informadas, optando por alternativas convencionales, las cuales muchas veces no son las indicadas para este tipo poblaciones.

También hay que considerar que los problemas enfrentados por pequeñas comunidades hace que muchas veces los objetivos de saneamiento sean más difíciles de cumplir que en grandes comunidades. Por ejemplo no se producen economías de escala en sistemas de pequeño tamaño, lo que hace que los costos per capita se eleven y los presupuestos generalmente en estas localidades son limitados debido a los menores ingresos de las personas.

Por otro lado es necesario mencionar que el nivel de saneamiento rural en algunas regiones en particular ha sido bastante menor que en el resto del país, regiones entre las cuales está la región de Antofagasta. El hecho de que la preocupación por la región de Antofagasta haya llegado más tarde se debe principalmente a que esta región presenta un porcentaje comparativamente menor de población rural que el resto de las regiones.

En base a lo anterior, el objetivo principal del presente trabajo de título es definir alternativas de tratamiento de aguas servidas para las localidades rurales de la región de Antofagasta, de manera que las personas encargadas de escoger un sistema de tratamiento en la zona lo hagan lo suficientemente informados.

Para lograr el objetivo planteado es necesario considerar que tanto las condiciones físicas como climáticas de la región no son las más adecuadas para emplear los tratamientos que típicamente se aplican a este tipo de localidades y por esta misma razón algunas de las soluciones ya aplicadas en la región no han dado los resultados esperados. Por otro lado las poblaciones rurales de la localidad presentan características bastante particulares, las cuales también deben ser consideradas al momento de escoger un sistema de tratamiento.

Para alcanzar el objetivo principal, además de estudiar las características de la región de Antofagasta, se escogen y estudian algunas poblaciones de la región, de manera de caracterizar las poblaciones de la zona. Luego se estudian los sistemas de tratamiento de aguas servidas más utilizados en la actualidad y de ellos se escogen las alternativas que más se adecuen a las características de la zona y de las poblaciones rurales presentes en ella. Posteriormente se evalúan económicamente las alternativas escogidas y con ello se determinan la o las mejores alternativas para cada población.

2. REGIÓN DE ANTOFAGASTA

La Región de Antofagasta es una de las quince regiones en las que se encuentra dividido Chile, limita al norte con la región de Tarapacá y al sur con la región de Atacama. Cuenta con una superficie de 126.444 km² y está compuesta por las provincias de Antofagasta, El Loa y Tocopilla, siendo su capital regional la ciudad de Antofagasta. En los apartados a continuación se describe la división político-administrativa, relieve, clima e hidrología de la región.

2.1. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA

La región de Antofagasta para efectos del gobierno y administración interior se divide en tres provincias, las que a su vez están divididas en nueve comunas. Un detalle de las provincias y comunas de la región se especifica en la Tabla 2.1.

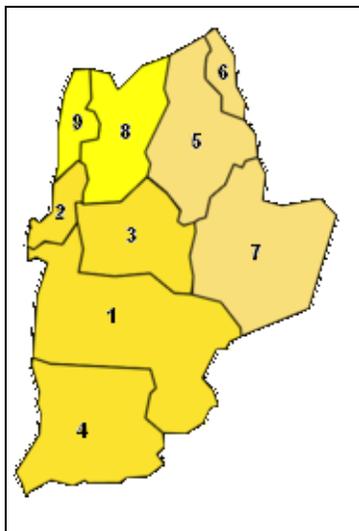
Tabla 2. 1. Provincias y Comunas Región Antofagasta

Provincia	Capital	Comunas
Antofagasta	Antofagasta	1. Antofagasta 2. Mejillones 3. Sierra Gorda 4. Taltal
El Loa	Calama	5. Calama 6. Ollagüe 7. San Pedro de Atacama
Tocopilla	Tocopilla	8. María Elena 9. Tocopilla

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 2.1. se muestra la ubicación geográfica de cada una de las comunas.

Figura 2. 1. Comunas Región de Antofagasta



2.1.1. Provincia de Antofagasta

La Provincia de Antofagasta se ubica al poniente de la Región de Antofagasta, tiene una superficie de 66.125 km², siendo la provincia más grande de la región. Está constituida por cuatro comunas y según el censo del año 2002 posee una población de 318.779 habitantes. La población rural y urbana de cada comuna de la provincia, según el censo del año 2002, es la mostrada en la Tabla 2.2.

Tabla 2. 2. Población Provincia Antofagasta

Comuna	Población		
	Total (hab)	Urbana (hab)	Rural (hab)
Antofagasta	296.905	295.792	1.113
Mejillones	8.418	7.888	530
Sierra Gorda	2.356	0	2.356
Taltal	11.100	9.564	1.536
Provincia	318.779	313.244	5.535

Fuente: INE. Censo 2002

2.1.2. Provincia de El Loa

La Provincia de El Loa se ubica al oriente de la Región de Antofagasta, tiene una superficie de 42.934 km². Está constituida por tres comunas y según el censo del año 2002 posee una población de 143.689 habitantes. La población rural y urbana de cada comuna de la provincia, según el censo del año 2002, es la mostrada en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3. Población Provincia El Loa

Comuna	Población		
	Total (hab)	Urbana (hab)	Rural (hab)
Calama	138.402	136.600	1.802
Ollagüe	318	0	318
San Pedro de Atacama	4.969	1.938	3.031
Provincia	143.689	138.538	5.151

Fuente: INE. Censo 2002

2.1.3. Provincia de Tocopilla

La Provincia de Tocopilla se ubica al norte de la Región de Antofagasta, tiene una superficie de 17.385 km². Está constituida por dos comunas y según el censo del año 2002 posee una población de 31.516 habitantes. La población rural y urbana de cada comuna de la provincia, según el censo del año 2002, es la mostrada en la Tabla 2.4.

Tabla 2. 4. Población Provincia Tocopilla

Comuna	Población		
	Total (hab)	Urbana (hab)	Rural (hab)
María Elena	7.530	7.412	118
Tocopilla	23.986	23.352	634
Provincia	31.516	30.764	752

Fuente: INE. Censo 2002

2.2. RELIEVE

Las características del relieve en la región se manifiestan en sentido norte-sur de la misma manera que en todo el territorio nacional. Los principales rasgos de esta región son la presencia de planicies litorales especialmente en la península de Mejillones y la presencia de una gran cuenca altiplánica donde se localiza el salar de Atacama, el cual divide la Cordillera de los Andes.

2.2.1. Cordillera de los Andes

En esta región la Cordillera de los Andes se presenta alta, maciza y con marcado volcanismo. La presencia de cuencas o depresiones intercordilleranas en sentido longitudinal la dividen en una franja oriental y una franja occidental.

La franja occidental o precordillera al sur de San Pedro de Atacama se conoce como Cordillera de Domeyko y al norte como Sierra de Moreno. Entre la cordillera de Domeyko y la de los Andes se forma el altiplano donde se destacan la formación de la Cordillera de la Sal, el Salar de Atacama y el nacimiento del río Loa.

En el extremo oriental de la región se forma la Puna de Atacama, otra zona del altiplano ubicada en el límite con Bolivia y Argentina.

2.2.2. Depresión Intermedia

La Depresión Intermedia en esta región es amplia y en ella se ubica el Desierto de Atacama, corresponde a la continuación de la pampa del Tamarugal con alturas que varían desde 600 m en el contacto con la Cordillera de la Costa a 1.500 m en los planos inclinados de transición hacia la precordillera andina. Al poniente de esta unidad de relieve se localizan algunos salares como Mijares, Navidad, El Carmen y Mar Muerto. Al sur del río Loa la Depresión Intermedia se denomina "pampa" y se caracteriza por presentar cordones de cerros y colinas aisladas que alcanzan alturas de 1.500 m aproximadamente. Al sureste se ve reducida en tamaño debido a la formación de la Cordillera de Domeyko.

2.2.3. Cordillera de la Costa

La Cordillera de la Costa en esta región es alta, maciza y elevada. Alcanza el punto más alto de toda su extensión en esta región y se eleva sobre el mar hasta altitudes que oscilan entre 1.000 y 3.000 m. Está fracturada por diversas quebradas, que conforman sierras como la del Buitre, Vicuña Mackena o del Tigre.

2.2.4. Planicies Litorales

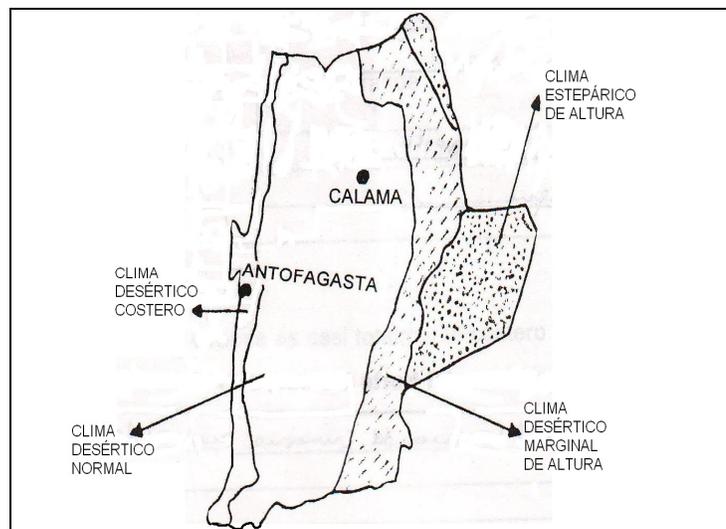
En esta región las Planicies Litorales son muy estrechas y de grandes extensiones. Éstas se extienden especialmente en la zona de la Península de Mejillones y se ven interrumpidas por el llamado Farellón Costero (abruptos acantilados producidos por la caída vertical de la Cordillera de la Costa hacia el mar)

En las Planicies Costeras o Terrazas Marinas han surgido ciudades importantes de la región como Tocopilla, Antofagasta, Taltal y Mejillones.

2.3. CLIMA

La región presenta una extrema aridez especialmente en la depresión intermedia y en las cuencas intermontañas. La cercanía del mar y las alturas del interior contribuyen a crear variaciones climáticas, las cuales se pueden disponer en franjas longitudinales, franjas que se muestran en la Figura 2.2.

Figura 2.2. Clima Región Antofagasta



2.3.1. Clima Desértico Costero

Este clima abarca todas las áreas ubicadas bajo los 1.000 m de altura, es decir abarca todo el litoral de la región. Un aspecto destacable de este sector climático es la camanchaca, neblina matinal costera producida por la diferencia de temperatura que provoca la corriente fría de Humboldt.

Debido a la anomalía térmica que impone la corriente de Humboldt las temperaturas son un poco más bajas de lo que correspondería por su latitud. Las temperaturas son moderadas, bordean los 18°C y presentan bajas amplitudes térmicas tanto diarias como anuales.

El régimen pluviométrico está dado por algunas lloviznas y ocasionalmente por algún sistema frontal, aumenta hacia el sur registrándose cerca de 2 mm anuales en Tocopilla, 7,7 mm en Antofagasta y 8 mm en Taltal.

2.3.2. Clima Desértico Normal

Este clima se presenta en la Depresión Intermedia y es el clima que presenta la mayor aridez de todo el mundo, existiendo aquí lugares donde no llueve hace más de un siglo. A diferencia del Clima Desértico Costero la camanchaca no está presente en este clima, pues la Cordillera de la Costa actúa como barrera impidiendo que penetre al interior. El Clima Desértico Normal se caracteriza por la carencia casi absoluta de precipitaciones, fuerte amplitud térmica diaria, bajo nivel de humedad relativa y una gran limpidez atmosférica con cielos sin nubes.

La amplitud térmica anual, si bien es mayor que en el Clima Desértico Costero, no es muy alta y suele alcanzar unos 9°C. En cambio las amplitudes térmicas diarias pueden alcanzar hasta los 35°C, con 35°C de máxima diaria y 0°C de mínima diaria. Las temperaturas promedio son alrededor de 15°C.

Muy esporádicamente, cada 5 o 6 años, se producen lluvias torrenciales en verano provocadas por el invierno boliviano.

2.3.3. Clima Desértico Marginal de Altura

Este clima se presenta en la Cordillera de los Andes entre los 2.000 y 3.500 m de altura y se caracteriza por presentar una humedad relativa muy baja.

Dada la altura, las temperaturas promedio son más frías que en la Depresión Intermedia, alcanzando valores medios entre 12°C y 13°C. Las oscilaciones térmicas anuales se atenúan, pero el contraste térmico diario sigue siendo muy acusado. Las temperaturas extremas diarias son del orden de 30°C y -5°C.

El régimen de precipitaciones se presenta mezclado, observándose precipitaciones estivales y también de origen ciclónico, aunque escasas en ambos casos. Las de origen ciclónico se presentan con intervalos de varios años, suceden en inviernos pluviométricamente rigurosos en la zona central del país y, en estos casos, suelen ser precipitaciones mayores a las del verano. Las precipitaciones anuales son entre 20 mm y 60 mm.

2.3.4. Clima Estepárico de Altura

Este clima abarca la zona sobre los 3.500 m de altura, comprendiendo la Puna de Atacama. Las temperaturas son muy frías, lo que hace que muchas de las precipitaciones sean de nieve. Por sobre los 5.700 m las bajas temperaturas hacen que las nieves sean eternas caracterizando los picachos más elevados de la región.

Las precipitaciones corresponden al régimen estival y disminuyen hacia el sur. En Inacaliri superan los 100 mm anuales mientras que en Socompa no alcanzan los 40 mm anuales.

2.4. HIDROGRAFÍA

En un clima desértico extremado, como es el que reina en la región de Antofagasta, es difícil encontrar ríos, los pocos que existen provienen de las cumbres andinas y, salvo en el caso del Loa, no llegan al mar, pues sus aguas se pierden bien por evaporación o porque se introducen en las napas subterráneas.

El Loa es el principal recurso hídrico de la región de Antofagasta y es el río de mayor hoya y longitud del país, tiene 33.570 km² y 440 km respectivamente. Una de sus características principales es el escurrimiento continuo de sus aguas durante todo el año. En su curso superior, hasta Chiu-Chiu, se desplaza en sentido norte-sur, tramo en el cual recibe sus principales afluentes como el río Salado y el río San Pedro. Luego el río cambia de dirección al poniente, hacia la Depresión Intermedia, recibiendo en este tramo como afluente al río San Salvador. Finalmente, al sur del salar de Llamara, el río Loa corre hacia el mar en dirección poniente.

Las aguas del río Loa son aprovechadas para la agricultura, la minería y el consumo de la población de las principales ciudades de esta región, como Calama, Antofagasta, y Chuquicamata.

Otros ríos andinos son el San Pedro, que desagua en el salar de Atacama, y el Vilama. Ambos ríos han posibilitado el desarrollo de pequeños oasis donde se practica la agricultura.

3. POBLACIONES RURALES DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA

La población de la Región de Antofagasta según el censo del año 2002 ascendía 493.984 habitantes. De esta población un 2,3% corresponde a población rural, es decir la población rural de la región el año 2002 ascendía a 11.438 habitantes. En la Tabla 3.1. se listan las localidades rurales de la Región de Antofagasta.

Tabla 3. 1. Localidades Rurales Región Antofagasta

Provincia	Comuna	Localidades	
Antofagasta	Tal-Tal	1. Paposo	
		2. Caleta Cifuncho	
Calama	Calama	3. Lasana	8. Caspana
		4. Chiu-Chiu	9. Toconce
	5. Ayquina	10. Chunchuri Bajo	
	6. Turi	11. Yalquincha	
	7. Cupo		
	Ollagüe	12. Ollagüe	
	San Pedro de Atacama	13. Machuca	18. Peine
		14. Talabre	19. Socaire
		15. Río Grande	20. San Pedro de Atacama
		16. Toconao	
		17. Camar	
Tocopilla	Tocopilla	21. Caleta Urco	26. Punta Itata
		22. Caleta Paquica	27. Caleta Buena
		23. Quebrada Honda	28. Punta Arenas
		24. El Río	29. Quillagua
		25. Cobija	30. Caleta Michilla

Es necesario mencionar que la mayoría de las poblaciones rurales de la región de Antofagasta se ubican en territorios vulnerables, los cuales son definidos por MIDEPLAN como espacios habitados que no cuentan con las condiciones apropiadas que aseguren el normal desenvolvimiento individual, familiar, comunitario y social.

Las localidades a estudiar se especifican en la Tabla 3.2. y se ubican geográficamente en la Figura 3.1.

Tabla 3.2. Localidades a estudiar

Provincia	Comuna	Localidades
Antofagasta	Tal-Tal	1. Paposo
		2. Caleta Cifuncho
Calama	Calama	5. Ayquina
		6. Turi
	San Pedro de Atacama	7. Cupo
		8. Caspana
San Pedro de Atacama	15. Río Grande	
	16. Toconao	
Tocopilla	Tocopilla	17. Camar
		18. Peine
		19. Socaire
		27. Caleta Buena
Tocopilla	Tocopilla	28. Punta Arenas
		29. Quillagua

Figura 3.1. Ubicación Geográfica Poblaciones Rurales



En los apartados siguientes se describen cada una de las poblaciones rurales a estudiar.

3.1. COMUNA DE TAL-TAL

3.1.1. Paposo

3.1.1.1. Ubicación

La localidad de Paposo se ubica a 54 km al norte de Taltal, aproximadamente en las coordenadas 25°02' de latitud sur y 70°29' de longitud oeste. Es decir se ubica en las planicies litorales de la región y presenta un Clima Desértico Costero.

3.1.1.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta o policlínico de atención primaria con rondas médicas cada 15 días, posee una escuela básica y un jardín infantil de la Junji. También se cuenta con servicio de electricidad teniendo tanto alumbrado público como domiciliario.

3.1.1.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Paposo. La localidad está conformada por 144 viviendas, de las cuales 13 no se encontraban con morador o no respondieron al momento de la encuesta, 9 corresponden a casas de veraneo y 10 son edificios públicos. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad.

Tabla 3.3. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Paposo

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	112	333
Sin Respuesta o Sin Morador	13	0
Casas de Veraneo	9	0
Edificios Públicos	10	0
Total	144	333

De la Tabla 3.3., de las viviendas y habitantes encuestados, se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Paposo alcanza los 2,97 hab/viv.

3.1.1.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.4. se muestra el ingreso promedio de los habitantes de la localidad de Caleta Paposo.

Tabla 3. 4. Ingreso Promedio Caleta Paposo

Ingreso	Rango \$	Porcentajes
Bajo	Hasta 127.500	1,64%
Medio	127.501-300.000	90,98%
Alto	300.001 y Más	7,38%
Total		100,00%

La mayoría de los jefes de familia se dedican a la pesca.

3.1.1.5. Situación Sanitaria

La mayor parte de la población de la localidad de Paposo se abastece de agua para el consumo doméstico desde la red de agua potable existente.

Actualmente la disposición de excretas en la localidad de Paposo se lleva a cabo mayoritariamente a través de pozos negros, seguido por fosas sépticas y en algunas ocasiones a través de obras artesanales hechas por los habitantes de la localidad.

3.1.2. Caleta Cifuncho

3.1.2.1. Ubicación

La localidad de Caleta Cifuncho se ubica a unos 50 km al sur de Taltal, aproximadamente en las coordenadas 25°38' de latitud sur y 70°42' de longitud oeste. Es decir se ubica en las planicies litorales de la región y presenta un Clima Desértico Costero.

3.1.2.2. Servicios Existentes

La localidad posee servicio de electricidad brindado por un generador de electricidad a combustión. Además posee un restaurante y una construcción perteneciente a Obras Portuarias que se emplea en verano como casa de veraneo.

3.1.2.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Caleta Cifuncho. La localidad está conformada por 47 viviendas, de las cuales 39 respondieron la encuesta. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad de Caleta Cifuncho.

Tabla 3. 5. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Caleta Cifuncho

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	39	46
Sin Respuesta o Sin Morador	4	0
Edificio - Veraneo	1	0
Sede Comunitaria	1	0
Boxers	1	0
Baño Público	1	0
Total	47	46

De la Tabla 3.5., de las viviendas y habitantes encuestados, se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Caleta Cifuncho alcanza los 1,18 hab/viv.

3.1.2.4. Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.6. se muestra el ingreso promedio de la población.

Tabla 3. 6. Ingreso Promedio Caleta Cifuncho

Ingreso	Rango \$	Porcentajes
Bajo	Hasta 127.500	16,67%
Medio	127.501-300.000	83,33%
Alto	300.001 y Más	0,00%
Total		100,00%

La actividad principal de los jefes de familia de la localidad es la pesca.

3.1.2.5. Situación Sanitaria

Las viviendas de la localidad de Caleta Cifuncho se abastecen de agua para el consumo domestico por medio de camiones aljibe.

La localidad cuenta con un baño público para los habitantes, el cual cuenta con wc, ducha y lavamanos. Las aguas servidas se descargan a una fosa séptica común y ninguna de las viviendas posee caseta sanitaria.

3.2. COMUNA DE CALAMA

3.2.1. Ayquina

3.2.1.1. Ubicación

La localidad de Ayquina se ubica a unos 70 km al nororiente de la ciudad de Calama, aproximadamente en las coordenadas 22°19' de latitud sur y 68°22' de longitud oeste. Presenta un Clima Desértico Marginal de Altura.

3.2.1.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta o policlínico de atención primaria con rondas médicas ocasionales, con una cruz roja que funciona sólo en época de festividades y con una escuela. Se cuenta con servicio de electricidad entregado a través de un equipo generador que brinda energía durante dos horas al día.

3.2.1.3. Población y Vivienda

En la localidad de Ayquina existen alrededor de 940 viviendas, de las cuales 16 son edificios públicos y cerca de 40 son viviendas residenciales habitadas permanentemente. El resto de las viviendas son utilizadas para veraneo y/o en la fiesta de la Virgen de Guadalupe. Se estima que la población permanente de la localidad es alrededor de 120 habitantes.

Es necesario hacer notar que para la festividad religiosa de la Virgen de Guadalupe acuden cerca de 40.000 fieles a la localidad, lo que implica un “peak” en el consumo de todos los servicios de la localidad.

3.2.1.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.7. se muestra el ingreso promedio por familia en la localidad de Ayquina.

Tabla 3. 7. Ingreso Promedio Ayquina

Ingreso	Rango \$	Porcentaje
Bajo	Hasta 127.500	83,33%
Medio	127.501-300.000	0,00%
Alto	300.001 y Más	16,67%
Total		100,00%

Los jefes de hogar se encuentran abocados a labores agrícolas, con una economía dedicada principalmente a la auto sustentación.

3.2.1.5. Situación Sanitaria

La localidad cuenta con un sistema de agua canalizada para consumo doméstico muy básico que involucra una fuente definida, conducción, regulación y distribución final a los habitantes. Existen instalaciones de tratamiento de agua, pero éstas no son utilizadas. El sistema antes mencionado sólo cubre cerca del 65% de la población, el resto de los habitantes se abastece de agua mediante acarreo de la misma desde Calama o desde vecinos que estén conectados a la red.

La localidad de Ayquina cuenta con un sistema muy básico de colectores que conducen las aguas servidas producidas por la localidad hacia unas fosas sépticas de hormigón armado ubicadas en la parte más baja de la localidad. Este sistema tiene una cobertura muy pequeña y un catastro de él evidencia que los colectores están enterrados muy superficialmente, presentan agujeros y además, según los habitantes de la localidad, las fosas sépticas están colmatadas.

Aquellas viviendas que no están conectadas al sistema de alcantarillado, disponen sus aguas servidas mediante fosas sépticas individuales, pozos negros y obras artesanales hechas por los habitantes de la localidad.

3.2.2. Turi

3.2.2.1. Ubicación

La localidad de Turi se ubica a unos 7 km al nororiente de la localidad de Ayquina, aproximadamente en las coordenadas 22°13' de latitud sur y 68°18' de longitud oeste. Presenta un Clima Desértico Marginal de Altura.

3.2.2.2. Servicios Existentes

La localidad posee servicio de electricidad entregado a través de un equipo generador que brinda energía durante dos horas al día.

3.2.2.3. Población y Vivienda

En la localidad existen 26 viviendas de las cuales 1 corresponde a edificio público (piscina y baños Turi). Se estime que la población de la localidad es alrededor de 60 habitantes.

3.2.2.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

Se desconoce el ingreso promedio familiar en la localidad de Turi. La actividad principal de los jefes de familia es la agricultura.

3.2.2.5. Situación Sanitaria

La localidad no cuenta con red de agua potable ni solución específica al respecto, actualmente se abastecen de canales que transportan aguas de zonas cordilleranas y de un despiche en la aducción Linsor de Codelco.

Turi no posee sistema de alcantarillado y mayoritariamente sus habitantes hacen uso de pozos negros.

3.2.3. Cupo

3.2.3.1. Ubicación

La localidad de Cupo se ubica a unos 100 km al nororiente de la ciudad de Calama, aproximadamente en las coordenadas 22°06' de latitud sur y 68°17' de longitud oeste. Presenta un Clima Desértico Marginal de Altura.

3.2.3.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una escuela y una posta o policlínico de atención primaria que funciona en la escuela. Se cuenta con servicio de electricidad entregado a través de un equipo generador que brinda energía durante dos horas al día.

3.2.3.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Cupo. La localidad está conformada por 32 viviendas. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad.

Tabla 3. 8. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Cupo

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	18	68
Sin Respuesta o Sin Morador	3	0
Edificios Públicos	11	0
Total	32	68

De las viviendas y habitantes encuestados se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Cupo alcanza los 3,78 hab/viv.

3.2.3.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.9. se muestra el ingreso promedio de la población.

Tabla 3. 9. Ingreso Promedio Cupo

Ingreso	Rango \$	Porcentaje
Bajo	Hasta 127.500	95,00%
Medio	127.501-300.000	0,00%
Alto	300.001 y Más	5,00%
Total		100,00%

La actividad económica principal en la localidad es la agricultura.

3.2.3.5. Situación Sanitaria

Las viviendas de la localidad de Cupo se abastecen de agua para el consumo doméstico por medio de camiones aljibe.

La mayoría de las viviendas dispone sus excretas a través de pozo negro, aunque un porcentaje considerable lo hace por medio de fosa séptica. Sólo 4 viviendas poseen caseta sanitaria.

3.2.4. Caspana

3.2.4.1. Ubicación

La localidad de Caspana se ubica a unos 83 km al nororiente de la ciudad de Calama y a 20 km de la frontera de Bolivia, aproximadamente en las coordenadas 22°20' de latitud sur y 68°12' de longitud oeste, por lo que presenta un Clima Desértico Marginal de Altura.

3.2.4.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta o policlínico de atención primaria, el cual posee rondas médicas cada 30 días. Cuenta con una escuela y posee servicio de electricidad entregado a través de un equipo generador a petróleo que brinda energía durante dos horas al día.

3.2.4.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Caspana. La localidad está conformada por 164 viviendas. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad.

Tabla 3. 10. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Caspana

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	62	170
Sin Respuesta o Sin Morador	40	0
Casas de Veraneo	49	0
Edificios Públicos	13	0
Total	164	170

De las viviendas y habitantes encuestados se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Caspana alcanza los 2,74 hab/viv.

3.2.4.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.11. se muestra el ingreso promedio de la población.

Tabla 3. 11. Ingreso Promedio Caspana

Ingreso	Rango \$	Cantidad
Bajo	Hasta 127.500	95,38%
Medio	127.501-300.000	3,08%
Alto	300.001 y Más	1,54%
Total		100,00%

La mayor parte de la población de la localidad se dedica a la agricultura y ganadería, un porcentaje menor trabaja fuera de la zona.

3.2.4.5. Situación Sanitaria

Una gran parte de la población de la localidad se abastece de agua para el consumo doméstico por medio de una red de agua potable, el resto de la población se abastece de acequias o de la cesión de aguas por parte de vecinos del sector.

La disposición de excretas en la localidad se hace principalmente por medio de fosas sépticas y pozos negros. Sólo 31 viviendas poseen caseta sanitaria.

3.2.5. Toconce

3.2.5.1. Ubicación

La localidad de Toconce se ubica a unos 90 km al nororiente de la ciudad de Calama, aproximadamente en las coordenadas 22° 16' de latitud sur y 68° 11' de longitud oeste, por lo que presenta un Clima Desértico Marginal de Altura.

3.2.5.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta o policlínico de atención primaria, la cual posee rondas médicas cada 30 días. Cuenta con una escuela y posee servicio de electricidad entregado a través de un equipo generador a petróleo que brinda energía durante dos horas al día. Además se cuenta con un retén de carabineros y un albergue.

3.2.5.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Toconce. La localidad está conformada por 87 viviendas. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad.

Tabla 3. 12. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Toconce

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	64	128
Casas de Veraneo	12	0
Edificios Públicos	11	0
Total	87	128

De las viviendas y habitantes encuestados se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Toconce alcanza los 2,00 hab/viv.

3.2.5.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.13. se muestra el ingreso promedio de la población.

Tabla 3. 13. Ingreso Promedio Toconce

Ingreso	Rango \$	Porcentaje
Bajo	Hasta 127.500	58,82%
Medio	127.501-300.000	0,00%
Alto	300.001 y Más	41,18%
Total		100,00%

Los jefes de hogar se dedican principalmente a la agricultura o trabajan fuera de la zona.

3.2.5.5. Situación Sanitaria

La población de la localidad se abastece de agua para el consumo doméstico por medio de una red de agua potable.

La disposición de excretas en la localidad se hace principalmente por medio de fosas sépticas y en menor porcentaje por pozos negros. Sólo 14 viviendas poseen caseta sanitaria.

3.2.6. Chunchuri Bajo

3.2.6.1. Ubicación

La localidad se encuentra dentro del territorio denominado Calama Rural. Se ubica a unos 2 km al oeste del centro de Calama, entre el Río Salvador y el Río Loa, aproximadamente en las coordenadas 22° 29' de latitud sur y 68°58' de longitud oeste. Es decir presenta un Clima Desértico Normal.

3.2.6.2. Servicios Existentes

La localidad posee un servicio de electricidad inaugurado recientemente, encontrándose en trámite el empalme hacia la totalidad de los hogares.

3.2.6.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Chunchuri Bajo. La localidad está conformada por 92 viviendas. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad.

Tabla 3. 14. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Chunchuri Bajo

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	84	276
Casas de Veraneo	6	0
Edificios Públicos	2	0
Total	92	276

De las viviendas y habitantes encuestados se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Chunchuri Bajo alcanza los 3,29 hab/viv.

3.2.6.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

La actividad principal del jefe de hogar es la agricultura. No se posee información representativa del ingreso promedio de los pobladores de la localidad de Chunchuri.

3.2.6.5. Situación Sanitaria

La mayor parte de las viviendas de la localidad de Chunchuri Bajo se abastecen de agua para el consumo doméstico por medio de camión aljibe y por medio de red de agua potable.

En relación con las descargas de aguas servidas, la mayoría de las viviendas dispone sus aguas a través de pozo negro y un porcentaje bastante bajo lo hace por medio de fosa séptica. En la localidad sólo 6 viviendas poseen caseta sanitaria.

3.2.7. Yalquincha

3.2.7.1. Ubicación

La localidad se encuentra dentro del territorio denominado Calama Rural. Se ubica a unos 4 km al este del centro de Calama, al lado sur del Río Loa, aproximadamente en las coordenadas 22° 27' de latitud sur y 68°54' de longitud oeste. Presenta un Clima Desértico Normal.

3.2.7.2. Servicios Existentes

Un sector pequeño de la localidad posee servicio de alumbrado público y domiciliario, entregado por medio de un tendido de alta tensión.

3.2.7.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Yalquincha. La localidad está conformada por 32 viviendas. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad.

Tabla 3. 15. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Yalquincha

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	25	76
Terrenos Sin Viviendas	3	0
Viviendas en Construcción	2	0
Casas de Veraneo	2	0
Total	32	76

De las viviendas y habitantes encuestados se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Yalquincha alcanza los 3,04 hab/viv.

3.2.7.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.16. se muestra el ingreso promedio de la población.

Tabla 3. 16. Ingreso Promedio Yalquincha

Ingreso	Rango \$	Cantidad
Bajo	Hasta 127.500	83,33%
Medio	127.501-300.000	0,00%
Alto	300.001 y Más	16,67%
Total		100,00%

La actividad principal de los jefes de hogar es la agricultura.

3.2.7.5. Situación Sanitaria

La totalidad de las viviendas de la localidad de Yalquincha se abastecen de agua para el consumo doméstico por medio de camión aljibe.

La mayoría de las viviendas dispone sus excretas por medio de pozo negro y un bajo porcentaje lo hace por medio de fosa séptica.

3.3. COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA

3.3.1. Río Grande

3.3.1.1. Ubicación

La localidad de Río Grande se ubica a unos 80 km al norte de San Pedro de Atacama, aproximadamente en las coordenadas 22º 38' de latitud sur y 68º 10' de longitud oeste, a una altura media de 3.200 m.s.n.m y presenta un clima desértico marginal de altura.

3.3.1.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta rural y una escuela. Se cuenta con servicio de electricidad proporcionado por una turbina de 50 KVA de capacidad.

3.3.1.3. Población y Vivienda

En la localidad de Río Grande existen alrededor de 70 viviendas, de las cuales 7 son edificios públicos y cerca de 25 son viviendas residenciales habitadas permanentemente. La población permanente de la localidad asciende a 80 habitantes.

3.3.1.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

Se desconoce el ingreso promedio familiar en la localidad de Río Grande. La actividad principal del jefe de familia es la agricultura.

3.3.1.5. Situación Sanitaria

La localidad tiene una red de agua básica no potable y no tiene red de alcantarillado de aguas servidas. Un número considerable de viviendas posee pozo negro para disponer sus excretas, además existen pozos negros públicos y aproximadamente unas 20 viviendas poseen caseta sanitaria y fosa séptica para descargar sus aguas servidas.

3.3.2. Toconao

3.3.2.1. Ubicación

La localidad de Toconao se ubica a unos 38 km al sur de San Pedro de Atacama, aproximadamente en las coordenadas 23° 11' de latitud sur y 68° 00' de longitud oeste, a una altura media de 2.500 m.s.n.m y presenta un clima desértico marginal de altura.

3.3.2.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta rural y una escuela. Se dispone de servicio de eléctrico las 24 horas del día (mediante un sistema con generación a gas, con un generador Diesel, Caterpillar de 220 kva y generación Diesel Olympiam de 100 kva)

3.3.2.3. Población y Vivienda

La población en la localidad de Toconao es alrededor de 800 habitantes. Asumiendo que el número de habitantes por vivienda es 3, se estima que el número de viviendas es alrededor de 270.

3.3.2.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

La actividad principal de los pobladores se basa en la talla de diversas esculturas de piedra volcánica, piedra extraída desde una cantera propia de la comunidad.

También en forma de costumbre heredada se cultivan huertillos familiares. Otra parte de la población trabaja en la minería no metálica de las explotaciones del gran Salar de Atacama extrayendo litio, bórax, yodo y salitre, entre otros.

No se posee información sobre el ingreso económico de los toconares.

3.3.2.5. Situación Sanitaria

Las viviendas de la localidad de Toconao se abastecen de agua para el consumo doméstico por medio de una red de agua potable. La localidad no posee alcantarillado y actualmente dispone sus excretas mediante fosas sépticas o pozo negro.

3.3.3. Camar

3.3.3.1. Ubicación

La localidad de Camar se ubica a unos 68 km al sur de San Pedro de Atacama, aproximadamente en las coordenadas 23° 25' de latitud sur y 67° 58' de longitud oeste, a una altura media de 2.500 m.s.n.m y presenta un clima desértico marginal de altura.

3.3.3.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta rural y una escuela. Se dispone de servicio eléctrico tres horas al día.

3.3.3.3. Población y Vivienda

En el año 2007 CV Ingeniería Civil – Hidráulica - Sanitaria efectuó una encuesta a la localidad de Camar. La localidad está conformada por 26 viviendas. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad.

Tabla 3. 17. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Camar

	Viviendas (nº)	Habitantes (nº)
Con Respuesta	26	61
Edificios Públicos	7	0
Total	33	61

De las viviendas y habitantes encuestados se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Camar alcanza los 2,35 hab/viv.

3.3.3.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

No se posee información sobre el ingreso promedio y la ocupación principal de los pobladores, pero de acuerdo a lo visto en terreno se puede asegurar que una de las actividades desarrolladas es la agricultura.

3.3.3.5. Situación Sanitaria

La localidad posee una red de agua básica no potable abastecida desde una captación superficial que aprovecha las aguas de la vertiente Pepina. La localidad posee una red de alcantarillado de aguas servidas y tratamiento en base a una fosa séptica de 5 m³.

3.3.4. Peine

3.3.4.1. Ubicación

La localidad de Peine se ubica a unos 200 km al sur-oriente de la ciudad de Calama, aproximadamente en las coordenadas 23° 40' de latitud sur y 68° 04' de longitud oeste. Se emplaza a una altura media respecto al nivel del mar de 2.550 m y presenta un Clima Desértico Marginal de Altura.

3.3.4.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta o policlínico de atención primaria, una escuela y un jardín infantil. Se cuenta con servicio de energía eléctrica mediante grupo electrógeno que funciona 4 horas diarias. Además se cuenta con servicio de correo y teléfono público.

3.3.4.3. Población y Vivienda

La población en la localidad de Peine es alrededor de 530 habitantes. Asumiendo que el número de habitantes por vivienda es 4, se estima que el número de viviendas es alrededor de 130.

3.3.4.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

La actividad económica predominante en Peine son los servicios y la actividad minera. A continuación se muestra el ingreso promedio de la población¹.

Tabla 3. 18. Nivel de Ingreso

Ingreso	Rango \$	Porcentaje
Bajo	Hasta 127.500	57,40%
Medio	127.501-300.000	36,80%
Alto	300.001 y Más	5,80%
Total		100,00%

3.3.4.5. Situación Sanitaria

La localidad de Peine cuenta con un sistema precario de distribución de agua para beber administrado por la comunidad. El sistema de distribución de agua sólo tiene una cobertura del 60%. Cabe señalar que las aguas no cuentan con sistema de desinfección.

La localidad posee sistema de alcantarillado y un sistema de tratamiento en base a lagunas de estabilización facultativas el cual actualmente no está operativo.

¹Ingresos obtenidos de encuesta socioeconómica realizada el año 2003.

3.3.5. Socaire

3.3.5.1. Ubicación

La localidad de Socaire se ubica aproximadamente a 100 km al sur de San Pedro de Atacama aproximadamente en las coordenadas 23°35' de latitud sur y 67°53' de longitud oeste. Se emplaza a una altura media de 3.350 m.s.n.m. y se encuentra en una zona climática límite entre los climas Desértico Marginal de Altura y Estepárico de Altura.

3.3.5.2. Servicios Existentes

La localidad posee una posta o policlínico de atención primaria y una escuela. Se cuenta con servicio eléctrico las 24 horas del día mediante un sistema con generador Diesel de 100 kva y una turbina Pelton de 100 kva. Además se cuenta con un albergue.

3.3.5.3. Población y Vivienda

La población en la localidad de Socaire es alrededor de 260 habitantes. Asumiendo que el número de habitantes por vivienda es 3, se estima que el número de viviendas es alrededor de 80.

3.3.5.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

No se posee información sobre el ingreso promedio y la ocupación principal del jefe de familia para la localidad de Socaire.

3.3.5.5. Situación Sanitaria

La localidad se abastece de agua para el consumo doméstico por medio de una red de agua potable. La localidad no posee alcantarillado.

3.4. COMUNA DE TOCOPILLA

3.4.1. Caleta Buena

3.4.1.1. Ubicación

La localidad de Caleta Buena se ubica a unos 38 km al sur de Tocopilla, aproximadamente en las coordenadas 22°26' de latitud sur y 70°16' de longitud oeste. Es decir se ubica en las planicies litorales de la región y presenta un Clima Desértico Costero.

3.4.1.2. Servicios Existentes

La localidad no posee servicio de electricidad, supliendo esta necesidad básica por medio del empleo de velas, generadores, artefactos a gas, parafina o paneles solares.

3.4.1.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Caleta Buena. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad.

Tabla 3. 19. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Caleta Buena

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con respuesta	67	250
Sin respuesta o Sin Morador	14	0
En Construcción	2	0
De Veraneo	64	0
Total	147	250

De la tabla anterior, de las viviendas y habitantes encuestados, se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Caleta Buena alcanza los 3,71 hab/viv.

3.4.1.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.20. se muestra el ingreso promedio de los habitantes de la localidad de Caleta Buena.

Tabla 3. 20. Ingreso Promedio Caleta Buena

Ingreso	Rango \$	Porcentajes
Bajo	Hasta 127.500	79,31%
Medio	127.501-300.000	13,79%
Alto	300.001 y Más	6,90%
Total		100,00%

La actividad principal de los jefes de familia de la localidad de Caleta Buena es la pesca.

3.4.1.5. Situación Sanitaria

Las viviendas de la localidad de Caleta Buena se abastecen de agua para el consumo domestico por medio de camiones aljibe.

Para la disposición de excretas las viviendas de la localidad utilizan mayoritariamente pozo negro y fosas sépticas.

3.4.2. Punta Arenas

3.4.2.1. Ubicación

La localidad de Caleta Punta Arenas se ubica a unos 52 km al norte de Tocopilla y a unos 25 km al sur de la desembocadura al mar del río Loa, aproximadamente en las coordenadas 21°38' de latitud sur y 70°10' de longitud oeste. Es decir se ubica en las planicies litorales de la región y presenta un Clima Desértico Costero.

3.4.2.2. Servicios Existentes

La localidad no posee servicio de electricidad. El alumbrado de los hogares es por medio de velas o generadores eléctricos propios.

3.4.2.3. Población y Vivienda

Durante el mes de Noviembre del año 2007 INVAR S.A. efectuó una encuesta socioeconómica a la localidad de Caleta Punta Arenas. El 100% de las viviendas respondió a la encuesta y los resultados son los mostrados a continuación.

Tabla 3. 21. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Caleta Punta Arenas

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	21	81
Sin Respuesta	0	0
Total	21	81

De la Tabla 3.21. se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Caleta Punta Arenas alcanza los 3,86 hab/viv.

Es necesario mencionar que para la localidad de Caleta Punta Arenas existe un plano de Loteo Rural aprobado por la Dirección de Obras Municipales, correspondiente a un nuevo loteo de 70 sitios.

3.4.2.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.22. se muestra el ingreso promedio de la población

Tabla 3. 22. Ingreso Promedio Caleta Punta Arenas

Ingreso	Rango \$	Porcentajes
Bajo	Hasta 127.500	0,00%
Medio	127.501-300.000	100,00%
Alto	300.001 y Más	0,00%
Total		100,00%

La ocupación principal de los jefes de familia de la localidad es la pesca.

3.4.2.5. Situación Sanitaria

El 100% de las viviendas de la localidad de Caleta Punta Arenas se abastece de agua para el consumo domestico por medio de camiones aljibe.

En la localidad las viviendas no emplean casetas sanitarias y para disponer sus excretas utilizan pozo negro o simplemente no poseen sistema alguno.

3.4.3. Quillagua

3.4.3.1. Ubicación

La localidad de Quillagua se ubica a un costado de la quebrada del río Loa, distante a 83 km al nor-orient de Tocopilla, aproximadamente en las coordenadas 21° 40' de latitud sur y 69° 38' de longitud oeste. Se ubica en la depresión intermedia de la región y presenta un Clima Desértico Normal.

3.4.3.2. Servicios Existentes

La localidad cuenta con una posta rural y con una escuela básica. Se cuenta con tendido eléctrico de alumbrado público y domiciliario suministrado mediante un grupo generador de 75 kw. Además se cuenta con un cuerpo de bomberos y una casa de alojamiento.

3.4.3.3. Población y Vivienda

La localidad está conformada por 147 viviendas, de las cuales 46 se encuentran habitadas. A continuación se muestra un resumen de las viviendas que conforman la localidad de Quillagua.

Tabla 3. 23. Resumen Viviendas y Habitantes Encuestados Quillagua

	Viviendas (n°)	Habitantes (n°)
Con Respuesta	46	92
Sin respuesta o Sin Morador	65	0
Casas de Veraneo	27	0
Edificios Públicos	9	0
Total	147	92

De la Tabla 3.23., de las viviendas y habitantes encuestados, se tiene que el número de habitantes por vivienda en la localidad de Quillagua alcanza los 2 hab/viv.

3.4.3.4. Ingreso Promedio y Ocupación del Jefe de Familia

En la Tabla 3.24. se muestra la ocupación de los habitantes de la localidad de Quillagua.

Tabla 3. 24. Ocupación Jefe de Hogar

Actividad	Cantidad	Porcentaje
Pensionado	10	21,74%
Duaña de Casa	8	17,39%
Jubilado	9	19,57%
Empleado	7	15,22%
Obrero	5	10,87%
Comerciante	4	8,70%
Agricultor	3	6,52%
Total	46	100,00%

No se posee información sobre los ingresos promedio de los pobladores de la localidad de Quillagua.

3.4.3.5. Situación Sanitaria

Las viviendas de la localidad de Quillagua se abastecen de agua para el consumo domestico por medio de una red, la cual a su vez se abastece de camiones aljibe.

La mayoría de las viviendas posee fosa séptica para disponer sus excretas, el resto de las viviendas, las cuales son en su mayoría viviendas deshabitadas, posee pozo negro.

Un resumen de las principales características de las poblaciones rurales estudiadas se muestra en la Tabla 3.25.

Tabla 3. 25. Resumen Poblaciones Rurales

Localidad	Zona	Población (hab)	Viviendas (Nº)	Densidad Viviendas	Abastecimiento Agua Potable	Disposición Excretas
Ayquina	Cordillera	120	940	Concentrada	Acarreo - Red No Potable	PN - FS
Turi	Cordillera	60	26	Dispersa	Acarreo	PN
Cupo	Cordillera	68	32	Concentrada	Camión Aljibe	PN - FS
Caspana	Cordillera	170	164	Concentrada	Red AP	PN - FS
Toconce	Cordillera	128	87	Concentrada	Red AP	PN - FS
Chunchuri Bajo	Cordillera	276	92	Dispersa	Camión Aljibe - Red AP	PN - FS
Yalquincha	Cordillera	76	32	Dispersa	Camión Aljibe	PN -FS
Río Grande	Cordillera	80	70	Concentrada	Red No Potable	PN - FS
Toconao	Cordillera	800	270	Concentrada	Red AP	PN - FS
Camar	Cordillera	61	33	Concentrada	Red No Potable	Alcantarillado + FS
Peine	Cordillera	530	130	Concentrada	Red No Potable	Alcantarillado + LE
Socaire	Cordillera	260	80	Concentrada	Red AP	PN - FS
Caleta Buena	Costa	250	147	Concentrada	Camión Aljibe	PN - FS
Caleta Punta Arenas	Costa	81	21	Concentrada	Camión Aljibe	PN
Paposo	Costa	333	144	Concentrada	Red AP	PN - FS
Caleta Cifuncho	Costa	46	47	Concentrada	Camión Aljibe	FS
Quillagua	Depresión Intermedia	92	147	Concentrada	Camión Aljibe	PN - FS

AP: Agua Potable

PN: Pozo Negro

FS: Fosa Séptica

LE: Lagunas de Estabilización

4. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN BASE A SISTEMAS INDIVIDUALES

En aquellas localidades de menor población los sistemas de tratamiento en base a colectores públicos generalmente no son los más adecuados, debido principalmente a los costos que éstos generan, por esta razón las soluciones individuales pueden ser consideradas las más apropiadas en estos casos. A continuación se describen algunas soluciones individuales utilizadas actualmente.

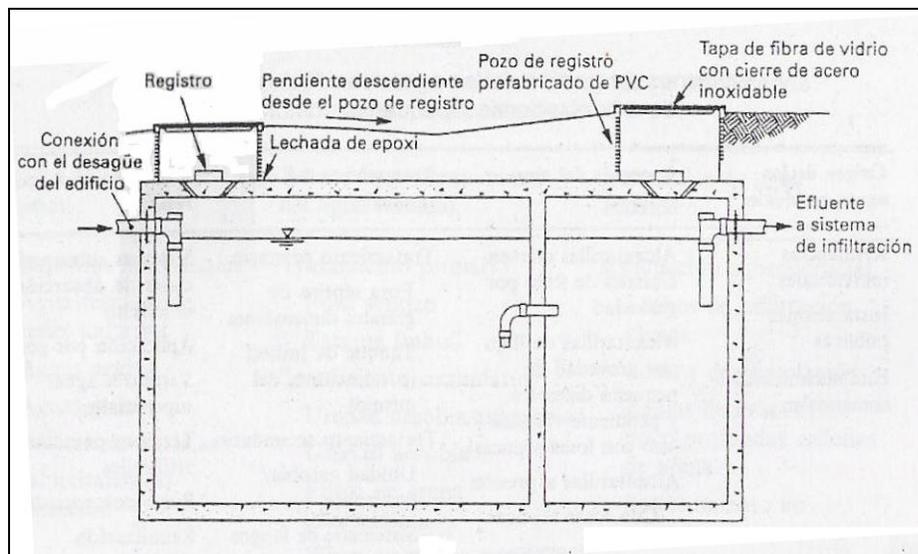
4.1. FOSAS SÉPTICAS

Las Fosas Sépticas son tanques prefabricados que ofician como tanque combinado de sedimentación, desgrasado y de almacenamiento de lodos, los cuales se digieren en el fondo por digestión anaeróbica sin mezcla ni calentamiento. El proceso consiste en que 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 exenta ya de sólidos es extraída de la fosa e infiltrada en el suelo por medio de un pozo absorbente o drenes de infiltración.

Si bien la descomposición anaeróbica reduce el volumen del material sólido depositado en el fondo del tanque, siempre existe una acumulación neta de lodo, por lo que es necesario realizar una extracción periódica del contenido del tanque.

Generalmente las fosas sépticas poseen doble compartimiento, tal como se muestra en la figura siguiente. El objetivo del doble compartimiento es disminuir la descarga de sólidos en el efluente.

Figura 4. 1. Fosa convencional de dos compartimientos.



Los componentes de las fosas sépticas son:

Estructuras de Entrada y Salida: La descarga de agua en el interior de la fosa séptica debe estar al menos 5 cm bajo el nivel normal de aguas. La estructura de salida debe ser tal que permita la salida del efluente clarificado.

Estanque: El estanque debe ser estanco y tener un volumen capaz de retener las aguas servidas por 24 hr.

Tapa de Inspección: Es necesaria una tapa de registro impermeable y hermética de no menos 60 cm de diámetro, que permita el acceso de un hombre y la extracción periódica de lodos (DS N° 236/26)

Diseño

El dimensionamiento de una fosa séptica se obtiene considerando los criterios de diseño expuestos en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Parámetros de Diseño Fosa Séptica

Parámetro de Diseño	Unidad	Valor
Tiempo de Retención de Masa Líquida	días	1
Contribución de Lodo	l/hab/día	1
Periodo de Almacenamiento de Lodo	días	365
Periodo de Digestión	días	60
Coef. Reducción Volumen Lodo Digerido		0,25
Coef. Reducción Volumen Lodo en Digestión		0,5

Fuente: Homsí y Asociados Ltda. (2007). Estudio de Soluciones de Saneamiento Rural.

Es necesario considerar una revancha de al menos 0,3 m y un volumen adicional al obtenido para resguardarse de variaciones diarias y horarias de determinados parámetros. Se recomienda adoptar un 20% de volumen adicional.

Operación y Mantemiento

Se deben retirar periódicamente los lodos acumulados en el interior de la fosa séptica.

Ventajas

- Simple de operar y mantener.
- Bajo costo de operación y mantención.
- Adaptabilidad a sistemas de alcantarillado de pequeños diámetros.

Desventajas

- Son necesarias grandes extensiones de terreno en el interior de la vivienda para instalar la fosa séptica con su respectivo sistema de infiltración.

4.2. UNIDAD SANITARIA SECA (USS)

Esta tecnología funciona bajo el principio de la separación de los desechos sólidos (excretas) de los líquidos (aguas grises y orinas) y se caracteriza por no necesitar agua para operar. La parte sólida se descompone aeróbicamente en el interior de una cámara y la parte líquida es dirigida por medio de una tubería a una cámara desengrasadora y posteriormente infiltrada por medio de un pozo absorbente o drenes de infiltración.

Para lograr la descomposición en el interior de la cámara es necesario generar condiciones de aireación adecuadas y agregar periódicamente un material aditivo que permita disminuir la humedad existente en la materia fecal. Bajo condiciones de correcto funcionamiento se logra una reducción del volumen de excretas de hasta un 95% y se obtiene un producto inocuo, inodoro y que puede ser utilizado como mejorador de las condiciones físicas, químicas y biológicas de un suelo.

Las componentes del sistema son:

Taza asiento con separador de orina: Es una taza de baño tradicional pero que cuenta con un separador de orinas, el cual desvía la orina de las excretas disponiéndolas en compartimientos separados. Las excretas caen por gravedad a las cámaras de descomposición mientras que la orina es dirigida al exterior de la casa junto con el resto de las aguas grises.

Figura 4. 2. Taza con separador de orinas



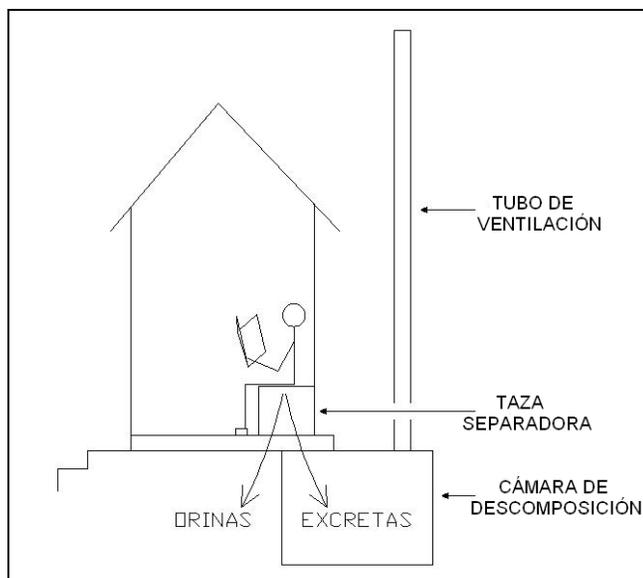
Urinario: Instalación destinada para los hombres con el fin de que no se vierta orina al interior de la cámara al utilizar la taza separadora.

Cámaras de Descomposición: Cámaras en las cuales ocurre la descomposición aeróbica, usualmente son dos y se ubican debajo de la taza de baño. Las cámaras deben ser herméticas para evitar el ingreso de humedad y la salida de contaminantes de la misma. Para retirar el material de las cámaras se construye un acceso desde el exterior de la vivienda, idealmente con una tapa pintada de negro y orientada hacia el norte para aprovechar el calor producido por radiación solar.

Tubo de Ventilación: Tubo vertical, recto y con una altura superior al techo de la casa y/o de otras construcciones cercanas a la vivienda de al menos 30 cm. Idealmente de color negro para aumentar la temperatura de los gases y facilitar la ventilación. Debe tener un sistema que evite la entrada de agua a la cámara cuando llueva y una rejilla para evitar la entrada de vectores.

En la Figura 4.3. se muestra un esquema de la ubicación de cada una de las componentes del sistema.

Figura 4. 3. Unidad Sanitaria Seca



Diseño

Para determinar el volumen de cada cámara de descomposición se utiliza la expresión mostrada a continuación.

$$V = 3/2 \cdot (V_h \cdot f \cdot N^{\circ} F \cdot T + V_{ma}) \quad (4.1)$$

V: Volumen cámara de descomposición (m³)

V_h: Volumen de heces producido por persona diario (m³/hab*día)

f: Frecuencia de defecación (días/semana)

N^ºF: Número de personas que utilizaran la USS

T: Tiempo de uso de la cámara (semanas)

V_{ma}: Volumen material aditivo (m³)

Se recomienda utilizar los valores especificados en la Tabla 4.2. para dimensionar la cámara de descomposición.

Tabla 4. 2. Valores de Parámetros Unidad Sanitaria Seca

Vh (m³/hab*día)	0,001
f (días /semana)	5
T (semanas)	52

Operación y Mantenimiento

Se debe agregar material aditivo a la cámara a través de la taza cada vez que se defeque. Como material aditivo se puede utilizar pasto seco, hojas secas, cenizas, aserrín, cal o cualquier material seco que ayude a disminuir la humedad en el interior de la cámara. La cantidad a agregar debe ser igual a la cantidad de heces producida.

Al limpiar la taza se debe tener especial cuidado en que no entre agua ni cloro a la cámara, se puede limpiar con una esponja o paño húmedo o se puede retirar la taza al ser limpiada.

Al completarse 2/3 de la primera cámara se cambia la taza de lugar, se sella la primera cámara y se comienza a utilizar la segunda cámara.

Una vez que la cámara esté sellada se debe dejar reposar el material en el interior de ésta durante 9 a 12 meses y luego abrirla para extraer el material final.

Ventajas

- No requiere de agua para su funcionamiento por lo cual disminuye el consumo de agua en la vivienda.
- Fácil y económico de operar.
- Genera un producto que puede ser utilizado para mejorar las condiciones de suelo.

Desventajas

- Es necesario que todos los usuarios de la tecnología entiendan los principios básicos de funcionamiento necesitándose capacitación y evaluación periódica.

4.3. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN

4.3.1. Pozo Absorbente

Un pozo absorbente es aquel que permite la infiltración de aguas en el suelo. Es de forma cónica, relleno hasta 3/4 de su altura con piedras tipo bolón de 0,2 metros de diámetro como mínimo, los cuales sirven de entubación y permiten distribuir el líquido en el subsuelo. Debe tener una cubierta o losa de hormigón armado, con una tapa de inspección y una cañería de ventilación.

Al circular el efluente a través del medio poroso y al infiltrarlo en el terreno se consigue un tratamiento producido por la combinación de una serie de mecanismos

físicos, biológicos y químicos. Si la inundación es permanente, el medio poroso actúa como un filtro anaerobio sumergido, mientras que si la aplicación es periódica, actúa como un filtro percolador aerobio. (Metcalf and Eddy, 1996)

Diseño

El DS N° 236/26 Reglamento General Sobre Instalaciones Domiciliarias de Alcantarillado y Agua Potable indica lo siguiente:

- Se debe considerar una distancia mínima desde el fondo del pozo hasta la primera napa freática de 2 m en su momento más desfavorable y la permeabilidad del terreno debe ser a lo menos 45 l/m²/día.
- No se podrá instalar un pozo absorbente a menos de 20 m de alguna fuente destinada o destinable al suministro de agua para el consumo humano, o en terrenos cuya formación consista en piedra, cal o sustancias análogas.
- Todo pozo absorbente debe tener a lo menos un 1,5 m de profundidad útil y una superficie absorbente no inferior a un metro cuadrado por cada 500 litros de agua servida que esté destinada a recibir cada 24 horas.
- La tapa de inspección debe ser a lo menos de 60 cm de diámetro. La tubería de ventilación debe ser impermeable, de a lo menos 10 cm de diámetro, con descarga de aire exterior a una altura superior a la del inmueble y cerrada en su parte superior con una rejilla de alambre de malla fina que impida el acceso de moscas y otros insectos.

Ventajas

- Son necesarias pequeñas extensiones de terreno para lograr infiltrar las aguas.
- Se consigue un nivel de tratamiento de las aguas antes de disponerlas.

Desventajas

- La permeabilidad del terreno debe permitir la infiltración del líquido a través de sus poros.
- En presencia de napas subterráneas no se permite la instalación de este sistema de disposición.

4.3.2. Drenes de Infiltración

Los Drenes de Infiltración consisten en una serie de zanjas estrechas, relativamente poco profundas (0,5 – 1,5 m), rellenas de un medio poroso, el cual normalmente es grava. El efluente del tratamiento se aplica a las zanjas por flujo intermitente por gravedad o por dosificación periódica por medio de una bomba o de un sifón de dosificación.

Al circular el efluente a través del medio poroso y al infiltrarlo en el terreno se consigue un tratamiento producido por la combinación de una serie de mecanismos físicos, biológicos y químicos. Si la inundación es permanente, el medio poroso actúa

como un filtro anaerobio sumergido, mientras que si la aplicación es periódica, actúa como un filtro percolador aerobio. (Metcalf and Eddy, 1996)

Diseño

El DS N° 236/26 Reglamento General Sobre Instalaciones Domiciliarias de Alcantarillado y Agua Potable indica lo siguiente:

- Se debe considerar una distancia mínima desde el fondo del sistema de infiltración hasta la primera napa freática de 2 m, considerando para esto su momento más desfavorable.
- No se podrá instalar un sistema de infiltración a menos de 20 m de alguna fuente destinada o destinable al suministro de agua para el consumo humano, o en terrenos cuy formación consista en piedra, cal o sustancias análogas.

Para calcular el área superficial de los drenes es necesario considerar la permeabilidad de la zona en la cual se instalarán los drenes y el volumen diario a infiltrar.

$$A = \frac{Q_i}{k} \quad (4.2)$$

A: Área superficial de los drenes (m²)

Q_i: Caudal a infiltrar (l/día)

K: Permeabilidad del fondo de las zanjas de infiltración (l/m²/día)

Ventajas

- En las zonas en que se instala el sistema se puede tener napas freáticas menos profundas que en el caso de los pozos absorbentes.
- Se consigue un nivel de tratamiento de las aguas antes de disponerlas.
- Simples de construir.

Desventajas

- La permeabilidad del terreno debe permitir la infiltración del líquido a través de sus poros.
- Se requieren grandes áreas superficiales para infiltrar las aguas.
- Sólo se pueden ubicar en terrenos con pendientes de hasta un 5%.

A continuación se muestra resumen de las principales características de las alternativas de tratamiento en base a sistemas individuales.

Tabla 4. 3. Resumen Alternativas Individuales

Tratamiento	Operación/Mantenimiento	Ventajas	Desventajas
<p>Fosa Séptica</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Retirar periódicamente los lodos acumulados al interior de la fosa. 	<ul style="list-style-type: none"> · Simple y económico de operar y mantener. · Adaptabilidad a sistemas de alc. peq. diámetro 	<ul style="list-style-type: none"> · Se requiere gran extensión de terreno al interior de la vivienda.
<p>Unidad Sanitaria Seca</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Agregar material aditivo a la cámara de descomposición. · Sellar la primera cámara cuando esté a 2/3 y cambiar la tapa para utilizar la segunda cámara. 	<ul style="list-style-type: none"> · No requiere agua para su funcionamiento. · Simple y económico de operar y mantener. · Genera un producto que puede ser utilizado para mejorar el suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> · Es necesario capacitación y evaluación periódica a los usuarios.

5. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN BASE A COLECTORES PÚBLICOS

Existe un sinnúmero de tecnologías para tratar las aguas servidas domésticas, éstas incluyen tanto recolección como tratamiento y disposición (o reutilización) del efluente, además de tratamiento y disposición de lodos. El objeto de este capítulo es describir las tecnologías más comúnmente utilizadas.

5.1. SISTEMAS DE RECOLECCIÓN

Los sistemas de recolección consisten en un conjunto de estructuras y tuberías usados para el transporte de las aguas servidas desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se disponen o tratan. En los apartados a continuación se describen algunos de los sistemas de recolección utilizados en la actualidad.

5.1.1. Alcantarillado Tradicional

Los Sistemas de Alcantarillado Tradicional son los más comúnmente utilizados en Chile. Este tipo de alcantarillado está constituido por una red de colectores de diámetros capaces de portar tanto la parte líquida como sólida de las aguas servidas, instalados con una pendiente que permite el escurrimiento gravitacional, aún cuando en puntos de baja cota es posible efectuar el transporte con bombeo.

Los componentes del sistema de alcantarillado tradicional son:

Instalación Domiciliaria de Alcantarillado: Obras necesarias para evacuar las aguas servidas domésticas del inmueble, desde los artefactos hasta la última cámara domiciliaria inclusive.

Unión Domiciliaria de Alcantarillado: Tramo de la red pública de recolección, comprendido desde su punto de empalme a la tubería de recolección hasta la última cámara de inspección domiciliaria exclusive.

Red de Alcantarillado: Conjunto de conductos generalmente subterráneos que recogen y transportan el agua residual.

Cámara de Inspección: Cámara necesaria para la operación y mantenimiento del sistema de alcantarillado.

Estaciones de Bombeo: Estaciones necesarias en aquellos sectores donde las diferencias de elevación no permiten el escurrimiento gravitacional de las aguas servidas.

Diseño (NCh 1105.Of1999 Alcantarillado de Aguas Residuales – Diseño y Cálculo de Redes)

Unión Domiciliaria: El diámetro y pendiente mínima se especifican a continuación.

- Diámetro Mínimo = 100 mm
- Pendiente Mínima = 3%

Red de Alcantarillado: Para el dimensionamiento hidráulico de la red colectora se utilizará el caudal máximo horario de aguas servidas, la ecuación de Manning (5.1) o alguna obtenida experimental o teóricamente, de uso generalizado y aceptada por la Autoridad Competente, y se impondrán los límites de velocidad y pendientes especificados en NCh 1105.Of1999.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (5.1)$$

$$R = \frac{\text{ÁreaMojada}(m^2)}{\text{PerímetroMojado}(m)} \quad (5.2)$$

V: Velocidad (m/s)
 n: Coeficiente de Rugosidad
 R: Radio Hidráulico (m)
 S: Pendiente (m/m)

Cámaras y Chimeneas de Inspección: Se diseñarán de acuerdo a lo especificado en la NCh 1105.Of1999.

Ventajas del Sistema

- Gran capacidad de recolección.
- Presenta economías de escala en términos de volumen transportado.

Desventajas del Sistema

- Colectores pueden alcanzar grandes profundidades si es que las pendientes del terreno son muy suaves con respecto a las exigencias mínimas de autolavado.

5.1.2. Alcantarillado de Pequeño Diámetro

Los Sistemas de Alcantarillado de Pequeño Diámetro tiene la particularidad de evacuar principalmente la porción líquida de las aguas servidas, incluyendo los sólidos disueltos y parte de los sólidos sedimentables. Los sólidos flotantes, las grasas y gran parte de los sólidos sedimentables son retenidos en una unidad diseñada para tal efecto, denominada Cámara o Estanque Interceptor, la cual tiene características muy similares a una fosa séptica. La existencia de esta Cámara o Estanque Interceptor permite que los colectores no requieran velocidades mínimas de autolavado, lo que a su vez admite que tanto los diámetros como las pendientes en estos colectores sean más pequeñas.

Los componentes de los sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro son:

Conexión Domiciliaria: Tramo que va desde las instalaciones domiciliarias hasta la Cámara Interceptora. Esta conexión constituye la única parte del sistema donde la porción líquida y sólida de los desechos domésticos viajan juntos.

Cámara o Estanque Interceptor: Estanque hermético que generalmente va enterrado y que permite remover del caudal líquido tanto sólidos flotantes como sólidos sedimentables.

Colectores: Tubos que están enterrados a una profundidad suficiente para recolectar las aguas decantadas que provienen de los estanques interceptores. En general trabajan por gravedad y utilizan al máximo la energía que resulta de la diferencia de cotas entre los extremos del sistema.

Registros de Limpieza y Pozos de Inspección: Permiten el acceso a los colectores para su inspección, limpieza y mantenimiento. Se ubican generalmente en las intersecciones y puntos singulares de la red.

Estaciones de Bombeo: Estaciones necesarias en aquellos sectores donde las diferencias de elevación no permiten la evacuación de forma gravitacional de las aguas decantadas desde la cámara interceptora.

Diseño

Conexión Domiciliaria: El diámetro y pendiente mínima se especifican a continuación².

- Diámetro Mínimo = 100 mm
- Pendiente Mínima = 3%
- Evitar cambios de dirección y codos.

Cámara Interceptora: Se tomarán en consideración las recomendaciones realizadas para el diseño de las fosas sépticas.

Red Colectora (Farías, C. 1999): Con caudal máximo horario utilizar la ecuación de Manning (5.1) e imponer una velocidad máxima en el interior de la red de 3 m/s.

Registros de Limpieza y Pozos de Inspección (Farías, C. 1999): Dependiendo de las características de la red colectora se ubicarán a una distancia que varía entre 30 y 150 m, obligatoriamente se ubicará un registro de limpieza a la entrada de la red, en la intersección de dos o más colectores y en los cambios de pendiente.

Ventajas del Sistema

- Pendientes y tamaño de colectores menores que alcantarillado tradicional.

² Para la conexión domiciliaria se consideran los mismos criterios que para alcantarillado tradicional, ya que tanto la unión domiciliaria como la conexión domiciliaria transportan tanto la parte líquida como la parte sólida de las aguas servidas.

- Menor cantidad de obstrucciones en la redes lo que implica menor número de cámaras de inspección.
- El estanque interceptor atenúa los caudales máximos a evacuar lo que reduce el tamaño de los colectores.
- En las zonas donde existen fosas sépticas, éstas pueden ser utilizadas como estanque interceptor.

Desventajas del Sistema

- El sistema necesita de una cámara o estanque interceptor en el interior de la propiedad del usuario, el cual debe ser limpiado periódicamente.

5.2. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Las alternativas de tratamiento en base a colectores públicos se pueden clasificar en Tratamientos Biológicos y Tratamientos Físicoquímicos. A su vez los Tratamientos Biológicos se pueden dividir en Tratamientos Biológicos del Tipo Convencional y en Tratamientos Biológicos del Tipo No Convencional.

En la Tabla 5.1. se especifican algunas de las alternativas de tratamiento en base a colectores públicos.

Tabla 5. 1. Alternativas de Tratamiento en Base a Colectores Públicos

Biológicos	Sistemas No Convencionales	Lagunas de Estabilización
		Humedales Artificiales
		Lombrifiltración
		Infiltración en Suelo
	Sistemas Convencionales	Biofiltros o Filtros Percoladores
		Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios
		Lodos Activados
		Sequencing Batch Reactor (SBR)
		Lagunas Aireadas
Físicoquímicos		

Fuente: Elaboración Propia.

En los apartados a continuación se describen los sistemas de tratamiento del tipo no convencional, convencional y físicoquímicos.

5.2.1. Sistemas de Tratamiento del Tipo No Convencional

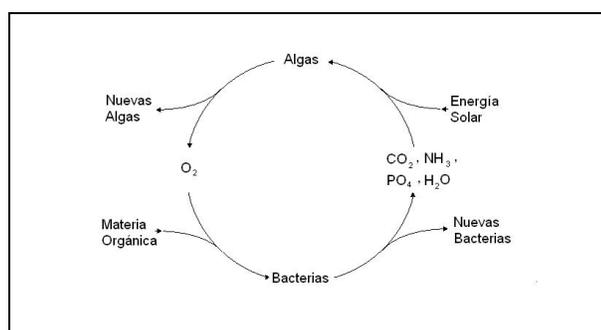
Las alternativas del tipo no convencional prescinden de mecanización pero requieren grandes áreas de terreno. En general son sistemas naturales y en la mayoría de ellos no se cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema.

5.2.1.1. Lagunas de Estabilización

Una Laguna de Estabilización es una masa de agua relativamente poco profunda contenida en un tanque excavado en el terreno. Se clasifican en los siguientes tipos:

- Lagunas de Estabilización Aerobia: Son estanques de poca profundidad y se caracterizan por mantener condiciones aerobias en toda su extensión. El oxígeno presente en el tanque es producido por algas y además penetra en el líquido por efecto de la difusión atmosférica. El oxígeno es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el dióxido de carbono liberados en este proceso de degradación los emplean, a su vez, las algas. Esta relación simbiótica se muestra en la Figura 5.1.

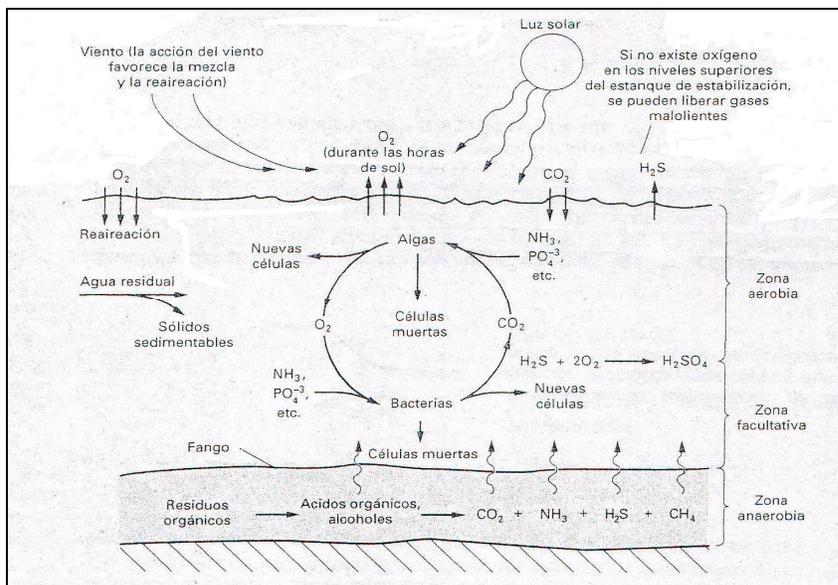
Figura 5. 1. Relación Simbiótica en Laguna de Estabilización Aerobia



También en estas lagunas se presentan animales superiores como los rotíferos y protozoos, cuya principal función consiste en la mejora del efluente.

- Lagunas de Estabilización Facultativas: En estos estanques la estabilización de aguas servidas se lleva a cabo mediante la acción de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias. En las lagunas facultativas existen tres zonas: una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica análoga a la que ocurre en lagunas aerobias; una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias; y una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas. Las relaciones ocurridas en estos tipos de lagunas se muestran en la Figura 5.2.

Figura 5. 2. Relaciones ocurridas en Lagunas de Estabilización Facultativas



- **Lagunas de Estabilización Anaeróbica:** Estas lagunas son anaerobias en toda su profundidad, excepto en una estrecha franja cercana a la superficie. La estabilización se consigue por medio de una combinación de precipitación y de conversión anaerobia de los residuos orgánicos en CO_2 , CH_4 , otros productos gaseosos finales, ácidos orgánicos y tejido celular. Estos tipos de laguna permiten profundidades mayores, lo que implica menores requerimientos de terreno con respecto a las lagunas aerobias y facultativas. Es necesario mencionar, que dada las características de la población microbiana y el habitat en que se desarrollan, las lagunas anaeróbicas son especialmente sensibles a cambios en el pH y en la temperatura.

Las componentes físicas de las lagunas de estabilización son:

Estructuras de Entrada y Salida: Para conseguir mejor distribución hidráulica y rendimiento se recomienda utilizar sistemas de entradas múltiples. La salida del agua debe realizarse justo por debajo de la superficie libre, a fin de descargar el efluente de mayor calidad y retener los sólidos flotantes.

Diques: Se deben construir de modo que se minimicen las filtraciones. Se debe considerar una revancha por el efecto del oleaje y tomar medidas para el control de la erosión.

Fondo: Debe ser lo más horizontal posible y debe impermeabilizarse.

Canales Perimetrales: Se construyen para evitar el ingreso de escorrentía superficial a las lagunas.

Estanque de Sedimentación: Son necesarios para reducir la presencia de algas en el efluente. Estas algas pueden elevar los valores de la DBO haciendo llegar los valores del efluente incluso a valores superiores que el afluente.

Diseño

La siguiente expresión puede ser utilizada para determinar el tiempo de retención en una laguna de estabilización (Wehner, J.F. y Wilhelm, R.F., 1958). Este modelo asume la existencia de un flujo con dispersión en la unidad.

$$\frac{S}{S_0} = \frac{4a \exp\left(\frac{1}{2d}\right)}{(1+a)^2 \exp\left(\frac{a}{2d}\right) - (1-a)^2 \exp\left(-\frac{a}{2d}\right)} \quad (5.3)$$

$$a = \sqrt{1 + 4ktd} \quad (5.4)$$

S: Concentración DBO filtrada en el efluente (mg/l)

S₀: Concentración DBO en afluente (mg/l)

d: Factor de dispersión. Rango entre 0,1 y 2. (Se determina en función de las características geométricas)

k: Constante de reacción (1/d)

t: Tiempo de retención (d)

Los parámetros típicos de diseño para estanques de estabilización son mostrados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Parámetros de Diseño Lagunas de Estabilización

Parámetro	Unidad	Laguna Aerobia (Baja Carga)	Laguna Aerobia (Alta Carga)	Laguna Facultativa	Laguna Anaerobia
Tiempo de Retención	d	10 - 40	4 - 6	5 - 30	20 - 50
Profundidad	m	0,9 - 1,2	0,3 - 0,45	1,2 - 2,4	2,4 - 4,8
Temperatura	°C	0 - 30	5 - 30	0 - 50	6 - 50
Temperatura Óptima	°C	20	20	20	30
Carga de DBO	kg/ha/día	67 - 134	90 - 180	80 - 95	225 - 560

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Efecto de la Temperatura en el Tratamiento

La temperatura del agua afecta la velocidad de la reacción biológica. El efecto producido modifica el valor de la constante de reacción, lo cual se expresa en la siguiente ecuación.

$$k_T = k_{20} \cdot \theta^{(T^\circ - 20)} \quad (5.5)$$

k_T: Velocidad de reacción a T^{°C}

k₂₀: Velocidad de reacción a 20^{°C}

θ: Coeficiente actividad-temperatura (0,6)

La temperatura del agua en el interior de la laguna se puede determinar con la siguiente expresión (Manzini, L. J. y Barnhart, E. L., 1968)

$$T_w = \frac{A \cdot f \cdot T_a + Q \cdot T_i}{A \cdot f + Q} \quad (5.6)$$

- T_i : Temperatura del afluente ($^{\circ}\text{C}$)
 T_w : Temperatura del agua en la laguna ($^{\circ}\text{C}$)
 T_a : Temperatura ambiente del aire ($^{\circ}\text{C}$)
 f : Factor de proporcionalidad (Valor típico:0,5)
 A : Superficie (m^2)
 Q : Caudal de agua residual ($\text{m}^3/\text{día}$)

Operación y Mantenimiento

Es necesario retirar periódicamente los lodos acumulados en la laguna.

Eficiencia

Las eficiencias alcanzadas por las lagunas de estabilización se muestran en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Eficiencia Lagunas de Estabilización

Parámetro	Unidad	Laguna Aerobia (Baja Carga)	Laguna Aerobia (Alta Carga)	Laguna Facultativa	Laguna Anaerobia
DBO	mg/l	80% - 95%	80% - 95%	80% - 95%	50% - 85%

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Ventajas

- Costos de construcción bajos.
- Costos de operación bajos.

Desventajas

- Requiere de un tratamiento preliminar.
- Existen numerosas variables incontrolables que influyen en el proceso, como el viento y la temperatura, entre otros.
- Posible proliferación de olores y vectores sanitarios.

5.2.1.2. Humedales Artificiales

Los humedales son zonas que se encuentran permanentemente inundadas por aguas superficiales o subterráneas. En estas áreas se desarrolla un ecosistema compuesto por suelo, agua, vegetación, microorganismos e invertebrados acuáticos. La remoción de contaminantes se consigue por la acción de los vegetales, microorganismos e invertebrados acuáticos que se desarrollan en el humedal.

Existen dos tipos de humedales artificiales:

- Sistemas a Flujo Libre (FWS): El nivel del agua en este sistema está sobre la superficie del terreno, la vegetación está sembrada, fija y emerge sobre la superficie del agua. El flujo de agua es principalmente superficial.

A estos sistemas se les aplica normalmente agua residual pretratada en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente.

- Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS): El nivel del agua está por debajo de la superficie del terreno, el agua fluye a través de una cama de arena o grava y las raíces penetran hasta el fondo de la cama.

Como el agua se mantiene por debajo de la superficie del medio granular no queda expuesta al medio y se evitan posibles problemas de mosquitos, exposiciones a personas y se además produce una protección térmica.

Estos sistemas se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjias excavadas y rellenas de material granular, generalmente grava.

Los humedales SFS tienen mayores tasas de reacción, por lo cual pueden tener áreas menores que los del tipo FWS.

Los componentes del sistema son:

Estructura de Entrada o de Distribución del Efluente: Normalmente consiste en una tubería de distribución inserta en un medio de grava gruesa, encargada de repartir el agua a lo ancho del humedal.

Estructura de Salida: Normalmente consiste en una tubería perforada ubicada al final del humedal y en el fondo del lecho.

Impermeabilización: Es necesario colocar una barrera impermeable para impedir que el agua servida contamine la napa subterránea y para impedir que el agua subterránea ingrese al humedal.

Vegetación: Proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar. Las plantas que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales son espadañas, carrizos y juncos

Diseño (Lara, J., 1999)

La remoción de contaminantes en un humedal puede ser estimada mediante una cinética de primer orden (5.7).

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-K_T \cdot t} \quad (5.7)$$

C_e : Concentración del contaminante en el efluente (mg/l)
 C_0 : Concentración del contaminante en el afluente (mg/l)
 K_T : Constante de reacción de primer orden, dependiente de la temperatura (d^{-1})
 t : Tiempo de retención hidráulico (d)

El tiempo de retención hidráulico puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$t = \frac{L \cdot W \cdot y \cdot n}{Q} \quad (5.8)$$

L : Largo del humedal (m)
 W : Ancho del humedal (m)
 y : Profundidad del humedal (m)
 n : Porosidad
 Q : Caudal medio a través del humedal (m^3/d)

A partir de las ecuaciones (5.7) y (5.8) es posible determinar el área superficial del humedal.

$$A_s = L \cdot W = \frac{Q \cdot \ln(C_0 / C_e)}{K_T \cdot y \cdot n} \quad (5.9)$$

El flujo de agua en un humedal FWS es descrito por la ecuación de Manning (5.1). El número de Manning en este caso es función de la profundidad del agua debido a la resistencia impuesta por la vegetación emergente.

$$n = \frac{a}{y^{1/2}} \quad (5.10)$$

a : Factor de resistencia ($s \cdot m^{1/6}$)
 : $0,4 s \cdot m^{1/6}$ para vegetación escasa e $y > 0,4$ m
 : $1,6 s \cdot m^{1/6}$ para vegetación moderadamente densa e $y \approx 0,3$ m
 : $6,4 s \cdot m^{1/6}$ para vegetación muy densa y capa de residuos e $y \leq 0,3$ m

Entonces, combinando las ecuaciones (5.1) y (5.9) se obtienen las dimensiones de un humedal FWS.

El flujo de agua en un humedal SFS usando suelo y arena como medio del lecho puede ser descrito por la ecuación de Darcy (5.11). Para lechos con piedra muy gruesa se puede utilizar la ecuación de Ergun.

$$v = k_s \cdot s \quad (5.11)$$

v: Velocidad del flujo (m/d)

k_s : Conductividad hidráulica, depende de la temperatura del agua y de la porosidad ($m^3/m^2/d$)

s: Gradiente hidráulico o pendiente (m/m)

Entonces, combinando las ecuaciones (5.9) y (5.11) se obtienen las dimensiones de un humedal SFS.

Es necesario tener las siguientes consideraciones al diseñar:

- Los dos tipos de humedales deben tener una ligera pendiente, de manera que se proporcionen las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema.
- En humedales del tipo SFS es importante tener en cuenta las posibles obstrucciones parciales del sistema, las cuales reducirían la conductividad hidráulica del medio. Estas pueden ser minimizadas con una cuidadosa construcción.
- Los cortocircuitos hidráulicos pueden ser minimizados con una cuidadosa construcción y mantenimiento del fondo del humedal, con el uso de múltiples celdas y con la intercalación de zonas abiertas (sin vegetación) para la redistribución del flujo.

Efecto de la Temperatura en el Tratamiento

La temperatura del agua afecta la velocidad de la reacción biológica. El efecto producido modifica el valor de la constante de reacción, lo cual se expresa en la siguiente ecuación.

$$k_T = k_{20} \cdot \theta^{(T^\circ - 20)} \quad (5.12)$$

k_T : Velocidad de reacción a $T^\circ C$

k_{20} : Velocidad de reacción a $20^\circ C$

θ : Coeficiente de actividad-temperatura.

La temperatura del agua en el interior de los humedales del tipo SFS se puede determinar mediante las siguientes expresiones.

$$q_G = C_p \cdot \delta \cdot A_s \cdot y \cdot n \quad (5.13)$$

$$q_L = (T_0 - T_a) \cdot U \cdot \sigma \cdot A_s \cdot t \quad (5.14)$$

$$U = \frac{1}{\frac{y_1}{k_1} + \frac{y_2}{k_2} + \dots + \frac{y_n}{k_n}} \quad (5.15)$$

$$T_c = \frac{q_L}{q_G} \quad (5.16)$$

$$T_e = T_0 - T_c \quad (5.17)$$

$$T_w = \frac{T_0 + T_e}{2} \quad (5.18)$$

C_p : Capacidad de calor específico del agua (J/kg °C)

δ : Densidad del agua (kg/m³)

A_S : Área superficial del humedal (m²)

y : Profundidad del agua en el humedal (m)

n : Porosidad del humedal

T_0 : Temperatura del afluente al humedal (°C)

T_a : Temperatura promedio del aire (°C)

σ : Factor de conversión (86.400 s/día)

t : Tiempo de retención hidráulica (día)

$k_{1...n}$: Conductividad térmica de las capas 1...n (W/m °C)

$y_{1...n}$: Espesor de las capas 1...n (m)

T_c : Cambio de temperatura en el humedal (°C)

T_e : Temperatura del efluente del humedal (°C)

T_w : Temperatura en el humedal (°C)

Operación y Mantenimiento

- En humedales FWS debe verificarse periódicamente que el agua se está moviendo a través de todas las partes del humedal
- En humedales SFS debe verificarse periódicamente que no se esté desarrollando flujo en la superficie.
- La vegetación debe ser inspeccionada regularmente y deben quitarse las especies invasoras.

Eficiencia del Tratamiento

En la Tabla 5.4. se muestran valores típicos de aguas a la entrada y salida de un humedal artificial.

Tabla 5. 4. Eficiencia Humedales³

Parámetro	Unidad	Agua Afluyente Humedal	Agua Efluyente Humedal
DBO	mg/l	30 - 40	2 - 7
Sólidos Suspendidos	mg/l	50 - 60	2 - 8
NKT	mg/l	45 - 50	8 - 15
NH ₃	mg/l	30 - 40	8 - 15
Fósforo Total	mg/l	10 - 14	6 - 10
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Disminuye de 1 a 2 logaritmos con tiempos de retención de 3 a 7 días.	

Fuente: Lara (1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales.

Ventajas

- Se logran altos niveles de tratamiento con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.
- Los humedales artificiales mejoran las condiciones de humedales naturales próximos y se crean nuevos hábitats para la fauna y flora.
- La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación.
- No se producen lodos como subproducto del tratamiento.
- Económico de operar y mantener.

Desventajas

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Requieren grandes extensiones de terreno.
- El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional.
- Se requiere una mínima cantidad de agua para que los humedales sobrevivan, no soportan estar completamente secos.
- Se requiere un tratamiento primario.

5.2.1.3. Lombrifiltración

Este sistema consiste en percolar las aguas servidas domésticas a través de un medio filtrante compuesto de aserrín o viruta en el cual se encuentran una gran cantidad de lombrices. La materia orgánica que queda retenida en el medio filtrante es removida por la acción de las lombrices junto con otros microorganismos presentes. Las lombrices luego de digerir la materia orgánica producen a través de sus deyecciones el denominado humus de la lombriz, excelente abono orgánico para suelo. (Santibáñez, 2002)

³ Son necesarios tiempos de retención superiores a 14 días para lograr reducciones de 3 a 4 logaritmos de coliformes fecales.

Los componentes del sistema son:

Lombrices: Producto de las constantes excavaciones que realizan en terreno ayudan a mantener la permeabilidad en el medio filtrante impidiendo la colmatación de éste, devolviéndole la porosidad y facilitando la oxigenación. La lombriz que mejor se adapta al cautiverio es la lombriz Eisenia Foetida cuyas condiciones ambientales ideales son:

- Temperatura de 12 a 25°C. Con temperaturas extremas disminuye la reproducción y la producción de humus.
- Humedad del 80%
- pH entre 6,5 y 7,5
- Baja luminosidad, los rayos ultravioleta las matan.

Medio Filtrante: Medio en el cual habitan las lombrices compuesto de aserrín o viruta.

Sistema de Riego: Sistema necesario para aplicar el agua servida doméstica en el lecho filtrante. Existen sistemas de riego manual y por aspersión. El sistema manual consta de una manguera de goma de características variables según la función de los lechos, es muy sencillo pero requiere un trabajador destinado exclusivamente a esta labor.

Diseño

Se considera para diseño (Santibáñez, J., 2002)

$$T_{riego} = \frac{Q}{A} \leq 1m^3 / m^2 / día \quad (5.19)$$

T_{riego} : Tasa de riego ($m^3/m^2/día$)

Q: Caudal de aplicación ($m^3/día$)

A: Superficie lecho filtrante (m^2)

Operación y Mantenimiento

- Horqueto de toda la superficie del lecho al menos una vez por semana, con el fin de eliminar posibles acumulaciones de agua.
- Desmalezar el lecho al detectarse el crecimiento de algún tipo de plantas.
- Limpieza periódica de regadores, de manera de garantizar uniformidad de riego en la superficie.
- Recolección de lombrices en la descarga del sistema, se puede hacer mediante un canastillo recolector.
- Reconstitución del lecho al menos cada 4 meses.

Eficiencia del Tratamiento

Información recopilada de sistemas de Lombrifiltro muestran los siguientes niveles de remoción de contaminantes (Santibáñez, J., 2002)

Tabla 5. 5. Eficiencia Lombrifiltración

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	95 %
Sólidos Totales	mg/l	95 %
Sólidos Volátiles Suspendidos	mg/l	93 %
Sólidos Volátiles	mg/l	96 %
Nitrógeno	mg/l	60 %
Fósforo	mg/l	70 %
Coliformes Fecales	NMP /100 ml	1 escala logarítmica

Fuente: Santibáñez (2002). Estudio de Plantas Piloto de Aguas Servidas a Base de Tecnologías No Convencionales.

Ventajas

- No requiere de tratamiento primario alguno.
- El sistema da una rápida respuesta dado que no requiere la creación de una biomasa degradadora de materia orgánica, ya que esa función la ejercen principalmente las lombrices.
- El sistema se puede detener y volver a echar andar sin afectar a las lombrices, ya que estas cuentan con la reserva alimenticia del aserrín constituyente del filtro.
- El sistema no produce lodos inestables y en su lugar se obtiene un humus que puede ser utilizado como abono orgánico.
- Bajos costos operacionales y de mantención.

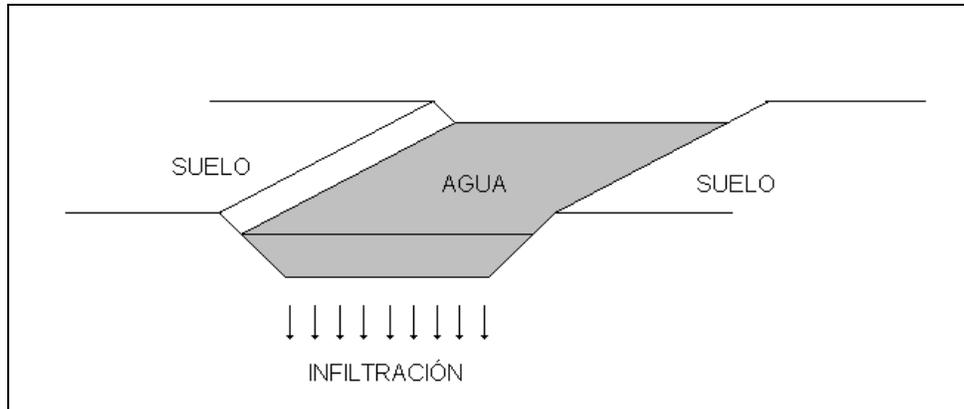
Desventajas

- Posible proliferación de olores y vectores sanitarios.
- Climas extremos pueden afectar el crecimiento de las lombrices.

5.2.1.4. Sistemas de Infiltración en Suelo

En estos sistemas el agua residual pretratada (tratamiento primario) se aplica en forma intermitente al suelo. Usualmente la aplicación se realiza mediante lagunas de infiltración y sólo cuando la topografía lo impide la aplicación se realiza por sistemas de aspersión de alta carga.

Figura 5. 3. Lagunas de Infiltración



Las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema son:

- Permeabilidad mayor a 25 mm/h
- Profundidades de suelo mayores a 3 m
- Pendientes menores a 5%

Es necesario que el sitio en el que se ubique el sistema no sea susceptible a inundaciones y que el acceso público esté controlado.

La remoción de los contaminantes presentes en las aguas servidas se produce por los procesos descritos a continuación:

Sólidos Suspendidos: Se remueven por infiltración pero es recomendable removerlos antes de aplicar el agua al sistema debido que pueden producir obturaciones en las superficies.

Materia Orgánica: Se eliminan por degradación microbiana. Los microorganismos responsables de la degradación se desarrollan sobre las superficies de las partículas del suelo.

Nitrógeno Orgánico: El N-Organico está asociado a los sólidos suspendidos, por lo cual se remueve mediante sedimentación o filtración.

Nitrógeno Amoniacal: Un 10% se volatiliza, el resto se adsorbe por intercambio iónico sobre las partículas del suelo y sobre las partículas orgánicas dotadas de carga, además es consumido por microorganismos y/o es convertido a nitrato.

Nitratos: Se elimina por desnitrificación, la cual se produce en condiciones anóxicas y con una relación de C:N igual a 2:1. El carbono contenido en aguas residuales efluentes de tratamiento primario basta para cumplir con la relación de C:N.

Microorganismos: Se eliminan por muerte, retención, sedimentación, atrapamiento, depredación, radiación, desecación y adsorción. En estos sistemas se logra la eliminación completa de microorganismos.

Diseño

Las siguientes expresiones se utilizan para determinar las dimensiones de las lagunas de infiltración (Metcalf and Eddy, 1996)

$$L_w = IR \cdot OD \cdot F \cdot 24 \quad (5.20)$$

$$R_a = \frac{L_w}{365} \cdot \frac{\text{Duración del Ciclo Operativo}}{\text{Periodo de Aplicación}} \quad (5.21)$$

$$A_i = \frac{Q \cdot 365}{10 \cdot L_w} \quad (5.22)$$

L_w : Carga hidráulica anual (mm/año)

IR : Velocidad de infiltración (mm/h)

OD : Número de días de funcionamiento al año (d/año)

F : Factor de aplicación (valor especificado en Tabla 5.6)

R_a : Caudal de aplicación diario (mm/d)

A_i : Área total lagunas de infiltración (m²)

Q : Caudal diario a aplicar (m³/d)

Tabla 5.6. Factor de Aplicación

Medidas sobre el terreno	Factor de Aplicación
Ensayo de infiltración en balsas	10 - 15% de la velocidad de infiltración mínima medida
Infiltrómetro cilíndrico y permeámetro con entrada de aire	2 - 4% de la velocidad de infiltración mínima medida
Conductividad hidráulica vertical	4 - 10% de la conductividad del estrato más restrictivo

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Considerando que cada laguna debe tener un periodo de secado, el cual se especifica en el apartado siguiente, el número de lagunas debe ser suficiente para asegurar que siempre exista una zona recibiendo agua.

No son recomendables diseños con cargas de DBO superiores a 150 kg/ha*día.

Operación y Mantenimiento

Es necesario que existan periodos de secado entre aplicaciones con el objeto de permitir la reaireación del suelo, dar el tiempo necesario para la descomposición de materia orgánica y para producir otras transformaciones biológicas como la nitrificación. En la Tabla 5.7. se muestran ciclos de carga típicos.

Tabla 5. 7.Ciclos de Carga Típicos de los Sistemas de Infiltración

Objetivo del ciclo de carga	Estación	Período de Aplicación (d)	Período de Secado (d)
Maximización de las velocidad de infiltración	Verano	1 - 2	5 - 7
	Invierno	1 - 2	7 - 12
Maximización de la eliminación de nitrógeno	Verano	1 - 2	10 - 14
	Invierno	1 - 2	12 - 16
Maximización de la nitrificación	Verano	1 - 2	5 - 7
	Invierno	1 - 2	7 - 12

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

En caso de colmatación es necesario remover la superficie del suelo obturada.

Eficiencia del Tratamiento

En la Tabla 5.8. se muestran valores esperados para aguas percoladas a través de 4,5 m de suelo.

Tabla 5. 8. Calidad de Agua Esperada en Infiltración en Suelo

Parámetro	Valor (mg/l)	
	Media	Máximo
DQO	2	< 5
Sólidos Suspendidos	0,5	< 5
Nitrógeno Amoniacal	La remoción de nutrientes varía de acuerdo a las características del suelo.	
Nitrógeno Total		
Fósforo Total		

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Ventajas

- Sencillo de operar y mantener.
- Económico de operar y mantener.
- No se ve afectado por temperaturas extremas.
- Se puede detener por largos períodos de tiempo y luego volver a utilizar sin problema.

Desventajas

- Requiere permeabilidades altas.
- Requiere que la profundidad de la napa freática o del estrato impermeable se encuentre a una profundidad mayor a 3 m.
- Requiere grandes extensiones de terreno.
- Necesidad de tratamiento primario.

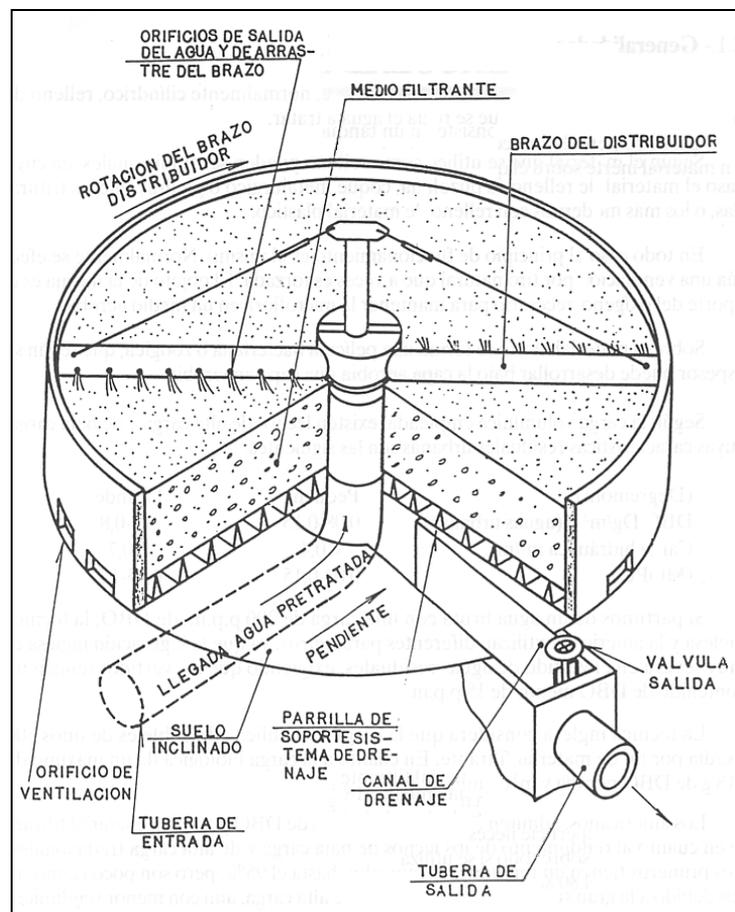
5.2.2. Sistemas de Tratamiento del Tipo Convencional

Las alternativas de tratamiento del tipo convencional involucran mecanización de los sistemas pero utilizan menores extensiones de terreno.

5.2.2.1. Biofiltros o Filtros Percoladores

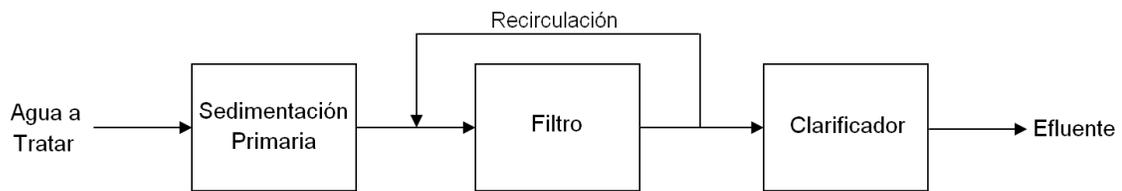
El Filtro Percolador consiste en un lecho formado por un medio permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual. La materia orgánica presente en el agua residual se degrada por la acción de la población de microorganismos adherida al medio. La biomasa en exceso se desprende del medio y es recogida junto al líquido tratado por un sistema de drenaje inferior.

Figura 5. 4. Filtro Percolador



Por lo general este proceso se utiliza como tratamiento secundario, previo a él es necesario someter el agua a tratar a una sedimentación primaria.

Figura 5. 5. Diagrama de Flujo Típico de Filtros Percoladores



Los objetivos fundamentales de la recirculación son diluir la concentración del agua afluyente y hacer que el efluente del filtro se ponga de nuevo en contacto con la población biológica para su tratamiento adicional. La recirculación, casi siempre, forma parte del proceso de filtros percoladores de alta carga.

Los componentes del sistema son:

Sistemas de Distribución: Sistema necesario para distribuir de manera homogénea el agua residual sobre los filtros percoladores. Se utiliza comúnmente el distribuidor rotatorio, el cual está constituido por dos o más brazos montados sobre un pivote central que giran en un plano horizontal. Los brazos son huecos y cuentan con una serie de boquillas por las cuales se distribuye el agua residual.

Además se tienen sistemas de boquillas fijas, las cuales consisten en una serie de boquillas rociadoras situadas en los vértices de un conjunto de triángulos equiláteros que cubren el lecho filtrante.

Medio Filtrante: El medio filtrante ideal es un material que tenga una gran área superficial por unidad de volumen, que sea económico y que no se obstruya fácilmente. Se suelen usar piedras o diferentes materiales plásticos de relleno.

Sistemas de Drenaje Inferior: Sistema necesario para recolectar el agua y la biomasa desprendida del medio. Se debe diseñar con cierta pendiente (entre 1% y 5%) de modo que el agua escurra. Los canales de extracción del efluente se diseñan de modo que se consiga una velocidad mínima de flujo de 0,6 m/s para el caudal medio diario.

Ventilación: Es esencial para el correcto funcionamiento de un filtro percolador, a veces se logra por medio del sistema de drenaje inferior.

Tanques de Sedimentación: La función de los tanques de sedimentación es la producción de un efluente clarificado.

Los filtros percoladores se clasifican según las cargas orgánicas o hidráulicas aplicadas a ellos en: Baja Carga, Carga Intermedia, Carga Alta, Carga Muy Alta, De Desbaste y Doble Etapa. Las características de cada uno de las clasificaciones se muestra a continuación.

Tabla 5. 9. Clasificación de Filtros Percoladores

Elemento	Unidad	Baja Carga	Carga Intermedia	Carga Alta	Carga Muy Alta	De Desbaste	Doble Etapa
Medio Filtrante		Piedra, Escoria	Piedra, Escoria	Plástico	Plástico	Plástico, Madera	Roca, Plástico
Carga Hidráulica	m ³ /m ² /día	1,2 - 3,5	3,5 - 9,4	9,4 - 37,6	11,7 - 70,4	47,0 - 188,0	9,4 - 37,6
Carga Orgánica	kg DBO/m ³ /día	0,08 - 0,40	0,25 - 0,50	0,50 - 0,95	0,48 - 1,60	1,60 - 8,00	0,95 - 1,80
Profundidad	m	1,80 - 2,40	1,80 - 2,40	0,90 - 1,80			
Relación de Recirculación		0	0 - 1	1 - 2	1 - 2	1 - 4	0,5 - 2

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Diseño

La siguiente expresión, obtenida empíricamente, se puede utilizar para determinar la eficiencia de filtros percoladores rellenos con material pétreo (Metcalf and Eddy, 1996)

$$E_1 = \frac{100}{1 + 0,4425 \cdot \sqrt{\frac{W}{V \cdot F}}} \quad (5.23)$$

$$F = \frac{1 + R}{(1 + R/10)^2} \quad (5.24)$$

E_1 : Rendimiento de eliminación de DBO a 20°C (%)

W: Carga de DBO aplicada al filtro (kg/día)

V: Volumen del medio filtrante

F: Factor de Recirculación

R: Tasa de Recirculación (Q_r/Q)

Q_r : Caudal de Recirculación

Q: Caudal de Agua Residual

Existen una serie de expresiones empíricas para filtros percoladores con medios plásticos. La siguiente expresión es la forma general de la ecuación propuesta por Germain y Schultz (1966)

$$\frac{S_e}{S_i} = \exp(-k_{20} \cdot D \cdot (Q_v)^{-n}) \quad (5.25)$$

S_e : DBO del efluente del filtro (mg/l)

S_i : DBO del afluente al filtro (mg/l)

k_{20} : Constante de tratabilidad a la profundidad media del filtro a 20°C.

D: Profundidad del filtro (m²)

Q_v : Caudal volumétrico aplicado por unidad de área del filtro (m³/m²/min)

Q: Caudal aplicado al filtro sin recirculación (m³/min)

n: Constante experimental, normalmente, n=0,5.

Efecto de la Temperatura en el Tratamiento

El efecto de la temperatura sobre la eficiencia del proceso se puede aproximar mediante la siguiente expresión.

$$E_T = E_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (5.26)$$

E_T : Eficiencia del proceso a $T^\circ\text{C}$

E_{20} : Eficiencia del proceso a 20°C

θ : Coeficiente de actividad-temperatura (1,035)

Operación y Mantenimiento

Para conseguir un crecimiento y un desprendimiento uniforme de la biomasa se necesitan caudales de alimentación del filtro dosificados. En la Tabla 5.10. se indican los caudales recomendados a aplicar.

Tabla 5. 10. Dosificación Filtros Percoladores⁴

Carga Orgánica kg/m³/día	Dosificación mm/paso
<0,4	73
0,8	150
1,2	225
1,6	300
2,4	450
3,2	600

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Es necesario limpiar periódicamente el sistema para evitar obstrucciones.

Eficiencia del Tratamiento

Los filtros percoladores bien operados pueden producir un efluente con bajas concentraciones de DBO y altamente nitrificado.

Ventajas

- Estabilidad ante variaciones de la carga y concentración afluente.
- Producción de un lodo estable concentrado, en general bien floculado y fácil de decantar.
- De fácil puesta en marcha luego de una detención.

⁴ Paso corresponde a una vuelta completa del distribuidor rotatorio.

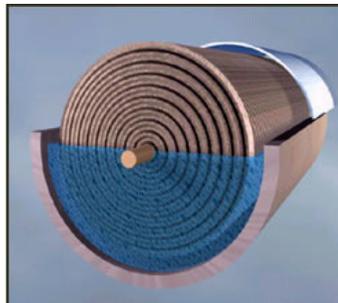
Desventajas

- Necesidad de tratamiento primaria.
- Riesgo de desarrollo de vectores sanitarios especialmente en climas calidos o templados.
- Se pierde gran cantidad de energía al hacer pasar el agua por el medio filtrante.

5.2.2.2. Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios

Un Reactor Biológico de Contacto o Biodiscos consiste en una serie de discos circulares situados sobre un eje a corta distancia unos de otros. Los discos están parcialmente sumergidos en el agua residual y giran lentamente sobre el eje (Ver Figura 5.6.)

Figura 5. 6. Biodiscos



En este sistema los crecimientos biológicos se adhieren a las superficies de los discos hasta formar una película biológica sobre la superficie de los mismos. La rotación de los discos pone a la biomasa en contacto de forma alternativa con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera. La rotación de los discos induce a la transferencia de oxígeno, mantiene a la biomasa en condiciones aerobias y, los esfuerzos cortantes constituyen mecanismo de eliminación del exceso de sólidos en los discos.

Los componentes del sistema son:

Ejes: Se utilizan como soporte del medio y para su rotación.

Medio: En este caso el medio corresponde a los discos, los cuales pueden tener diferentes configuraciones y pueden ser también corrugados.

Mecanismos de Transmisión: Mecanismos necesarios para la rotación de los discos.

Tanques: Instalaciones donde se acumulan las aguas a tratar y sobre las cuales se instalan los discos.

Cerramientos: Cubierta del sistema. El objetivo de los cerramientos es proteger el proceso de la radiación ultravioleta, de las bajas temperaturas, del viento, de las lluvias intensas, evitar problemas de olores y vandalismo, entre otras cosas.

Tanques de Sedimentación: La función de los tanques de sedimentación es la producción de un efluente clarificado.

Diseño

Para el diseño se recomiendan las siguientes cargas a aplicar diariamente por metro cuadrado de superficie efectiva de medio de soporte.

Tabla 5. 11. Parámetros de Diseño Biodiscos

Parámetro	Unidad	Valor
Carga Hidráulica	m ³ /m ² /h	0,08 - 0,16
Carga Orgánica	gr DBOT/m ² /d	9,8 - 17,15
Tiempo de Retención Hidráulica	h	0,7 - 1,5

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Se recomiendan 0,0049 m³/m² de medio como volumen óptimo de los tanques en que se instalan los discos.

Efecto de la Temperatura en el Tratamiento

Los rendimientos de eliminación de materia orgánica se ven disminuidos cuando las temperaturas de las aguas son inferiores a 13°C, haciéndose necesario aumentar la superficie de medio. (Metcalf and Eddy, 1996)

Operación y Mantenimiento

Para operar los biodiscos es necesario una fuente de energía permanente para hacer rotar los discos.

Los principales problemas operacionales que presentan los biodiscos están relacionados con la rotura de ejes, rotura del medio, fallo en los cojinetes de apoyo y problemas de olores. Las roturas de ejes se atribuyen a un incorrecto diseño estructural, a fatiga de metales o a la excesiva acumulación de biomasa en el medio. La rotura del medio se puede producir por exposición a elevadas temperaturas, disolventes orgánicos o a radiación ultravioleta. Los fallos en los cojinetes se atribuyen a la falta de lubricación. Los problemas de olores se producen, en la mayoría de los casos, debido a cargas orgánicas excesivamente elevadas. (Metcalf and Eddy, 1996)

Eficiencia del Tratamiento

El sistema puede alcanzar eficiencias entre 85% y 95% para DBO₅ y Sólidos Suspendidos Totales.

Ventajas

- Es necesaria baja energía para accionarlos.

Desventajas

- Tendencia a generar olores en algunas épocas del año en climas relativamente extremos.
- Requieren de tratamiento primario.
- Se pueden desequilibrar cuando los esfuerzos al eje no están simétricamente distribuidos a lo largo de la componente.
- Presentan alto costo de mantención, debido principalmente a fallas en los motorreductores y ejes.

5.2.2.3. Lodos Activados (Plantas Compactas)

En los sistemas de lodos activados las aguas servidas ingresan a un estanque de aireación en el cual son mezcladas y aireadas, luego de lo cual pasan a una unidad de sedimentación. Parte del material sedimentado es devuelto al estanque de aireación, con el objeto de mantener una población microbiana adecuada en el estanque, y el resto se elimina.

Empresas especializadas desarrollan, diseñan e instalan plantas de tratamiento compactas de lodos activados las cuales generalmente poseen las componentes físicas descritas a continuación.

Estanque de Pretratamiento: En el interior del estanque de pretratamiento se produce la separación física de sólidos, aceites y grasas. A veces también se utilizan rejillas y tamices.

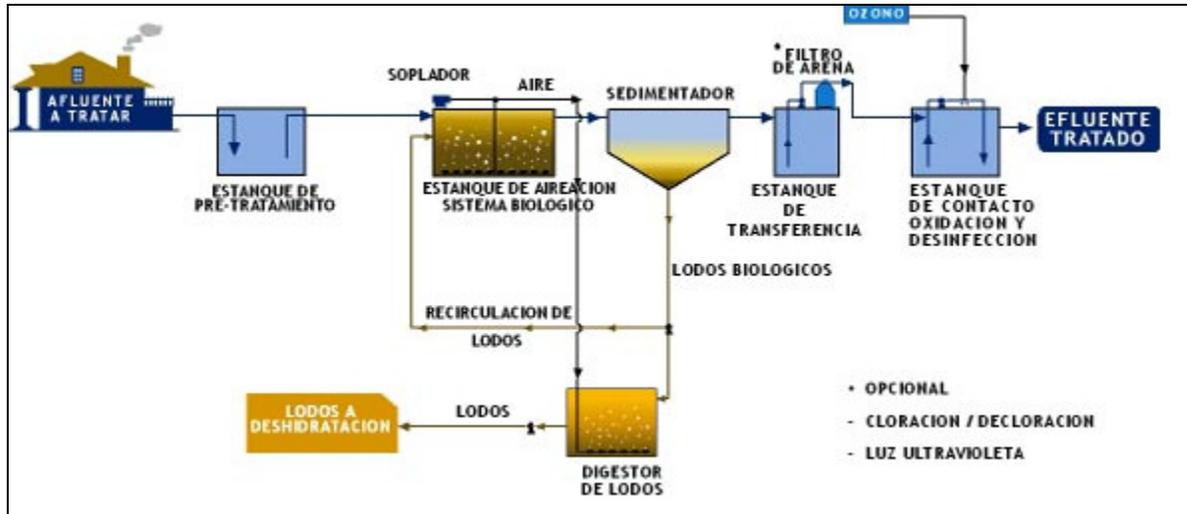
Estanque de Aireación: En el interior del estanque de aireación el agua es mezclada y aireada mediante sopladores y difusores.

Estanque de Sedimentación: Luego del estanque de aireación el agua ingresa al estanque de sedimentación donde las partículas sedimentan y se acumulan en el fondo del estanque. Una parte de las partículas sedimentadas es recirculada al estanque de aireación y la otra es enviada al Estanque de Digestión Lodos para su estabilización y posterior deshidratación.

Filtración: La parte líquida que sale del estanque de aireación es filtrada.

Desinfección: Finalmente el agua ya filtrada es desinfectada con cloro, luz ultravioleta u ozono.

Figura 5. 7. Plantas Compactas de Tratamiento de Aguas Servidas Domésticas



Fuente: www.globalwater.cl

Eficiencia del Tratamiento

Las plantas compactas de tratamiento de aguas servidas pueden alcanzar niveles de remoción de contaminantes análogos a los alcanzados por sistemas de lodos activados convencionales más desinfección.

Tabla 5. 12. Eficiencia Lodos Activados

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	90% - 95%
Nitrogeno Total	mg/l	15% - 30%
Fosfóro Total	mg/l	10% - 25%

Fuente: Homsí y Asociados Ltda. (2007). Estudio de Soluciones de Saneamiento Rural.

Ventajas

- Se obtiene un efluente de muy buena calidad utilizando poco espacio.
- Pueden ser construidas de distintos materiales dependiendo de las condiciones del terreno y de la napa freática.
- Existen alternativas de plantas compactas sencillas de transportar, montar y desmontar.

Desventajas

- Se requiere capacitar a la persona encargada de la operación de la planta
- Requiere energía eléctrica para su operación.

5.2.2.4. Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)

Un Reactor Discontinuo Secuencial o Sequencing Batch Reactor es una variante del proceso de lodos activados. En este sistema, a diferencia del tratamiento

convencional de lodos activados, todos los procesos tienen lugar secuencialmente en el mismo tanque. Todos los sistemas de SBR tienen en común cinco etapas:

Llenado: En esta fase el agua residual ingresa al reactor. Dura aproximadamente el 25% del ciclo.

Reacción: En esta fase ocurren las reacciones necesarias para degradar la materia orgánica presente en las aguas servidas. Dura aproximadamente el 35% del ciclo.

Sedimentación: El objetivo de esta fase es permitir la separación de sólidos para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente.

Vaciado: El propósito de esta fase es la extracción del agua clarificada del reactor. El tiempo que se dedica al vaciado del reactor puede variar entre el 20% y el 50% de la duración total del ciclo, siendo 45 min. una duración típica.

Fase Inactiva: El objetivo de la fase inactiva en un sistema de múltiples tanques es permitir que un reactor termine su fase de llenado antes de comenzar con otra unidad.

En su forma más simple un reactor batch consiste en un tanque equipado con un ingreso para el agua servida cruda, un sistema de aireación, un mecanismo de decantación para remover el sobrenadante después de la sedimentación y un mecanismo de control de tiempo y secuencia de los procesos.

Diseño

Los criterios de diseño son análogos a los utilizados en procesos de lodos activados.

Efecto de la Temperatura en el Tratamiento

La temperatura del agua afecta la velocidad de la reacción biológica. El efecto producido modifica el valor de la constante de reacción, lo cual se expresa en la siguiente ecuación.

$$k_T = k_{20} \cdot \theta^{(T^\circ - 20)} \quad (5.27)$$

k_T : Velocidad de reacción a $T^\circ\text{C}$

k_{20} : Velocidad de reacción a 20°C

θ : Coeficiente de actividad-temperatura (1,04)

Operación y Mantenimiento

Para la operación del sistema es necesario utilizar válvulas que permitan controlar las secuencias y tiempos de las diferentes operaciones. Además es necesaria una bomba para evacuar lodos, operación se puede realizar en la fase de sedimentación o en la de inactividad. La cantidad y frecuencia con la que se evacuan los lodos se determina según las necesidades dictadas por los rendimientos.

Eficiencia del Tratamiento

Los sistemas SBR pueden alcanzar niveles de remoción de contaminantes equivalentes a los alcanzados por sistemas convencionales de lodos activados.

Tabla 5. 13. Eficiencia Lodos Activados

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	90% - 95%
Nitrogeno Total	mg/l	15% - 30%
Fosfóro Total	mg/l	10% - 25%
Coliformes Fecales	NMP /100ml	60% - 90%

Fuente: Homsí y Asociados Ltda. (2007). Estudio de Soluciones de Saneamiento Rural.

Ventajas

- El tanque SBR sirve como tanque ecualizador de caudales y de cargas orgánicas durante la etapa de llenado.
- Los sólidos suspendidos del Licor Mezclado pueden mantenerse en el tanque tanto como sea necesario.
- No se requiere de bombas de retorno de lodos, dado que el Licor Mezclado se encuentra siempre en el reactor.
- La separación sólido-líquido ocurre bajo condiciones cercanas a la quietud, por lo que el proceso suele ser mucho más eficiente que en un reactor de flujo continuo.
- Un sistema SBR puede ser operado para alcanzar nitrificación, desnitrificación y remoción de fósforo sin adición de reactivos químicos.

Desventajas

- Para la operación del sistema es necesaria una unidad de control que regule el funcionamiento de las válvulas o en su defecto una persona capacitada para realizar esta labor.

5.2.2.5. Lagunas Aireadas

Las Lagunas Aireadas se desarrollan a partir de estanques de estabilización facultativos en los que se instalan aireadores de superficie para acelerar el proceso. A continuación se describen dos tipos de lagunas aireadas.

- Laguna Aireada Aerobia: En estas lagunas 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 mantienen en suspensión. El proceso puede ser asimilado a un lodo activado sin recirculación.
- Laguna Aireada Facultativa: En estas lagunas la potencia entregada permite introducir el oxígeno necesario para el proceso, pero no asegura que todos los sólidos se mantengan en suspensión. Ello trae como consecuencia la generación de algas y la decantación de parte de sólidos en la laguna, los que se digieren anaeróbicamente.

Las principales características de cada una de las lagunas aireadas se muestran en la Tabla 5.14.

Tabla 5. 14. Características Lagunas Aireadas

Característica	Laguna Aireada Aerobia	Laguna Aireada Facultativa
Tiempo de Retención Hidráulica	3 - 5 días	5 - 12 días
Profundidad	2,5 - 5 m	2,5 - 5 m
Potencia	> 3 W/m ³	> 0,75 W/m ³

Fuente: Apuntes Procesos Unitarios de Tratamiento de Aguas Residuales (2007)

Las componentes físicas del sistema son análogas a las descritas para las lagunas de estabilización pero incluyendo los mecanismos encargadas de la adición de oxígeno a la laguna.

Diseño

Las siguientes expresiones son utilizadas en el diseño de lagunas aireadas.

$$X = \frac{y \cdot (S_0 - S_e)}{1 + K_d \cdot \theta} \quad (5.28)$$

$$S_e = \frac{1 + K_d \cdot \theta}{y \cdot \left(\frac{k}{K_s}\right) \cdot \theta} \quad (5.29)$$

X: Concentración de microorganismos en el efluente (mg/l)

S₀: Concentración DBO en el afluente (mg/l)

S_e: Concentración DBO filtrada en el efluente (mg/l)

θ: Tiempo de retención hidráulico (d)

y, K_d, k, K_S: Constantes cinéticas.

Los valores de los coeficientes cinéticos utilizados para aguas servidas domésticas se muestran en la Tabla 5.15.

Tabla 5. 15. Coeficientes Cinéticos Aguas Servidas Domésticas

Coeficiente	Unidad	Rango	Típico
k	1/d	2 - 100	5
K _s	mg/l DBO ₅	25 - 100	60
y	mg SSV/mg DBO ₅	0,4 - 0,8	0,6
K _d	1/d	0,025 - 0,075	0,06

Fuente: Apuntes Procesos Unitarios de Tratamiento de Aguas Residuales (2007)

Efecto de la Temperatura en el Tratamiento

La temperatura del agua afecta la velocidad de la reacción biológica. El efecto producido modifica el valor de la constante de reacción, lo cual se expresa en la siguiente ecuación.

$$k_T = k_{20} \cdot \theta^{(T^\circ - 20)} \quad (5.30)$$

k_T : Velocidad de reacción a $T^\circ\text{C}$

k_{20} : Velocidad de reacción a 20°C

θ : Coeficiente de actividad-temperatura (1,08)

Para determinar la temperatura en el interior de la laguna se puede utilizar la ecuación (5.7).

Operación y Mantenimiento

Para la operación son necesarios aireadores o difusores de aire. Además es necesario retirar periódicamente los lodos acumulados en el interior de la laguna de sedimentación.

Eficiencia del Tratamiento

En las tablas 5.16. y 5.17. se muestran las eficiencias alcanzadas tanto para las lagunas aerobias como para las lagunas facultativas.

Tabla 5. 16. Eficiencia Lagunas Aireadas Aerobias

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	50% - 60%
Nitrógeno	mg/l	80% - 90% incluyendo laguna de sedimentación
Fósforo	mg/l	No nitrifica
Coliformes Fecales	NMP /100 ml	No remueve
		90% - 99%

Fuente: Homsí y Asociados Ltda. (2007). Estudio de Soluciones de Saneamiento Rural.

Tabla 5. 17. Eficiencia Lagunas Aireadas Facultativas

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	70% - 80%
Nitrógeno	mg/l	Nitrificación Parcial
Fósforo	mg/l	No remueve
Coliformes Fecales	NMP /100 ml	90% - 99%

Fuente: Homsí y Asociados Ltda. (2007). Estudio de Soluciones de Saneamiento Rural.

Ventajas

- Proceso simple y confiable
- Baja producción de lodos
- Buen grado de estabilización de lodos

Desventajas

- Altos requerimientos de energía a bajas condiciones de carga.

En la Tabla 5.18 se resumen las características principales de los tratamientos biológicos.

Tabla 5. 18. Resumen Alternativas de Tratamiento Biológicas

Tratamiento	Tipo	Tratamiento Previo	Operación/Mantenimiento	Efecto Clima	Costo Operación
Lagunas de Estabilización	No Convencional	Tratamiento Preliminar	No requiere energía.	La temperatura afecta la velocidad de la reacción.	Medio
Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial	No Convencional	Tratamiento Primario	Requiere energía para mantenerlo siempre húmedo (recirculación agua)	La temperatura afecta la velocidad de la reacción, pero se produce una protección térmica.	Medio
Lombrifiltración	No Convencional		Requiere energía para mantenerlo siempre húmedo (recirculación agua)	Temperaturas extremas afectan a las lombrices.	Medio
Sistemas de Infiltración en Suelo	No Convencional	Tratamiento Primario	No requiere energía.		Bajo
Biofiltros o Filtros Percolados	Convencional	Tratamiento Primario	Requiere energía para su funcionamiento.	La temperatura afecta la velocidad de la reacción y en climas cálidos existe riesgo de desarrollo de vectores sanitarios.	Alto
Biodiscos o Contactores Biológicos Rotatorios	Convencional	Tratamiento Primario	Requiere energía para su funcionamiento.	La temperatura afecta la velocidad de la reacción y en climas extremos tiene tendencia a generar olores.	Alto
Lodos Activados (Plantas Compactas)	Convencional	Tratamiento Preliminar	Requiere energía para su funcionamiento.	La temperatura afecta la velocidad de la reacción.	Alto
Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	Convencional	Tratamiento Preliminar	Requiere energía para su funcionamiento.	La temperatura afecta la velocidad de la reacción.	Alto
Lagunas Aireadas	Convencional	Tratamiento Preliminar	Requiere energía para su funcionamiento.	La temperatura afecta la velocidad de la reacción.	Alto

5.2.3. Tratamientos Físicoquímicos

Los tratamientos físicoquímicos, tal como su nombre lo indica, realizan el mejoramiento de la calidad de las aguas servidas mediante procesos físicos y químicos. Los procesos unitarios involucrados y el orden de los mismos en el tratamiento depende

del tipo de agua servida a tratar y de la calidad esperada de ésta. Los procesos unitarios más comúnmente utilizados se describen a continuación.

Regulación-Ecualización

Este proceso permite mantener constantes el caudal y las características de las aguas servidas con el fin de obtener un afluente uniforme y condiciones adecuadas para procesos posteriores de tratamiento.

Coagulación-Floculación

La Coagulación es el proceso en el cual, debido a la adición de un producto químico, las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al agua llamados flocs. La Floculación corresponde a la segunda fase de formación de partículas sedimentables, en esta fase se consiguen partículas coaguladas que tienen un tamaño suficiente para sedimentar rápidamente por efecto de la gravedad.

Sedimentación

La Sedimentación emplea la fuerza de gravedad para que las partículas presentes en el agua se depositen en el fondo de un sedimentador, desde donde son extraídas posteriormente. Sólo sedimentan aquellas partículas cuya densidad es mayor a la densidad del agua, mientras mayor sea la densidad de la partícula más rápido se depositará.

Flotación

La Flotación se emplea en sustitución de la sedimentación, se utiliza cuando las aguas servidas contienen una alta concentración de aceites y grasas, flocs livianos de difícil sedimentabilidad o el volumen de lodos decantados es muy alto. Este proceso se produce mediante la introducción de aire en forma de microburbujas, las partículas contaminantes se fijan en estas microburbujas produciéndose así su remoción al ascender a la superficie.

Filtración

La Filtración en Medios Granulares es usada en tratamiento de aguas servidas para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos. También se emplea para la eliminación del fósforo precipitado por vía química.

Ventajas

- Se pueden remover algunos contaminantes específicos que el tratamiento biológico no remueve.
- Los tratamientos fisicoquímicos no presentan problema alguno al ser sometidos a climas extremos.
- Pueden ser de menor tamaño.

- Pueden ser detenidos y hacerlos volver a operar sin necesidad de esperar un periodo de tiempo para lograr la remoción necesaria.

Desventajas

- Elevados costos de operación y mantenimiento.
- Los lodos producidos en el tratamiento pueden ser difíciles de manejar y disponer.
- No remueven materia orgánica disuelta.

5.3. DESINFECCIÓN DEL EFLUENTE

La desinfección consiste en la destrucción de los organismos que causan enfermedades a los seres humanos, no todos los organismos se destruyen durante el proceso, punto en el que radica la principal diferencia entre la desinfección y la esterilización.

En la Tabla 5.19. se describen las características principales de los desinfectantes más utilizados en la actualidad.

Tabla 5. 19. Características de Desinfectantes más utilizados

Característica	Propiedades / Respuesta	Desinfectante						
		Cloro	Hipoclorito de Sodio	Hipoclorito de Calcio	Dióxido de Cloro	Cloruro de Bromo	Ozono	Radiación UV
Toxicidad para los microorganismos.	Debe ser altamente tóxico a altas concentraciones.	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o en tejido celular	Ligera	Alta	Alta	Alta	Ligera	Alta	N/A
Estabilidad	La pérdida de acción germicida con el tiempo debe ser baja.	Estable	Ligeramente Estable	Relativamente Estable	Inestable, debe generarse a medida que se consume.	Ligeramente Inestable	Inestable, debe generarse a medida que se consume.	Debe generarse a medida que se consume.
No tóxico para las formas de vida superiores.	Debe ser tóxico para los microorganismos y no tóxico para el hombre y otros animales.	Altamente tóxico para las formas de vida superiores.	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Homogeneidad	La disolución debe ser uniforme en su composición.	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	N/A
Interacción con materias extrañas	No debe ser absorbido por otra materia orgánica que las células bacterianas	Oxida la materia orgánica	Oxidante Activo	Oxidante Activo	Alta	Oxida la materia orgánica	Oxida la materia orgánica	
Toxicidad a temperatura ambiente	Debe ser efectivo en el intervalo de temperaturas ambiente	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Penetración	Debe tener la capacidad de penetrar a través de las superficies	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderado
No corrosivo y no colorante	No debe atacar los metales ni teñir la ropa	Muy corrosivo	Corrosivo	Corrosivo	Muy corrosivo	Corrosivo	Muy corrosivo	N/A
Capacidad desodorante	Debe desodorizar a la vez que desinfectar	Alta	Moderado	Moderado	Alta	Moderado	Alta	
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a un precio razonable	Costo bajo	Costo moderadamente bajo	Costo moderadamente bajo	Costo moderadamente bajo	Costo moderadamente bajo	Costo moderadamente elevado	Costo moderadamente elevado

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Los desinfectantes más utilizados en Chile son el cloro y sus compuestos, por lo que el apartado a continuación está dedicado a estos desinfectantes.

5.3.1. Desinfección con Cloro y sus Compuestos

Los compuestos de cloro más frecuentemente utilizados en las plantas de tratamiento de agua residual son el cloro (Cl_2), el hipoclorito de calcio $[\text{Ca}(\text{OCl})_2]$ y el hipoclorito de sodio (NaOCl).

Cloro: El cloro se suministra en forma de gas licuado a alta presión. Es necesario mencionar que el cloro gas es tóxico y muy corrosivo, por lo que tanto el manejo como el almacenamiento se debe realizar en condiciones de extremo cuidado.

Hipoclorito de Calcio: El hipoclorito de calcio se comercializa en forma seca o líquida. En forma seca se suministra en gránulos, polvo, tabletas comprimidas o en pastillas. Los gránulos y pastillas de hipoclorito de calcio se disuelven fácilmente en agua y bajo condiciones de almacenamiento adecuadas son relativamente estables. El hipoclorito de calcio se debe almacenar en lugares frescos y secos, alejados de otros productos químicos y en contenedores resistentes a la corrosión.

Hipoclorito de Sodio: Se comercializa en forma seca o líquida. Se debe almacenar en recintos frescos y en depósitos resistentes a la corrosión.

Las instalaciones físicas necesarias para desinfectar el efluente son descritas a continuación.

Instalaciones de Inyección: La capacidad del equipo de inyección debe ser adecuada para proveer las dosis requeridas a condiciones de caudal máximo.

Instalaciones de Mezcla: La cloración requiere una mezcla rápida en el punto de aplicación. En general se utiliza un resalto, un vertedero o un mezclador mecánico.

Cámara de Contacto: Es la encargada de dar el tiempo de contacto necesario al cloro para producir la desinfección.

Diseño

La desinfección con cloro involucra una serie de reacciones que dependen de la temperatura, pH, sólidos suspendidos totales y de las condiciones de los microorganismos. Por lo que es conveniente realizar ensayos de laboratorio para determinar las dosis óptimas de cloro. Sin embargo en ausencia de datos concretos se pueden emplear los valores máximos de las tablas a continuación.

Tabla 5. 20. Tiempo de Contacto

Tiempo de Contacto	20 a 30 min.
---------------------------	--------------

Fuente: Apuntes Procesos Unitarios de Tratamiento de Agua Residuales (2007)

Tabla 5. 21. Dosis para Aguas Residuales

Tipo de Efluente	Dosis (mg/l)
Aguas Servidas Crudas	20 - 30
Aguas Servidas Sedimentadas	20 - 25
Efluente Proceso Químico	15 - 20
Efluente Lodos Activados	5 - 8
Efluente Planta Filtros Percolados	3 - 15

Fuente: Apuntes Procesos Unitarios de Tratamiento de Aguas Residuales (2007)

Efecto de la Temperatura en la Desinfección con Cloro

El aumento de la temperatura produce un aumento en la velocidad de mortalidad. Este efecto puede ser aproximado por la siguiente expresión.

$$\ln\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = \frac{E \cdot (T_2 - T_1)}{R \cdot T_1 \cdot T_2} \quad (5.31)$$

t_1 : Tiempo necesario para alcanzar el porcentaje de mortalidad a la temperatura T_1 ($^{\circ}\text{K}$)

t_2 : Tiempo necesario para alcanzar el porcentaje de mortalidad a la temperatura T_2 ($^{\circ}\text{K}$)

E: Energía de activación (J/mol)

R: Constante de los gases. 8,314 J/mol \cdot $^{\circ}\text{K}$ (1,99 cal/ $^{\circ}\text{K}$ \cdot mol)

Valores típicos de la energía de activación se muestran en la Tabla 5.22.

Tabla 5. 22. Energía de Activación

Compuesto	pH	E (cal/mol)
Cloro Acuoso	7	8200
	8,5	6400
	9,8	12000
	10,7	1500

Fuente: Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.

Eficiencia del Tratamiento

Experimentalmente se ha comprobado que inyecciones de cloro en concentraciones de 0,5 mg/l son suficientes para eliminar hasta el 99,9% de coliformes en aguas con DQO < 3 mg/l, a pH entre 7 y 8, a 20°C. (EPA, 1977)

Ventajas

- Deja residual en el agua lo cual prolonga el efecto bactericida.
- Permite eliminar olores.
- Económico comparado con otras tecnologías.

Desventajas

- El residual de cloro es tóxico a la vida acuática.
- Todas las formas de cloro son corrosivas y tóxicas, por lo cual se deben mantener adecuadas condiciones de seguridad.
- El cloro puede producir trihalometanos al reaccionar con cierto tipo de materia orgánica.
- Se incrementan los niveles de sólidos disueltos y cloruros en el efluente.

5.4. DISPOSICIÓN O REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE

Luego de tratar las aguas servidas es necesario disponerlas o reutilizarlas. A continuación se especifican las condiciones necesarias para disponer o reutilizar las aguas tratadas. Es necesario mencionar que en las tablas de los apartados a continuación sólo se especifican los contaminantes típicos de aguas servidas domésticas.

5.4.1. Reutilización en Riego

Las recomendaciones de calidad de agua para riego especificados en la NCh 1333/Of78 Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos se muestran en la Tabla 5.23.

Tabla 5. 23. Requisitos para Riego⁵

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permitido
Coliformes Fecales *	NMP /100 ml	1000

* Para el riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo.

5.4.2. Disposición por Infiltración

En los casos en que el caudal a infiltrar posea una carga contaminante media diaria mayor a la producida por 100 hab se debe cumplir con el DS N° 46/02, el cual establece los límites de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.

Los límites máximos de concentración permitidos en el DS N° 46/02 se definen de acuerdo a la vulnerabilidad del acuífero, la cual es determinada por la Dirección General de Aguas.

Si la vulnerabilidad del acuífero es declarada como alta no se podrán disponer residuos líquidos mediante infiltración. Los límites máximos permitidos para descargar

⁵ Sólo se especifican contaminantes típicos de aguas servidas domésticas. En Anexo A se incluye lista completa de contaminantes.

residuos líquidos en condiciones de vulnerabilidad media y baja se muestran en las tablas 5.24. y 5.25.⁶

Tabla 5. 24. Límites Máximos Permitidos en Condiciones de Vulnerabilidad Media

Contaminante	Unidad	Límites Máximos Permitidos
pH		6,0 - 8,5
N-Nitrato + N-Nitrito	mg/l	10
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	10

Tabla 5. 25. Límites Máximos Permitidos en Condiciones de Vulnerabilidad Baja

Contaminante	Unidad	Límites Máximos Permitidos
pH		6,0 - 8,5
N-Nitrato + N-Nitrito	mg/l	15
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	15

5.4.3. Disposición en Cursos de Agua Superficiales

El DS N° 90/01 regula la emisión de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a cuerpos de aguas superficiales, considerando como cuerpos de agua superficiales a ríos, lagos y mar. Este decreto regula sólo las descargas en las que la carga contaminante media diaria es mayor a la producida por 100 hab.

En las tablas 5.26 y 5.27 se muestran los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de aguas marinos dentro y fuera de la zona de protección litoral.

⁶ Sólo se especifican contaminantes típicos de aguas servidas domésticas. La lista completa de contaminantes se encuentra en DS N° 46/02.

Tabla 5. 26. Límites Máximos Permitidos para la descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Marinos Dentro de la Zona de Protección Litoral⁷

Contaminante	Unidad	Límites Máximos Permitidos
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000 - 70*
DBO ₅	mg/l	60
Fósforo	mg/l	5
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	50
pH		6,0 - 9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	100
Temperatura	°C	30

* En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml

Tabla 5. 27. Límites Máximos Permitidos para la descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Marinos Fuera de la Zona de Protección Litoral⁴

Contaminante	Unidad	Límites Máximos Permitidos
Sólidos Suspendidos	NMP/100 ml	700 - 300*
Aceites y Grasas	mg/l	350 - 150*

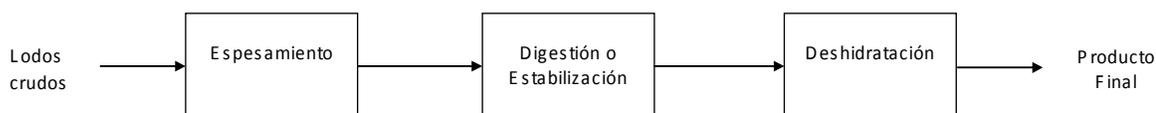
* A partir del año 2011

5.5. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LODOS

5.5.1. Tratamiento

El objetivo del tratamiento de lodos es obtener un producto estable que pueda ser dispuesto sin generar daño al medioambiente ni crear condiciones molestas. En la Figura 5.8. se especifican los procesos comúnmente utilizados en el tratamiento de lodos.

Figura 5. 8. Procesos Típicos de Tratamiento de Lodos



En los apartados a continuación se describen brevemente los procesos indicados en la figura 5.6.⁸

⁷ Sólo se especifican contaminantes típicos de aguas servidas domésticas. La lista completa de contaminantes se encuentra en DS N° 90/00.

5.5.1.1. Espesamiento

El objetivo del espesamiento es disminuir parcialmente el contenido líquido de los lodos. Se logra una disminución entre el 2 y 10%.

Las técnicas más comúnmente utilizadas para el espesamiento de lodos son las siguientes:

Espesamiento Gravitacional: Como su nombre lo dice, el espesamiento se produce por gravitación. Se utiliza para concentrar sólidos en lodos primarios, secundarios y/o combinaciones de ellos.

Espesamiento por Flotación por Aire Disuelto: La separación de sólido se produce mediante burbujas de aire. Se utiliza para concentrar los sólidos en lodos activados y/o químicos.

Centrifugación: Requiere uso de polímeros, altos costos de energía y de mantención. Se utiliza para concentrar los sólidos en lodos activados y/o químicos.

5.5.1.2. Digestión o Estabilización

El objetivo de la estabilización es reducir el contenido de patógenos, eliminar olores desagradables y eliminar el potencial de putrefacción.

Los procesos más comúnmente utilizados para la digestión de lodos son los siguientes:

Digestión Anaeróbica: La descomposición de la materia orgánica se realiza en ausencia de oxígeno.

Digestión Aeróbica: La descomposición de la materia orgánica se realiza en presencia de oxígeno.

Estabilización con Cal: La estabilización se realiza mediante la adición de cal líquida o seca.

5.5.1.3. Deshidratación

El objetivo de la deshidratación es reducir el volumen y peso de los lodos con el fin de minimizar los requerimientos de almacenamiento, transporte y disposición.

Para deshidratar el lodo es necesario desestabilizar las partículas previamente, lo cual se hace mediante la adición de productos químicos inorgánicos y orgánicos como cloruro férrico, cal y polielectrolitos.

⁸ La descripción es breve dado que se considera que el tratamiento de lodos es complejo para ser realizado por los pobladores, es recomendable pagar por el retiro de lodos y que éstos sean tratados por empresas especialistas en el tema.

Los procesos más comúnmente utilizados para la deshidratación de lodos son los siguientes:

Filtro Prensa de Banda: El sistema consiste en dos cintas móviles que sometidas a presión deshidratan el lodo en forma continua.

Centrifugas: Utiliza las fuerza centrífugas para acelerar la velocidad de sedimentación de los sólidos.

Lechos de Secado: Consiste en disponer el lodo en capas de 20 a 30 cm sobre un lecho constituido por arena y grava y bajo el cual hay una tubería perforada que permite el drenaje. El deshidratado ocurre por drenaje por gravedad y por evaporación.

5.5.2. Disposición o Utilización de Lodos

Los lodos ya tratados pueden ser incinerados, dispuestos en rellenos sanitarios, utilizados en aplicaciones agrícolas y/o distribuidos y vendidos.

6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAMENTE FACTIBLES

El objeto de este capítulo es seleccionar las alternativas de tratamiento que sean técnicamente aplicables a las poblaciones rurales analizadas, para luego hacer una evaluación económica de éstas y escoger la mejor alternativa para cada una de las poblaciones.

Los factores a considerar al momento de escoger las alternativas son:

- Programa Nacional de Agua Potable Rural
- Características Aguas Servidas
- Características Región de Antofagasta
- Características Poblaciones Rurales

6.1. FACTORES A CONSIDERAR

6.1.1. Programa Nacional de Agua Potable Rural

El Programa Nacional de Agua Potable Rural se creó en 1964 como respuesta a los graves problemas de morbilidad y mortalidad infantil en los sectores rurales. Su objetivo fue solucionar el déficit de abastecimiento de agua potable en las localidades rurales del país. El Programa ha operado con éxito y actualmente se ha logrado más de un 90% de cobertura de agua potable en las poblaciones rurales.

En el Programa de Agua Potable Rural la inversión, es decir, la instalación y construcción de la planta de tratamiento y redes es realizada por el gobierno con recursos fiscales, pero la explotación del servicio debe ser realizada por la comunidad, que cuenta para ello con asesoría técnica permanente. Cada comunidad conforma un comité encargado de la administración, operación y mantención del servicio de APR, el cual debe lograr un autofinanciamiento operativo.

El funcionamiento de los sistemas de tratamiento de Aguas Servidas será similar al funcionamiento actual del Programa de APR, es decir, la inversión será realizada por el gobierno y la explotación del servicio por los beneficiados del sistema.

6.1.2. Características Aguas Servidas

Una vez conocidas las características de las aguas servidas se puede determinar los contaminantes a remover por el tratamiento.

6.1.2.1. Concentraciones de Contaminantes Típicos de Aguas Servidas Domésticas.

A partir de las cargas medias diarias de contaminantes producidas por 100 habitantes se obtienen las cargas de contaminantes típicas de aguas servidas domésticas producidas por persona a diario.

Tabla 6. 1. Cargas Contaminantes Típicas Aguas Servidas Domésticas⁹

Elemento	Expresión	Carga Contaminante g/100 hab * día	Carga Unitaria g/hab*día
Sólidos Suspendidos	SS	3520	35,2
Aceites y Grasas	A y G	960	9,6
DBO ₅	DBO ₅	4000	40
Fósforo Total	P	160	1,6
Nitrogeno Total Kjeldahl	NKT	800	8

Para obtener las concentraciones de contaminantes en las aguas servidas se adoptará un valor para la dotación igual a 100 l/hab*día, aunque es necesario mencionar que dada la baja disponibilidad de agua en la zona algunas de las poblaciones estudiadas pueden presentar dotaciones menores, lo que implica concentraciones mayores de contaminantes.

Como Factor de Recuperación se adoptará un valor igual a 1, dado que en este tipo de poblaciones se considera que el uso de agua potable es únicamente doméstico.

Tabla 6. 2. Dotación y Factor de Recuperación

Dotación (l/hab * día)	100
Factor de Recuperación	1

Tabla 6. 3. Concentraciones de Contaminantes Típicos de Aguas Servidas Domésticas

Elemento	Expresión	Unidad	Concentración
Sólidos Suspendidos	SS	mg/l	352
Aceites y Grasas	A y G	mg/l	96
DBO ₅	DBO ₅	mg/l	400
Fósforo Total	P	mg/l	16
Nitrogeno Total Kjeldahl	NKT	mg/l	80
Coliformes Fecales	CF	NMP/100 ml	10 ⁸

Fuente: Elaboración Propia

⁹ Valores obtenidos de normas de emisión DS N° 609.

6.1.2.2. Contaminantes a Remover

En los casos en que se elijan soluciones en base a colectores públicos se considera que el efluente tratado será descargado al mar, infiltrado o reutilizado en riego, dependiendo de las características de cada población¹⁰. Si las poblaciones poseen más de 100 habitantes los contaminantes a remover quedan determinados por los límites de concentraciones exigidos en las normas de emisión y por los requisitos requeridos para el agua a utilizar en riego. Un resumen de estos límites se muestra en la Tabla 6.4.

Tabla 6. 4. Límites Normas de Emisión y Requisitos de Agua para Riego

Parámetro	SS mg/l	A y G mg/l	DBO5 mg/l	P mg/l	NKT mg/l	N y N mg/l	CF NMP/ 100 ml
Aguas Servidas	352	96	400	16	80	24	10 ⁸
Disposición dentro de ZPL (DS 90)	100	20	60		50		1000 - 70*
Disposición fuera de ZPL (DS 90)	700 - 300**	350 - 150**					
Infiltración - Vulnerabilidad Alta (DS 46)	No se puede infiltrar						
Infiltración - Vulnerabilidad Media (DS 46)		10			10	10	
Infiltración - Vulnerabilidad Baja (DS 46)		10			15	15	
Reutilización en Riego (NCh 1333)							1000***

* Áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos.

** A partir del año 2011.

*** Para el riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo.

6.1.3. Características Región de Antofagasta

Las características que deben ser consideradas al momento de escoger un sistema de tratamiento se listan a continuación.

- Gran escasez de recursos hídricos en la zona, por lo cual sería beneficioso reutilizar el agua tratada.
- En zonas costeras de la región la amplitud térmica anual y diaria es baja.
- En la depresión intermedia y altiplano la amplitud térmica diaria es bastante alta, a diferencia de la amplitud térmica anual, la cual es bastante baja.

6.1.4. Características Poblaciones Rurales

Las características de las poblaciones rurales que deben ser consideradas al momento de escoger un sistema de tratamiento se listan a continuación.

- Bajos ingresos de los habitantes de las poblaciones rurales.

¹⁰ No se considera la disposición del efluente en cuerpos de aguas continentales superficiales dada la escasez y los bajos caudales de estos cuerpos de agua en la región.

- Algunas de las poblaciones no poseen servicio de agua potable.
- La mayoría de las poblaciones no posee energía eléctrica.
- Gran parte de las poblaciones se ubican en territorios vulnerables.
- Grandes distancias entre poblaciones en la región, por lo cual juntar y tratar los residuos de dos o más poblaciones presenta un costo altísimo.

6.2. ALTERNATIVAS ESCOGIDAS

Para definir las alternativas de tratamiento se considerarán cada uno de los factores mencionados en el apartado anterior.

6.2.1. Soluciones Individuales

Tanto para zonas costeras como para zonas altiplánicas se considerarán la Unidad Sanitaria Seca y la Fosa Séptica como alternativas individuales de solución. Como sistemas de infiltración se considerará pozo absorbente o drenes de infiltración.

Es necesario mencionar que para disponer los efluentes de estos sistemas no es necesario cumplir con los límites especificados en la Tabla 6.4, ya que la carga media diaria de contaminantes producida en estos sistemas es menor a la producida por 100 habitantes.

6.2.2. Soluciones en Base a Colectores Públicos

6.2.2.1. Sistemas de Recolección

Tanto el alcantarillado tradicional como el alcantarillado de pequeño diámetro son técnicamente factibles de utilizar en cada una de las poblaciones, por lo que se consideran factibles ambas alternativas.

Es necesario mencionar que en el caso de las poblaciones rurales que ya posean fosas sépticas, éstas serán consideradas como estanque interceptor para alcantarillados de pequeño diámetro.

6.2.2.2. Tratamiento

Dado que la población beneficiada por el tratamiento es la encargada de mantener y operar el sistema, se opta por sistemas de tratamiento biológicos del tipo no convencional, específicamente se escogen como alternativa de tratamiento los humedales artificiales de flujo sub-superficial y los sistemas de infiltración en suelo. Las principales ventajas y desventajas de estos sistemas son mostradas en la Tabla 6.5.

Tabla 6. 5. Ventajas y Desventajas de Soluciones Planteadas

Humedales Artificiales de Flujo Sub-Superficial	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Sencillo de mantener - Económico de mantener - No produce lodos - Al ser de flujo sub-superficial el agua no queda expuesta a las temperaturas extremas del medio - Al ser de flujo sub-superficial se evita la proliferación de olores y/o vectores sanitarios - Al ser de flujo sub-superficial el agua no queda expuesta al público 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere grandes cantidades de terreno - La eficiencia del sistema no siempre es constante - Los humedales deben estar siempre húmedos - Requiere tratamiento primario - No se cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema. - Requiere especies de plantas adaptadas a las condiciones del lugar.
Sistemas de Infiltración en Suelo	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Sencillo de mantener y operar - Económico de mantener y operar - No se ve afectado por temperaturas extremas - No produce lodos 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere grandes cantidades de terreno - Requiere permeabilidades que permitan infiltrar - La profundidad de la napa freática o del estrato impermeable debe ser mayor a 3 m - Requiere tratamiento primario - No se cuenta con variables operativas que permitan controlar el sistema - Para reutilizar el efluente se requiere un sistema colector de drenes inferiores

En ambos sistemas se requiere un tratamiento primario. En los casos en que se utilice el alcantarillado de pequeño diámetro el tratamiento primario se realiza en el estanque interceptor en el interior de la vivienda. En los casos en que se utilice alcantarillado tradicional se propone realizar el tratamiento primario mediante una fosa séptica de grandes dimensiones, de modo de evitar la posible proliferación de olores y/o vectores sanitarios que podrían originar una laguna.

Los humedales artificiales de flujo sub-superficial son aplicables tanto en zonas costeras como en zonas altiplánicas. Es necesario hacer notar que éstos deben estar siempre húmedos, lo cual es una gran desventaja en zonas de escasez de recursos hídricos como es la zona en estudio. Para mantenerlos siempre húmedos se propone la recirculación del efluente cuando sea necesario, lo cual implica la utilización de una bomba y por lo tanto un costo extra en la operación.

Los sistemas de infiltración en suelo son especialmente atractivos para las poblaciones ubicadas en zonas costeras, dado que en estas zonas no existe

escurrimiento de aguas subterráneas¹¹ que pueda ser contaminado y si existiera, este tipo de sistemas ayuda a evitar la intrusión salina en los acuíferos costeros. También es necesario mencionar que en estas zonas la mayor parte de los pobladores se dedica a la pesca y no existen zonas agrícolas importantes, haciéndose innecesario la reutilización del agua en riego.

Los sistemas de infiltración en suelo también pueden ser aplicados en poblaciones ubicadas en zonas altiplánicas, pero en este caso el agua no podría ser reutilizada en riego¹² y, además, es necesario mencionar que todas las poblaciones altiplánicas en estudio se ubican a orillas de ríos o cerca de salares, por lo que la napa freática en estas zonas es bastante superficial. Para instalar un sistema de este tipo es necesario invertir en un alcantarillado de mayor longitud, de manera de ubicar el sistema en una zona donde la napa freática esté más profunda.

De acuerdo a todo lo expuesto en los párrafos anteriores, se propone para zonas costeras la utilización de sistemas de infiltración en suelo y para zonas altiplánicas se propone evaluar tanto la utilización de humedales artificiales de flujo sub-superficial, como la utilización de sistemas de infiltración en suelo.

6.2.2.3. Desinfección

En los casos en que se quiera reutilizar el efluente en riego será necesario desinfectar para evitar riesgos en la salud de las personas. Se propone desinfectar con cloro líquido de uso doméstico, alternativa escogida por las siguientes razones:

- Es un producto utilizado en muchos hogares, por lo cual la gente no le teme y está muy familiarizado en su uso.
- Es sencillo de obtener.
- Es económico comparado con otras alternativas

6.3.2.4. Disposición o Reutilización en Riego

En los casos en que la solución escogida sean los sistemas de infiltración en suelo la disposición del efluente será en los acuíferos inferiores de la zona en que se infiltre.

En los casos en que la solución escogida sea un humedal artificial de flujo sub-superficial el efluente del sistema puede ser reutilizado en riego o infiltrado en el suelo. Para ser reutilizado en riego es necesaria una desinfección previa.

6.2.2.5. Tratamiento y Disposición de Lodos

Dada la complejidad del tratamiento y disposición de lodos, además de los pequeños volúmenes que se espera se produzcan en las soluciones planteadas, se

¹¹ Apuntes de Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento, Universidad de Chile, 2007.

¹² La mayoría de las poblaciones altiplánicas se dedican a la agricultura por lo que es muy provechosa la reutilización del agua en riego.

propone pagar a una empresa especialista en el tema para que retire periódicamente los lodos y se encargue de ellos.

Un resumen de las alternativas planteadas se muestra en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6. Soluciones Planteadas

Tipo de Solución	Zona a Aplicar	Alternativas
Soluciones Individuales	Zonas Costeras y Altiplánicas	Alternativa 1: Caseta Sanitaria + Fosa Séptica + Pozo Absorbente
	Zonas Costeras y Altiplánicas	Alternativa 2: Caseta Sanitaria + Fosa Séptica + Drenes de Infiltración
	Zonas Costeras y Altiplánicas	Alternativa 3: Unidad Sanitaria Seca (USS) + Pozo Absorbente
	Zonas Costeras y Altiplánicas	Alternativa 4: Unidad Sanitaria Seca (USS) + Drenes de Infiltración
Soluciones en Base a Colectores Públicos	Zonas Costeras y Altiplánicas	Alternativa 5: Alc. Pequeño Diámetro + Sistemas de Infiltración en Suelo
	Zonas Costeras y Altiplánicas	Alternativa 6: Alcantarillado Tradicional + Fosa Séptica + Sistemas de Infiltración en Suelo
	Zonas Altiplánicas	Alternativa 7: Alc. Pequeño Diámetro + Humedal Artificial + Infiltración
	Zonas Altiplánicas	Alternativa 8: Alc. Tradicional + Fosa Séptica + Humedal Artificial + Infiltración
	Zonas Altiplánicas	Alternativa 9: Alc. Pequeño Diámetro + Humedal Artificial + Desinfección + Riego
	Zonas Altiplánicas	Alternativa 10: Alc. Tradicional + Fosa Séptica + Humedal Artificial + Desinfección + Riego

En Anexo B se describen algunas experiencias internacionales de la utilización de las alternativas de tratamiento propuestas.

7. VALORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS

El objetivo de este capítulo es obtener los costos de inversión, operación y mantenimiento de cada una de las soluciones planteadas como técnicamente factibles en el capítulo anterior. También se valorizará la construcción de una caseta sanitaria, dado que no todas las viviendas de las poblaciones estudiadas poseen caseta sanitaria y la mayoría de las soluciones la requieren para ser utilizadas. Los precios unitarios utilizados para valorizar cada una de las soluciones son los propuestos por la Superintendencia de Servicios Sanitarios en el último estudio tarifario de Aguas Antofagasta.

Para dimensionar cada una de las soluciones se considerará un número de habitantes por vivienda igual a 4, valor escogido dado que en la mayoría de las poblaciones el número de habitantes por viviendas está entre 2,5 y 3,5.

Conocido el número de habitantes por vivienda se obtiene el volumen de aguas servidas generado diariamente.

Tabla 7. 1. Volumen de aguas servidas generado diariamente por vivienda

	Unidad	Valor
Nº Hab/Viv		4
Dotación	l/hab/día	100
Factor Recuperación		1
Volumen Diario	l/día/viv	400

Si bien la dotación en algunas de las poblaciones estudiadas puede ser menor a 100 l/hab/día debido a la baja disponibilidad de agua en la zona de estudio, es necesario mencionar que dotaciones menores no cambian los resultados finales ya que la mayoría de las unidades fue diseñada con las dimensiones mínimas permitidas.

7.1. CASETA SANITARIA

Se valoriza una caseta sanitaria de 2,5 m² y compuesta sólo por baño, sin incluir cocina ni lavadero.

Tabla 7. 2. Costos de Inversión Caseta Sanitaria

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Edificación				
1.1	Edificación	m2	2,5	15,00	37,5
2.	Artefactos Sanitarios				
2.1	Lavatorio tipo Tomé	un	1	0,73	0,73
2.2	W.C. y Estanque	un	1	1,79	1,79
2.3	Receptaculo Ducha	un	1	0,89	0,89
3.	Grifería				
3.1	Llave (Lavatorio, Ducha)	un	2	0,31	0,62
3.2	Llave de Paso	un	2	0,09	0,18
3.3	Cabeza y Manguera Ducha	un	1	0,22	0,22
3.4	Desagüe 1 1/4" (Lavatorio)	un	1	0,09	0,09
4	Tuberías Agua				
4.1	Tubería Cu 1/2"	m	12	0,06	0,72
Total (UF)					42,74

7.2. SOLUCIONES INDIVIDUALES

7.2.1. Fosa Séptica

Para determinar el volumen necesario de fosa séptica se utilizan los parámetros de diseño mostrados en la Tabla 4.1.

Tabla 7.3. Volumen de lodos generado diariamente por vivienda

	Unidad	Valor
Nº Hab/Viv		4
Contribución Lodo	l/hab/día	1
Volumen Diario	l/día	4

Tabla 7.4. Volumen Necesario Fosa Séptica

	Unidad	Valor
Volumen Aguas Servidas Diario Generado	l/día	400
Tiempo de Retención Aguas Servidas	días	1
Volumen Aguas Servidas	l	400
Volumen Lodos Diario Generado	l/día	4
Tiempo de Retención Lodos	días	365
Periodo de Digestión Lodos	días	60
Coef. Reducción Lodos Digeridos		0,25
Coef. Reducción Lodos en Digestión		0,5
Volumen Lodos Digeridos	l	300
Volumen Lodos en Digestión	l	120
Volumen Total Lodos	l	420
Volumen Util Fosa	l	820
Volumen Adicional Fosa (20%)	l	164
Volumen Total Fosa	l	984

Se pueden utilizar fosas sépticas construidas en sitio o prefabricadas. En este caso se considerarán fosas sépticas prefabricadas dado que presentan ventajas comparativas en los procesos constructivos y los costos de ambas alternativas son similares.

En general los proveedores de fosas sépticas ofertan volúmenes estandarizados, los cuales van desde 1.200 lts hasta 42 m³. En este caso se valorizará una fosa séptica de 1.200 lts.

Tabla 7.5. Costos de Inversión Fosa Séptica

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	5,0	0,29	1,45
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	2,7	0,13	0,35
1.3	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	2,3	0,10	0,23
2	Fosa Séptica (1.200 lts.)	Un	1,0	7,80	7,80
Total (UF)					9,83

Para estimar los costos de operación y mantenimiento se considera que la fosa será limpiada una vez al año.

Tabla 7. 6. Costos de Operación y Mantenimiento Fosa Séptica Anual

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.1	Limpieza con camión limpia fosas	gl	1	1,5	1,50
Total (UF)					1,50

7.2.2. Unidad Sanitaria Seca

Para dimensionar las cámaras de descomposición de la USS se considera que el volumen total de lodos obtenido para las fosas sépticas corresponde al volumen de heces producido en un año. De acuerdo a lo anterior se tiene que el volumen necesario para cada cámara de descomposición es el indicado en la Tabla 7.7.

Tabla 7. 7. Volumen Cámara de Descomposición

	Unidad	Valor
Volumen Total Heces		420
Volumen Material Aditivo		420
Volumen Cámara		1260

Es necesario alrededor de 1,3 m³ por cada cámara de descomposición.

Hace algunos años se instalaron Unidades Sanitarias Secas (USS) en la región de Aysén, las dimensiones de éstas son del mismo orden de las necesarias en la zona en estudio y como ambas están en regiones extremas, los costos deben ser similares, por lo cual para valorizar la USS se tomará el costo de construcción de esas unidades y se actualizará según el valor de la UF.

Tabla 7. 8. Costo Inversión Unidad Sanitaria Seca

Valor UF 21/10/2003	\$ 16.969
Costo USS año 2003 (\$)	\$ 756.141
Costo USS (UF)	44,56

Es necesario mencionar que la Unidad Sanitaria Seca incluye caseta sanitaria (considerando como caseta sanitaria sólo baño, sin incluir cocina ni lavadero) por lo cual los costos obtenidos no son directamente comparables con los obtenidos en la valorización de la fosa séptica. Para hacer ambas alternativas comparables (USS y Fosa Séptica) es necesario relacionar caseta sanitaria más fosa séptica versus Unidad Sanitaria Seca.

Para estimar los costos de operación y mantenimiento de la Unidad Sanitaria Seca se considerará cal como material aditivo, pero es necesario recordar que también se pueden utilizar otros materiales como ceniza, aserrín, arena seca, pasto seco u hojas secas.

Tabla 7. 9. Cal necesaria al año

Vol. Material Aditivo	l	420
Densidad Cal	kg/m ³	3.300
Cal Necesaria	kg	1.386

También en los costos de operación se incluirá el no uso de agua potable en “tirar la cadena”, de manera de hacer comparables los costos de operación de esta alternativa con las alternativas que utilizan agua para transportar las heces y orina. La cantidad de agua consumida en “tirar la cadena” en una vivienda en la que habitan 4 personas se muestra en la Tabla 7.10.

Tabla 7. 10. Agua Consumida en Tirar la Cadena

Habitantes	nº	4
Frecuencia (tirar la cadena)	veces/día	5
Vol. Estanque	l	6
Tiempo	días	365
Agua Consumida	l	43.800

El costo de agua consumida se obtendrá considerando que el costo por m³ de agua potable es \$ 2.500, valor escogido dado que el costo variable de agua potable de la mayoría de las poblaciones en estudio está entre \$1.500 y \$3.500.

El costo de agua consumida en “tirar la cadena” se restará de los costos totales de operación.

Tabla 7. 11. Costos Anuales de Operación Unidad Sanitaria Seca

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.1	Material Aditivo	saco 25 kg	56	0,09	5,04
1.2	Consumo Agua (Tirar la cadena)	m ³	-43,8	0,09	-3,94
Total (UF)					1,10

7.2.3. Pozo Absorbente

Dado que el volumen diario a infiltrar en el pozo es menor a 500 litros se diseña con las características mencionadas en el Capítulo 4, la cuales se muestran a continuación.

Tabla 7. 12. Diseño Pozo Absorbente

Profundidad Útil	m	1,5
Superficie Absorbente	m ²	1

La valorización de un pozo con las características mostradas en la tabla 7.12 se muestra en la Tabla 7.13.

Tabla 7. 13. Costos Inversión Pozo Absorbente

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	5,0	0,29	1,45
1.2	Relleno de grava gruesa	m3	3,8	0,46	1,75
1.3	Retiro y Transporte de Excentes	m3	4,0	0,10	0,40
2	Ventilación				
2.1	Tubería PVC Clase II D=110 mm	m	3,0	0,08	0,24
3	Cubierta				
3.1	Hormigón H-20	m3	1,3	3,90	4,95
3.2	Malla ACMA	m2	1,3	0,08	0,11
3.3	Tapa de cámara tipo calzada de hormigón armado	Un	1,0	3,89	3,89
Total (UF)					12,79

7.2.4. Drenes de Infiltración

Para determinar las dimensiones de los drenes de infiltración se considera una permeabilidad de 100 l/m²/día¹³. Considerando que es necesario infiltrar 400 litros diario, se requiere la superficie especificada en la Tabla 7.14.

Tabla 7. 14. Área Superficial Requerida

Permeabilidad	l/m ² /día	100
Caudal a Infiltrar	l/día	400
Área Superficial	m ²	4

De acuerdo al área superficial requerida y considerando que los drenes tendrán una profundidad de 0,5 m y un ancho de 0,5 m, el largo necesario de drenes es el mostrado en la Tabla 7.15.

Tabla 7. 15. Dimensiones Drenes

Profundidad	m	0,5
Ancho	m	0,5
Largo Total	m	2,67

Pueden construirse uno o más drenes, pero la suma total de los drenes debe ser a lo menos igual al largo total especificado en la tabla 7.15. El costo de construcción de los drenes es el mostrado en la Tabla 7.16.

Tabla 7. 16. Costos de Inversión Drenes de Infiltración

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	1,0	0,29	0,29
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	0,2	0,13	0,03
1.3	Relleno de grava fina	m3	0,8	0,50	0,40
1.4	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	1,0	0,10	0,10
2	Tuberías				
2.1	Tubería PVC ranurado D=110 mm	m	3,0	0,20	0,60
3	Obras Varias				
3.1	Cámara de Distribución	Un	1,0	1,89	1,89
Total (UF)					3,31

¹³ Permeabilidad utilizada por INVAR S.A. en numerosas poblaciones rurales de la región.

7.2.5. Interconexiones

Las interconexiones corresponden a las tuberías necesarias para conectar la vivienda con las soluciones y las soluciones con los sistemas de infiltración.

Tabla 7. 17. Costos de Inversión Interconexiones Fosa Séptica

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	4,4	0,29	1,28
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	3,6	0,13	0,47
1.3	Cama de Apoyo	m3	0,5	0,22	0,12
2	Tuberías				
2.1	Tubería PVC Clase II D=110 mm	m	12,0	0,08	0,96
Total (UF)					2,82

Tabla 7. 18. Costos de Inversión Interconexiones Unidad Sanitaria Seca

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	3,0	0,29	0,87
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	2,7	0,13	0,35
1.3	Cama de Apoyo	m3	0,4	0,22	0,08
2	Tuberías				
2.1	Tubería PVC D=50 mm	m	10,0	0,05	0,50
Total (UF)					1,80

7.3. SOLUCIONES EN BASE A COLECTORES PÚBLICOS

Al valorizar las alternativas en base a colectores públicos no se considera el costo del terreno en que se emplaza la alternativa, dado que generalmente estos tipos de sistemas se instalan en terrenos donados por lo beneficiarios, o bien, se buscan terrenos destinados a bienes nacionales, de manera que el costo sea nulo.

7.3.1. Sistemas de Recolección

7.3.1.1. Alcantarillado Tradicional

El alcantarillado tradicional está compuesto por dos partes principales: unión domiciliaria y red de colectores. A continuación se muestra valorización de costos de construcción de unión domiciliaria.

Tabla 7. 19. Costos de Inversión Unión Domiciliaria Alcantarillado Tradicional

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	6,4	0,29	1,86
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	5,1	0,13	0,67
1.3	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	1,3	0,10	0,13
2.	Tuberías				
2.1	Tubería PVC Clase II D=110 mm	m	6,0	0,08	0,48
2.2	Empalme	un	1,0	0,14	0,14
3.	Obras Varias				
3.1	Cámara Domiciliaria	un	1,0	4,00	4,00
Total (UF)					7,27

Tal como se especificó en el Capítulo 5, la red de colectores del alcantarillado tradicional requiere pendientes mínimas para garantizar el autolavado de la red. En las visitas a la zona de estudio se observó que las pendientes del terreno en la mayoría de las poblaciones son mayores a las pendientes mínimas exigidas para autolavado, por lo

cual se considerará que las tuberías seguirán la pendiente del terreno y que la clave de las mismas estará a 1,6 m de profundidad, profundidad mínima exigida en NCh 1105.

Dado los pequeños caudales a transportar por la red de colectores, debido a que las poblaciones son bastante pequeñas, los diámetros a utilizar en la red de colectores son los mínimos permitidos por la NCh 1105, es decir se utilizarán diámetros de 180 y 200 mm.

Tabla 7. 20. Costos Inversión Metro Lineal de Red Colectora Alcantarillado Tradicional

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	1,69	0,29	0,49
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	1,66	0,13	0,22
1.3	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	0,03	0,10	0,00
1.4	Cama de Apoyo	m3	0,08	0,22	0,02
2	Tuberías				
2.1	Tubería PVC Clase 10 D=180mm D=200mm	m	1,00	0,55	0,55
Total (UF)					1,28

En la red colectora se deben instalar cámaras de inspección, las cuales deben estar a una distancia máxima de 120 m y en los casos especificados en la NCh 1105.

Tabla 7. 21. Costos Inversión Cámara de Inspección

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1	Obras Varias				
1.1	Cámara de inspección tipo 'a' D=1,3 m, altura=1,7 a 2,0 m	un	1,00	11,12	11,12
Total (UF)					11,12

Se considerará un costo de mantenimiento anual del sistema igual al 10% del costo de inversión.

7.3.1.2. Alcantarillado de Pequeño Diámetro

El alcantarillado de pequeño diámetro, al igual que el alcantarillado tradicional, está compuesto por la unión domiciliaria y por la red de colectores. La diferencia entre ellos reside en que en el alcantarillado de pequeño diámetro la unión domiciliaria posee una cámara interceptora.

Tabla 7. 22. Costos Inversión Unión Domiciliaria Alcantarillado de Pequeño Diámetro

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	6,4	0,29	1,86
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	5,1	0,13	0,67
1.3	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	1,3	0,10	0,13
2.	Tuberías				
2.1	Tubería PVC Clase II D=110 mm	m	6,0	0,08	0,48
2.2	Empalme	un	1,0	0,14	0,14
3.	Obras Varias				
3.1	Cámara Interceptora (Fosa Séptica)	un	1,0	9,28	9,28
Total (UF)					12,55

En este caso la red de colectores no requiere pendientes ni diámetros mínimos de autolavado, por lo que se considerará para la red colectora tuberías de 50 mm y una profundidad desde la superficie del terreno a la clave de la tubería igual a 1,6 m.

Tabla 7. 23. Costos de Inversión de Metro Lineal de Red Colectora Alcantarillado Pequeño Diámetro

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	1,429	0,290	0,414
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	1,427	0,130	0,186
1.3	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	0,002	0,100	0,000
1.4	Cama de Apoyo	m3	0,070	0,220	0,015
2	Tuberías				
2.1	Tubería PVC Clase 10 D=50 mm	m	1,000	0,040	0,040
Total (UF)					0,656

En la red colectora se deben instalar registros de limpieza y pozos de inspección, los cuales deben ubicarse en los puntos singulares de la red.

Tabla 7. 24. Costos de Inversión Registro de Limpieza y/o Pozo de Inspección Alcantarillado Pequeño Diámetro

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1	Obras Varias				
1.1	Registro de Limpieza y/o Pozo de Inspección	un	1,00	4,00	4,00
Total (UF)					4,00

Se considerará un costo de mantenimiento anual del sistema igual al 10% del costo de inversión más el costo en que se incurre al limpiar las fosas sépticas (cámaras interceptoras) en el interior de las viviendas.

7.3.2. Tratamiento

7.3.2.1. Tratamiento Primario

En los casos en que se utilice alcantarillado tradicional es necesario realizar tratamiento primario para remover los sólidos de las aguas servidas y así evitar la colmatación de los humedales o sistemas de infiltración en suelo. Para realizar el tratamiento primario se considera la utilización de fosas sépticas prefabricadas de grandes volúmenes. El mayor tamaño de fosa séptica que ofrece el mercado es de 42 m³, considerando tiempo de retención del agua en el interior de la fosa séptica igual a 1 día, los 42 m³ alcanzan para aproximadamente 42 viviendas, por lo que será necesario un fosa séptica de 42 m³ por cada 42 viviendas.

Tabla 7. 25. Costos de Inversión Fosa Séptica 42 m³

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a maquina en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	95,2	0,13	12,38
1.2	Excavación a maquina en suelo Tipo IV, profundidad de 2 a 4 m	m3	57,1	0,17	9,71
1.3	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	110,3	0,13	14,34
1.4	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	42,0	0,10	4,20
2.	Radier de Soporte				
2.1	Hormigón H-25	m3	2,0	4,30	8,58
2.2	Malla Acma	m2	13,3	0,08	1,06
3.	Fosa Séptica (42.000 lts.)	Un	1,0	236,58	236,58
Total (UF)					286,85

Para estimar los costos de operación y mantenimiento se considera que la fosa será limpiada una vez al año.

Tabla 7. 26. Costos de Operación y Mantenimiento Anual Fosa Séptica 42 m³

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.1	Limpieza con camión limpia fosas	gl	1	31,5	31,50
Total (UF)					31,50

7.3.2.2. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial

Para dimensionar los humedales artificiales se considerará una profundidad igual a 0,7 m y un área por persona igual a 3 m², valor escogido dado que referencias bibliográficas hablan de 0,24 a 3,32 m² por persona (Dünner, I. 2004)

Tabla 7. 27. Área de Humedal Artificial por Vivienda

N° Hab/Viv	4
Área/Hab	3
Área/Viv	12

Se escogió como vegetación del humedal los juncos de Totora (*Schoenoplectus californicus*), dado que estos juncos han sido utilizados en humedales artificiales en zonas de gran altitud en Bolivia, como es el caso de las zonas en que se ubican las poblaciones rurales estudiadas, pero se puede ocupar cualquier junco, carrizo o espadaña que se de en la zona.

En la Tabla 7.28. se muestran los costos de construcción por vivienda de un humedal artificial de flujo subsuperficial.

Tabla 7. 28. Costos de Inversión Humedal Artificial Flujo Subsuperficial por vivienda

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a maquina en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	8,40	0,13	1,09
1.2	Relleno de grava fina	m3	8,40	0,50	4,20
1.3	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	8,40	0,10	8,50
2.	Impermeabilización				
2.1	Geomembrana	m2	12,00	0,06	0,72
3.	Vegetación				
3.1	Semillas Totora (<i>Scirpus californicus</i>)	m2	12,00	0,17	2,04
Total (UF)					16,55

En la Tabla 7.28. no se consideran los costos de las estructuras de entrada y salida. Dichos costos dependen del ancho del humedal, por lo que a continuación se muestran los costos de las estructuras de entrada y salida por metro lineal.

Tabla 7. 29. Costos de Inversión Estructuras de Entrada y Salida de Humedal de Flujo Subsuperficial por Metro Lineal

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.2	Excavación a maquina en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	0,80	0,13	0,10
1.3	Relleno de grava gruesa	m3	0,74	0,46	0,34
1.4	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	0,80	0,10	0,08
2.	Tuberías				
2.1	Tuberías GRAN FLUJO ranurado. D= 200 mm	m	2,00	0,33	0,66
Total (UF)					1,18

El humedal siempre debe permanecer húmedo, por lo cual se considera la utilización de una bomba recirculadora de agua. Es sabido que la mayoría de las

poblaciones en estudio no posee energía eléctrica, por lo que se propone una bomba de agua que funciona con energía solar.

Tabla 7. 30. Costo Inversión Bomba de Agua Solar

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.1	Bomba de Agua Solar	Un	1	28	28,00
Total (UF)					28,00

Con respecto a la operación y mantenimiento del sistema, es necesario revisar periódicamente que no se esté desarrollando flujo en la superficie y se debe quitar cualquier especie invasora que esté creciendo en el humedal. Se considera contratar una persona encargada de la operación y mantenimiento del humedal y además de todo el sistema de tratamiento.

7.3.2.3. Sistemas de Infiltración en Suelo

En los sistemas de infiltración en suelo los requerimientos de terreno dependen tanto de la permeabilidad del suelo como de los ciclos de carga aplicados. En la tabla 7.31 se muestran los requerimientos de área para infiltrar aguas servidas de una vivienda compuesta por 4 personas y con ciclos de carga que buscan maximizar la eliminación de nitrógeno en función de diferentes permeabilidades. Se busca maximizar la eliminación de nitrógeno dado que es el parámetro que se debe eliminar en las aguas servidas destinadas a infiltrar (Tabla 6.4.)

Tabla 7. 31. Requerimiento de Área por Vivienda

Permeabilidad (l/m ² /día)	Área Total (m ²)
50	144,00
100	72,00
150	48,00
200	36,00
250	28,80
300	24,00

El costo de inversión de m² de sistemas de infiltración en suelo es el mostrado en la Tabla 7.32.

Tabla 7. 32. Costos Inversión Sistemas de Infiltración en Suelo por m²

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a máquina en suelo Tipo IV, profundidad de a 0 a 2m	m ³	0,50	0,13	0,07
1.2	Retiro y Transporte de Excedentes	m ³	0,50	0,10	0,05
Total (UF)					0,12

Con respecto a la operación y mantenimiento del sistema, es necesario revisar periódicamente que las zanjas no estén colmatadas y si lo están es necesario remover la parte colmatada de manera que el suelo recupere sus características iniciales. Se considera contratar una persona encargada de la operación y mantenimiento de los sistemas de infiltración en suelo y además de todo el sistema de tratamiento.

7.3.3. Desinfección

Se considera desinfección mediante cloro líquido de uso doméstico.

El mercado ofrece dosificadores que trabajan mecánicamente y no utilizan energía eléctrica para su funcionamiento, por lo cual son ideales para utilizar en las poblaciones en estudio.

Tabla 7. 33. Costos de Inversión Desinfección

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	4.0	0,29	1,16
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	0,5	0,13	0,07
1.3	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	3,5	0,10	0,35
2.	Tuberías				
2.1	Tubería PVC Clase 10 D=50 mm	m3	2,0	0,04	0,08
3.	Obras Varias				
3.1	Dosificador	Un	1,0	6,00	6,00
3.2	Cámara de Contacto (3.500 lts)	Un	1,0	10,00	10,00
Total (UF)					17,66

Las obras de desinfección valorizadas en la tabla 7.33. son suficientes para poblados compuestos por 300 viviendas.

Para determinar el consumo anual de cloro de uso doméstico es necesario conocer la concentración de cloro activo presente en el compuesto comercializado en el mercado. De un estudio realizado por el Servicio Nacional del Consumidor el año 2002, se obtiene que la concentración de cloro activo de estos productos está entre el 2,5 y 8%. Para el presente estudio se asumirá que la concentración de cloro activo del compuesto utilizado para desinfectar es un 5%.

Tabla 7. 34. Consumo Mensual de Cloro Uso Doméstico por Vivienda

Volumen aguas servidas	l/día	400
Volumen aguas servidas	l/mes	12.000
Dosis	mg/l	8
Necesidad de Cloro Activo	mg/año	96.000
Necesidad de Cloro Activo	g/año	96
Cloro Activo en Cloro de Uso Doméstico	%	5
Necesidad de Cloro Uso Doméstico	kg	1,9

Considerando que el cloro para desinfectar será adquirido cada 3 meses, el costo de construcción del lugar de almacenamiento es especificado a continuación.

Tabla 7. 35. Costos Inversión de Bodega Cloro por Vivienda

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.1	Edificación Tipo 'A': Bodegas	m2	0,04	6	0,24
Total (UF)					0,24

El costo de transporte y adquisición del cloro de uso doméstico es mostrado en las tablas 7.36. y 7.37.

Tabla 7. 36. Costos Anuales de Adquisición Cloro por Vivienda

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.1	Cloro Clorinda 4 kg	un	0,5	0,07	0,04
Total (UF)					0,04

Tabla 7. 37. Costos Anuales por Transporte de Cloro

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.1	Transporte Cloro	gl	4	2	8,00
Total (UF)					8,00

7.3.4. Disposición o Reutilización del Efluente

El efluente del tratamiento debe ser reutilizado o dispuesto. Como se dijo en el capítulo anterior se considerará que el efluente será reutilizado en riego o infiltrado en el suelo. Para ser infiltrado son necesario drenes de infiltración, cuyos costos se especifican a continuación.

Tabla 7. 38. Costos de Inversión Drenes de Infiltración por Vivienda

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1	Movimiento de Tierras				
1.1	Excavación a mano en suelo Tipo IV, profundidad de 0 a 2 m	m3	1,0	0,29	0,29
1.2	Relleno con material compactado proveniente de la misma excavación	m3	0,2	0,13	0,03
1.3	Relleno de grava fina	m3	0,8	0,50	0,40
1.4	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	1,0	0,10	0,10
2	Tuberías				
2.1	Tubería PVC ranurado D=110 mm	m	3,0	0,20	0,60
Total (UF)					1,42

Para determinar el largo de los drenes se consideró una permeabilidad de la zona igual a 100 l/m²/día.

Para lograr una repartición del agua en las tuberías es necesario una cámara de distribución, cuya valorización se muestra a continuación.

Tabla 7. 39. Costos Cámara de Distribución

Item	Designación	Unidad	Cantidad	P. Unitario (UF)	P. Total (UF)
1.1	Cámara de Distribución	un	1	5	5,00
Total (UF)					5,00

Finalmente es necesario considerar a un operador que se encargue de mantener y operar todo el sistema.

Tabla 7. 40. Costo Anual Operador

Sueldo Mínimo	\$/mes	159.000
Sueldo Mínimo	\$/año	1.908.000
Valor UF	\$	21.134
Sueldo Mínimo	UF/año	90,28

7.4. DETERMINACIÓN FUNCIONES DE COSTOS

Se determinarán funciones de costo para cada una de las alternativas de solución planteadas en el Capítulo 6, alternativas especificadas en la Tabla 7.41.

Tabla 7. 41. Resumen Alternativas de Solución Planteadas

Soluciones Individuales	Alternativa 1: Caseta Sanitaria + Fosa Séptica + Pozo Absorbente
	Alternativa 2: Caseta Sanitaria + Fosa Séptica + Drenes de Infiltración
	Alternativa 3: Unidad Sanitaria Seca (USS) + Pozo Absorbente
	Alternativa 4: Unidad Sanitaria Seca (USS) + Drenes de Infiltración
Soluciones en Base a Colectores Públicos	Alternativa 5: Alc. Pequeño Diámetro + Sistemas de Infiltración en Suelo
	Alternativa 6: Alcantarillado Tradicional + Fosa Séptica + Sistemas de Infiltración en Suelo
	Alternativa 7: Alc. Pequeño Diámetro + Humedal Artificial + Infiltración
	Alternativa 8: Alc. Tradicional + Fosa Séptica + Humedal Artificial + Infiltración
	Alternativa 9: Alc. Pequeño Diámetro + Humedal Artificial + Desinfección + Riego
	Alternativa 10: Alc. Tradicional + Fosa Séptica + Humedal Artificial + Desinfección + Riego

Para determinar la función de costos en las alternativas que consideran sistemas de infiltración en suelo se considerará una permeabilidad igual a $100 \text{ l/m}^2/\text{día}^{14}$.

La función de costos del humedal artificial se determina considerando que la relación entre el largo y el ancho del humedal es la siguiente.

$$\text{Largo} : \text{Ancho} = 3 : 1$$

- **Alternativa 1:** Caseta Sanitaria + Fosa Séptica + Pozo Absorbente

$$CI_1 = 68,18 \cdot (NV-FS)$$

$$CO_1 = 1,50 \cdot NV$$

- **Alternativa 2:** Caseta Sanitaria + Fosa Séptica + Drenes de Infiltración

$$CI_2 = 58,70 \cdot (NV-FS)$$

$$CO_2 = 1,50 \cdot NV$$

¹⁴ En Anexo C se muestra análisis de costos de Sistemas de Infiltración en Suelo y Humedales Artificiales según diferentes permeabilidades.

- **Alternativa 3:** Unidad Sanitaria Seca + Pozo Absorbente

$$CI_3 = 59,15 \cdot (NV-FS)$$

$$CO_3 = 1,10 \cdot NV$$

- **Alternativa 4:** Unidad Sanitaria Seca + Drenes de Infiltración

$$CI_4 = 49,67 \cdot (NV-FS)$$

$$CO_4 = 1,10 \cdot NV$$

- **Alternativa 5:** Alc. Pequeño Diámetro + Sistemas de Infiltración en Suelo

$$CI_5 = 63,93 \cdot NV + 0,70 \cdot DV \cdot NV - 55,29 \cdot FS$$

$$CO_5 = 90,28 + 0,05 \cdot DV \cdot NV$$

- **Alternativa 6:** Alc. Tradicional + Fosa Séptica + Sistemas de Infiltración en Suelo

$$CI_6 = 58,65 \cdot NV + 1,39 \cdot DV \cdot NV + \text{RedondEnteroMayor}(NV/42) \cdot 286,85 - 42,74 \cdot FS$$

$$CO_6 = 90,28 + 0,12 \cdot DV \cdot NV + \text{RedondEnteroMayor}(NV/42) \cdot 31,50$$

- **Alternativa 7:** Alc. Pequeño Diámetro + Humedal Artificial + Infiltración

$$CI_7 = 33,00 + 73,26 \cdot NV - 55,29 \cdot FS + 0,7 \cdot DV \cdot NV + 2,36 \cdot \text{raiz}(NV)$$

$$CO_7 = 90,28 + 0,05 \cdot DV \cdot NV$$

- **Alternativa 8:** Alc. Tradicional + Fosa Séptica + Humedal Artificial + Infiltración

$$CI_8 = 33 + 67,98 \cdot NV + 1,39 \cdot DV \cdot NV + \text{RedondEnteroMayor}(NV/42) \cdot 286,85 + 2,36 \cdot \text{raiz}(NV) - 42,74 \cdot FS$$

$$CO_8 = 90,28 + 0,12 \cdot DV \cdot NV + \text{RedondEnteroMayor}(NV/42) \cdot 31,50$$

- **Alternativa 9:** Alc. Pequeño Diámetro + Humedal Artificial + Desinfección + Riego

$$CI_9 = 45,66 + 72,08 \cdot NV + 0,7 \cdot DV \cdot NV - 55,29 \cdot FS + 2,36 \cdot \text{raiz}(NV)$$

$$CO_9 = 98,28 + 0,05 \cdot DV \cdot NV + 0,04 \cdot NV$$

- **Alternativa 10:** Alc. Tradicional + Fosa Séptica + Humedal Artificial + Desinfección + Riego

$$CI_{10} = 45,66 + 66,8 \cdot NV + 1,39 \cdot DV \cdot NV + \text{RedondEnteroMayor}(NV/42) \cdot 286,85 + 2,36 \cdot \text{raiz}(NV) - 42,74 \cdot FS$$

$$CO_{10} = 98,28 + 0,04 \cdot NV + 0,12 \cdot DV \cdot NV + \text{RedondEnteroMayor}(NV/42) \cdot 31,50$$

CI_i: Costos Inversión Alternativa i (UF)

CO_i: Costos Operación Alternativa i (UF/Año)

FS: Número de Viviendas que poseen Fosa Séptica.

NV: Número de Viviendas que conforman la población.

DV: Distancia entre Viviendas (m)

8. ANÁLISIS DE COSTOS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se realizará un análisis de costos con el objeto de determinar cual o cuales son las mejores alternativas de tratamiento. Se analizará cómo varían los costos de inversión y operación según distancia entre viviendas y número de viviendas que conforman la población. Finalmente se evaluarán las alternativas considerando tanto los costos de inversión como los costos operación mediante el Costo Anual Equivalente (CAE).

8.1. ANÁLISIS DE COSTOS

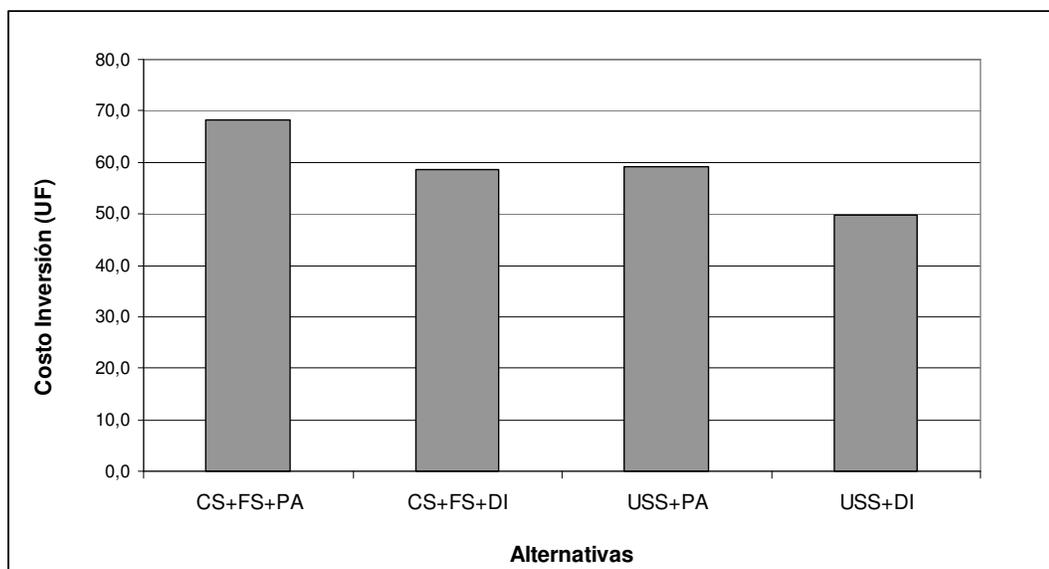
8.1.1. Soluciones Individuales

Las funciones de costos de las soluciones individuales sólo dependen del número de viviendas y no de la distancia entre las viviendas, por lo cual en el presente apartado sólo se considera el costo de solución por vivienda.

Tabla 8. 1. Soluciones Individuales

Alternativa 1: Caseta Sanitaria (CS) + Fosa Séptica (FS) + Pozo Absorbente (PA)
Alternativa 2: Caseta Sanitaria (CS) + Fosa Séptica (FS) + Drenes de Infiltración (DI)
Alternativa 3: Unidad Sanitaria Seca (USS) + Pozo Absorbente (PA)
Alternativa 4: Unidad Sanitaria Seca (USS) + Drenes de Infiltración (DI)

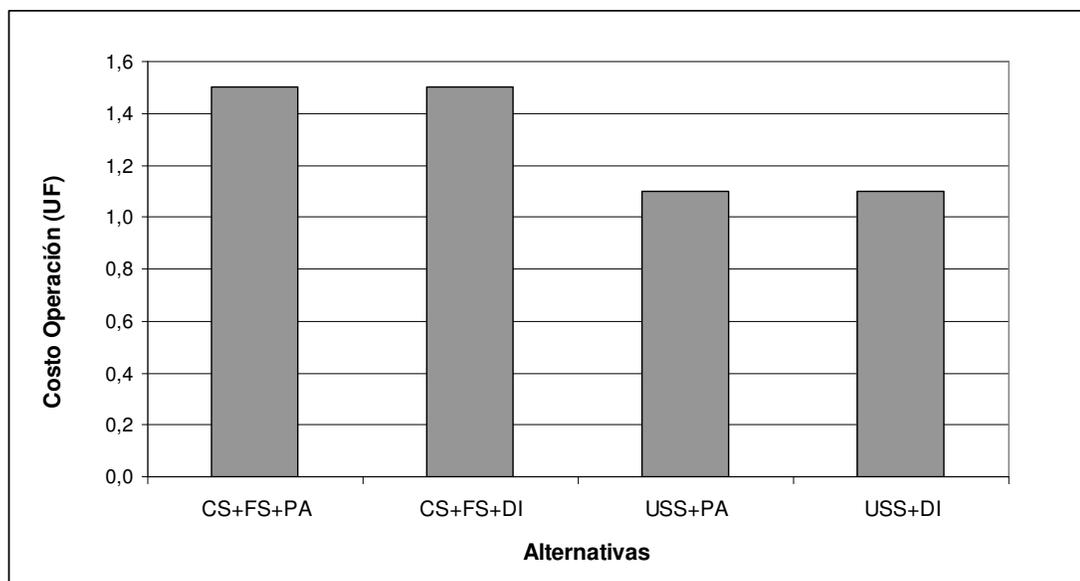
Gráfico 8. 1. Costos Inversión Soluciones Individuales



En el Gráfico 8.1. se observa que las soluciones que consideran como sistema de infiltración drenes tienen un costo de inversión menor que las alternativas que consideran como sistema de infiltración pozo absorbente. Además se observa que los

costos de inversión de la Unidad Sanitaria Seca son menores que los costos de inversión de la Fosa Séptica. En conclusión la alternativa 4 es la que presenta menores costos de inversión.

Gráfico 8. 2. Costos Operación Soluciones Individuales



Del gráfico 8.2 se concluye que los sistemas de infiltración no influyen en los costos de operación y que las Unidades Sanitarias Secas presentan menores costos de operación que las alternativas que consideran fosa séptica.

8.1.2. Soluciones en Base a Colectores Públicos

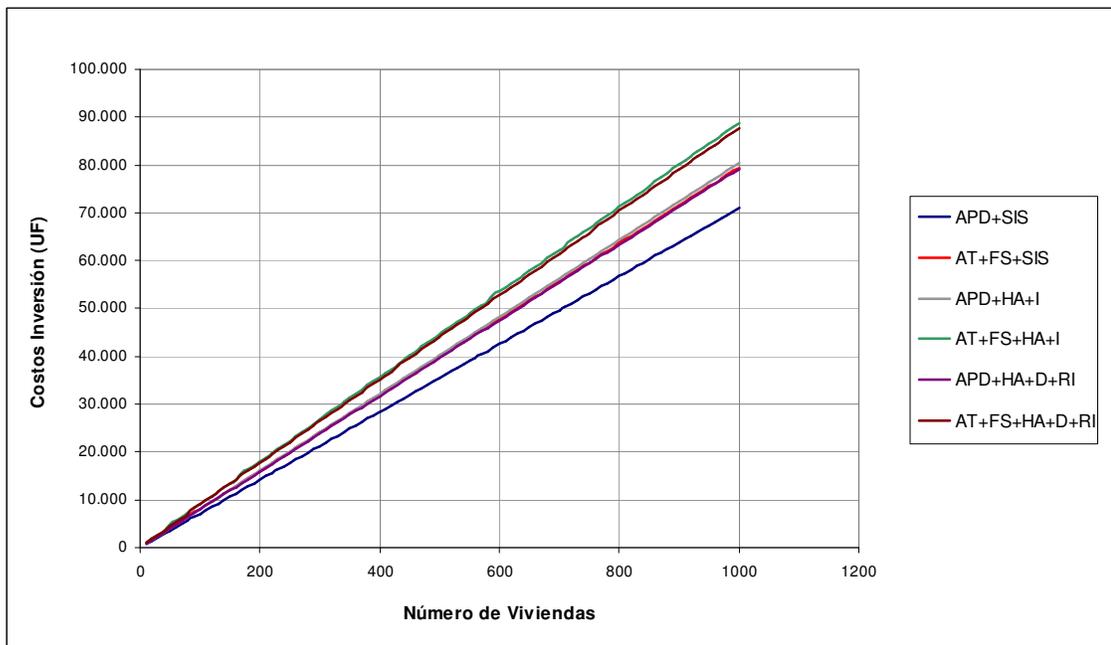
Las funciones de costos de las soluciones colectivas dependen tanto del número de viviendas como de la distancia entre las viviendas. A continuación se muestran gráficos de los costos de inversión y operación de las soluciones.

Tabla 8. 2. Soluciones en Base a Colectores Públicos

Alternativa 5: Alc. Pequeño Diámetro (APD) + Sistemas de Infiltración en Suelo (SIS)
Alternativa 6: Alcantarillado Tradicional (AT) + Fosa Séptica (FS) + Sistemas de Infiltración en Suelo (SIS)
Alternativa 7: Alc. Pequeño Diámetro (APD) + Humedal Artificial (HA) + Infiltración (I)
Alternativa 8: Alc. Tradicional (AT) + Fosa Séptica (FS) + Humedal Artificial (HA) + Infiltración (I)
Alternativa 9: Alc. Pequeño Diámetro (APD) + Humedal Artificial (HA) + Desinfección (D) + Riego (RI)
Alternativa 10: Alc. Tradicional (AT) + Fosa Séptica (FS) + Humedal Artificial (HA) + Desinfección (D) + Riego (RI)

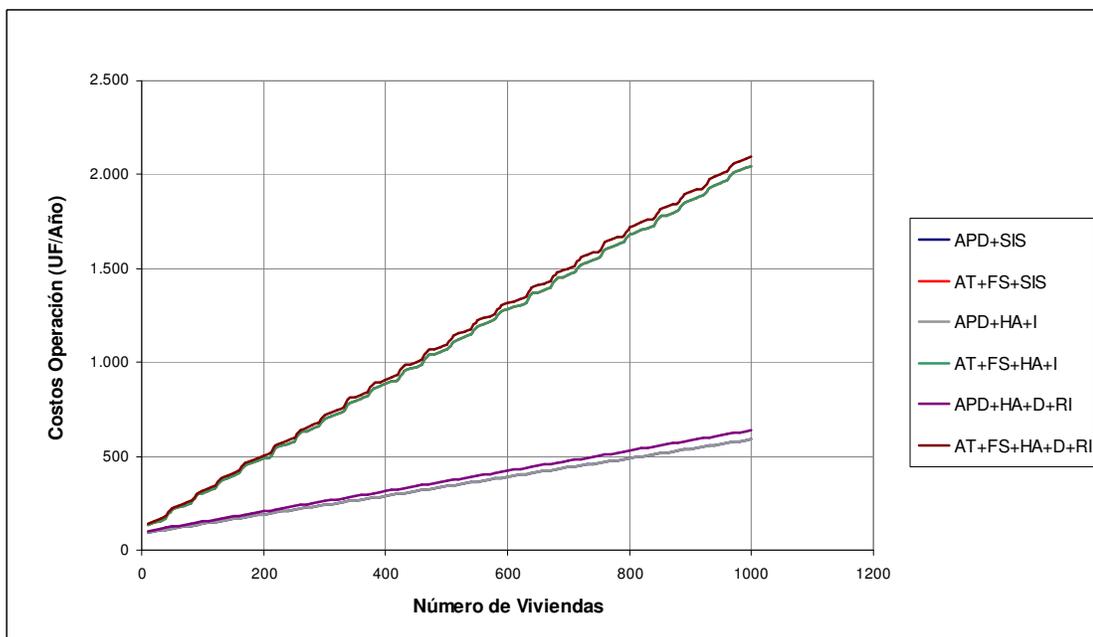
Para determinar los costos de inversión y operación en función del número de viviendas se fijó la distancia entre viviendas igual a 10 m, valor escogido porque se estima que en la mayoría de las poblaciones en estudio la distancia entre viviendas es aproximadamente 10 m. Aunque es necesario mencionar que para distancias mayores la tendencia de las curvas es similar.

Gráfico 8.3. Costos Inversión Soluciones Colectivas DV=10 m



En el gráfico 8.3. se puede observar que independiente del número de viviendas las soluciones que incluyen alcantarillado de pequeño diámetro presentan un costo menor de inversión que las alternativas que incluyen alcantarillado tradicional. También se puede observar que las alternativas que incluyen sistemas de infiltración en suelo presentan menores costos de inversión que las alternativas que consideran humedal artificial para su tratamiento.

Gráfico 8.4. Costos Operación Soluciones Colectivas DV=10 m

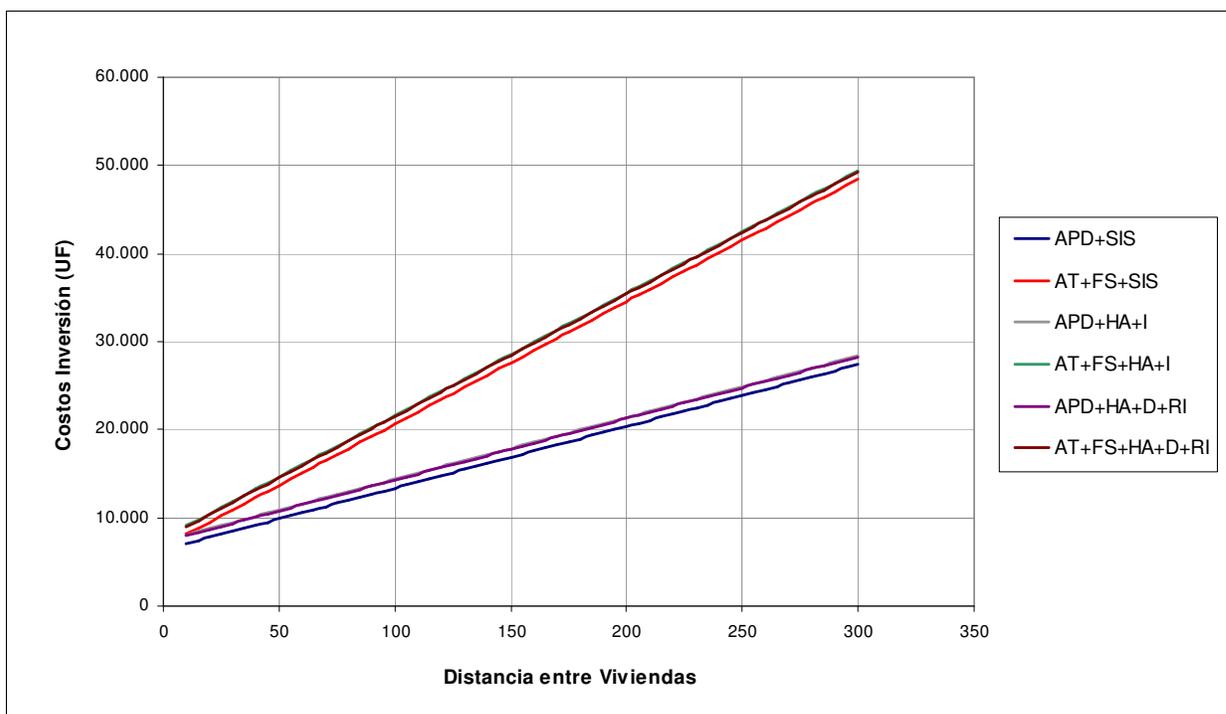


En el gráfico 8.4. las líneas que corresponden a los costos de las alternativas “APD+SIS” y “AT+FS+SIS” no se visualizan dado que son iguales a los costos de las alternativas “APD+HA+I” y “AT+FS+HA+I” respectivamente.

En el gráfico 8.4. se observa que independiente del número de viviendas los costos de operación de las alternativas que consideran alcantarillado de pequeño diámetro son menores que los costos de operación de las alternativas de alcantarillado tradicional. También se observa que las alternativas que incluyen desinfección del efluente tienen un costo de operación mayor que las alternativas sin desinfección y que utilizan el mismo alcantarillado.

Para determinar los costos de inversión en función de la distancia entre viviendas se fijó el número de viviendas igual a 100. Aunque es necesario mencionar que para otros números de viviendas la tendencia de las curvas es muy parecida.

Gráfico 8. 5. Costos Inversión Soluciones Colectivas NV=100



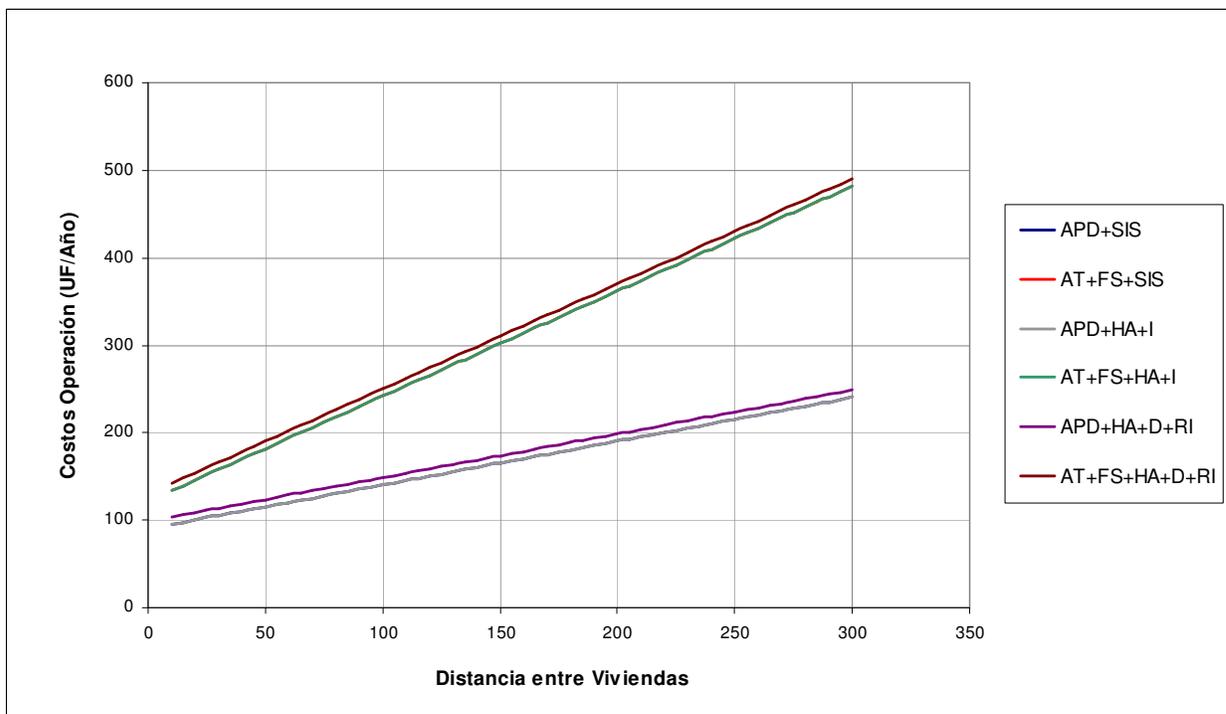
En el gráfico 8.5. las líneas que corresponden a los costos de las alternativas “APD+HA+I” y “AT+FS+HA+I” no se visualizan con suficiente claridad dado que son muy parecidos a los costos de las alternativas “APD+HA+D+RI” y “AT+FS+HA+D+RI” respectivamente.

En el gráfico 8.5. se puede observar que independiente de la distancia entre viviendas las soluciones que incluyen alcantarillado de pequeño diámetro presentan un costo menor de inversión que las alternativas que incluyen alcantarillado tradicional. También se puede observar que las alternativas que incluyen sistemas de infiltración en suelo presentan menores costos de inversión que las alternativas que consideran

humedal artificial para su tratamiento. Es necesario destacar que estas conclusiones son análogas a las obtenidas con el gráfico 8.3.

Para determinar los costos de operación en función de la distancia entre viviendas se fijó el número de viviendas igual a 10, valor escogido por los bajos costos de operación que produce, lo que hace que las diferencias entre cada una de las curvas sean más notorias. Aunque es necesario mencionar que para otros números de viviendas la tendencia de las curvas es muy parecida.

Gráfico 8.6. Costos Operación Soluciones Colectivas NV=10



En el gráfico 8.6. las líneas que corresponden a los costos de las alternativas “APD+SIS” y “AT+FS+SIS” no se visualizan dado que son iguales a los costos de las alternativas “APD+HA+I” y “AT+FS+HA+I” respectivamente.

En el gráfico 8.6. se observa que independiente del número de viviendas los costos de operación de las alternativas que consideran alcantarillado de pequeño diámetro son menores que los costos de operación de las alternativas de alcantarillado tradicional. También se observa que las alternativas que incluyen desinfección del efluente tienen un costo de operación mayor que las alternativas sin desinfección y que utilizan el mismo alcantarillado. Es necesario destacar que estas conclusiones son análogas a las obtenidas con el gráfico 8.4.

Se puede concluir de los gráficos anteriores que, independiente de la distancia entre las viviendas y del número de viviendas que conforman la población, los costos de inversión y operación de las alternativas que incluyen alcantarillado tradicional son siempre mayores que los costos de las alternativas que incluyen alcantarillado de pequeño diámetro. Por todo lo anterior se descartan las alternativas que consideran

alcantarillado tradicional y en análisis siguientes sólo se considerarán las alternativas colectivas que consideran alcantarillado de pequeño diámetro.

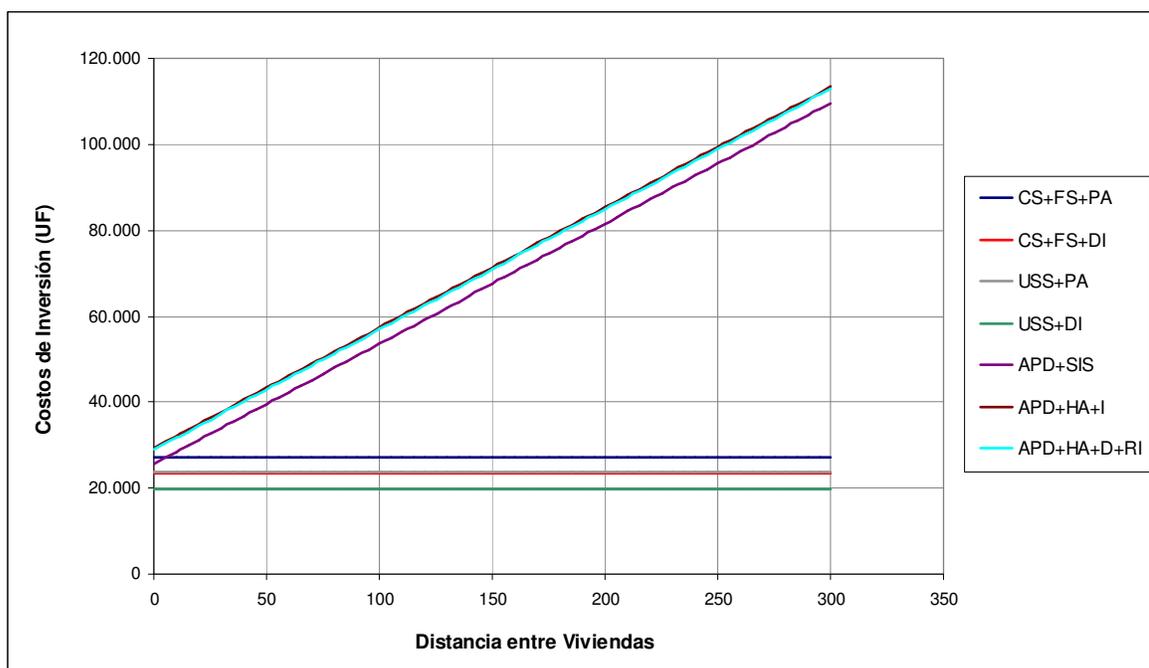
8.1.3. Análisis Conjunto de Soluciones Individuales y Soluciones Colectivas

A continuación se comparan los costos de las soluciones individuales y las soluciones colectivas que no han sido descartadas en función de la dispersión y del número de viviendas.

8.1.3.1. Dispersión entre Viviendas

Los gráficos a continuación muestran como varían los costos de inversión y operación de las soluciones en función de la distancia entre las viviendas. Para la construcción de los gráficos se considera un número de viviendas igual 400, aunque es necesario mencionar que para otros números de viviendas la tendencia de las curvas es similar.

Gráfico 8.7. Costos de Inversión NV=400

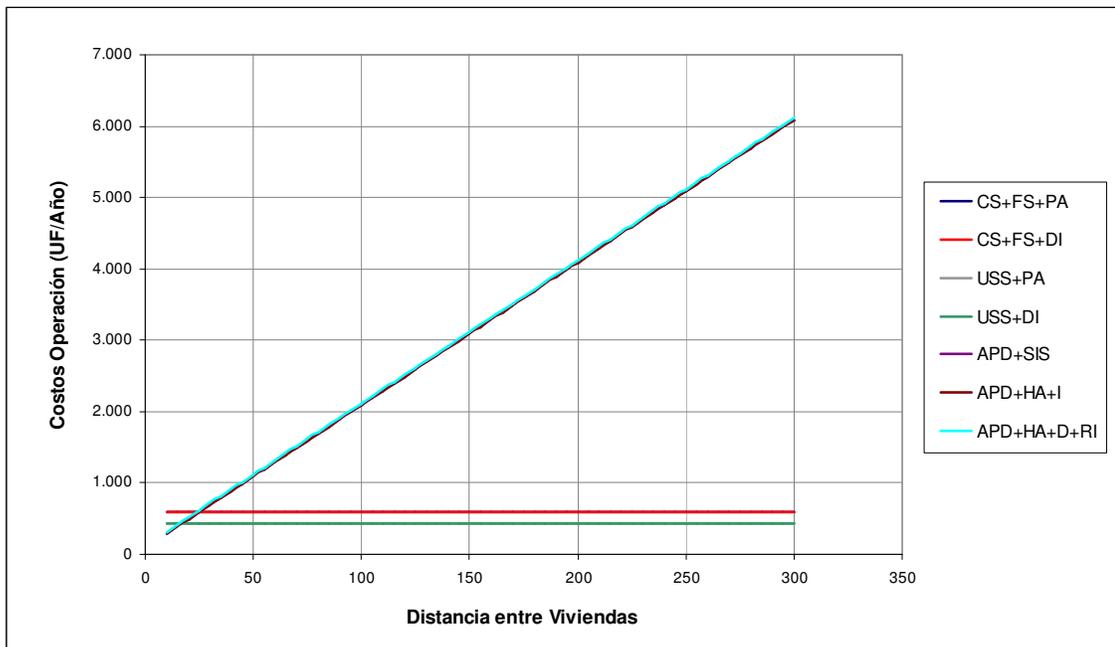


En el gráfico 8.7. las líneas que corresponden a los costos de las alternativas “CS+FS+DI” y “APD+HA+I” no se visualizan con suficiente claridad dado que son muy parecidos a los costos de las alternativas “USS+PA” y “APD+HA+D+RI” respectivamente.

En el gráfico 8.7. se observa que la distancia entre viviendas no influye en los costos de inversión de las soluciones individuales, a diferencia de lo que ocurre con las soluciones colectivas, en las cuales se observa claramente que los costos de inversión aumentan a medida que aumenta la distancia entre viviendas. Además se puede observar en el gráfico 8.7. que para distancia entre viviendas mayor a 8 m las

soluciones colectivas presentan mayores costos de inversión que las soluciones individuales.

Gráfico 8.8. Costos de Operación NV=400



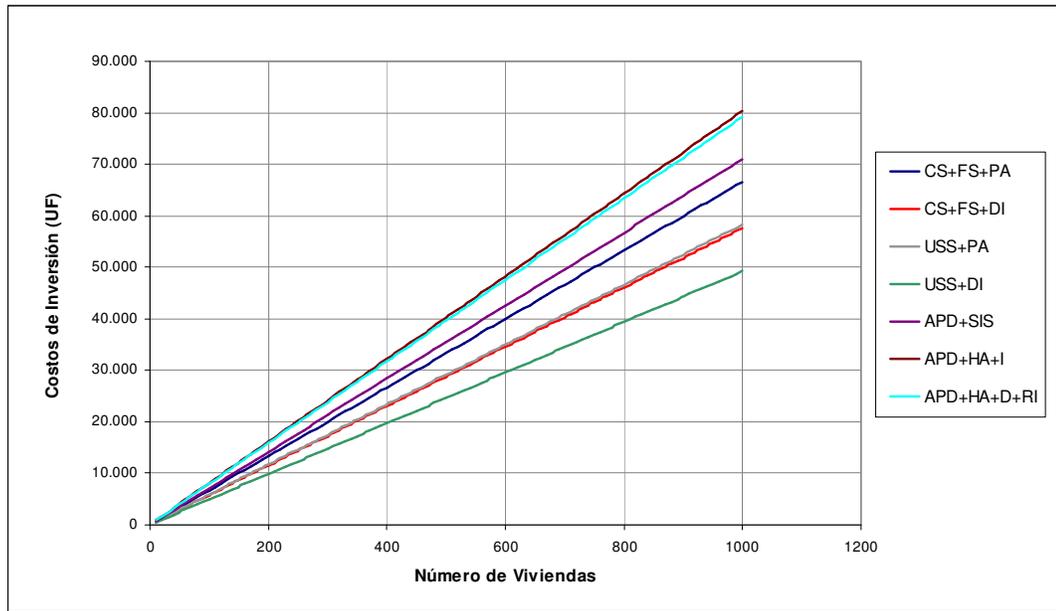
En el gráfico 8.8. las líneas que corresponden a los costos de las alternativas “CS+FS+PA” y “USS+PA” no se visualizan dado que son iguales a los costos de las alternativas “CS+FS+DI” y “USS+DI” respectivamente. Además las líneas que corresponden a los costos de las alternativas “APD+SIS” y “APD+HA+I” no se visualizan con suficiente claridad dado que presentan costos similares a la alternativa “APD+HA+D+RI”.

En el gráfico 8.8. se observa que la distancia entre viviendas no influye en los costos de operación de las soluciones individuales, a diferencia de lo que ocurre con las soluciones colectivas, en las cuales se observa claramente que los costos de operación aumentan a medida que aumenta la distancia entre viviendas. Además se observa que para distancias entre viviendas menores a 25 m las soluciones colectivas presentan costos menores de operación que las soluciones individuales, y que para distancias entre viviendas mayores a 25 m los costos de operación de las soluciones individuales son menores que los costos de operación de las soluciones colectivas.

8.1.3.2. Número de Viviendas

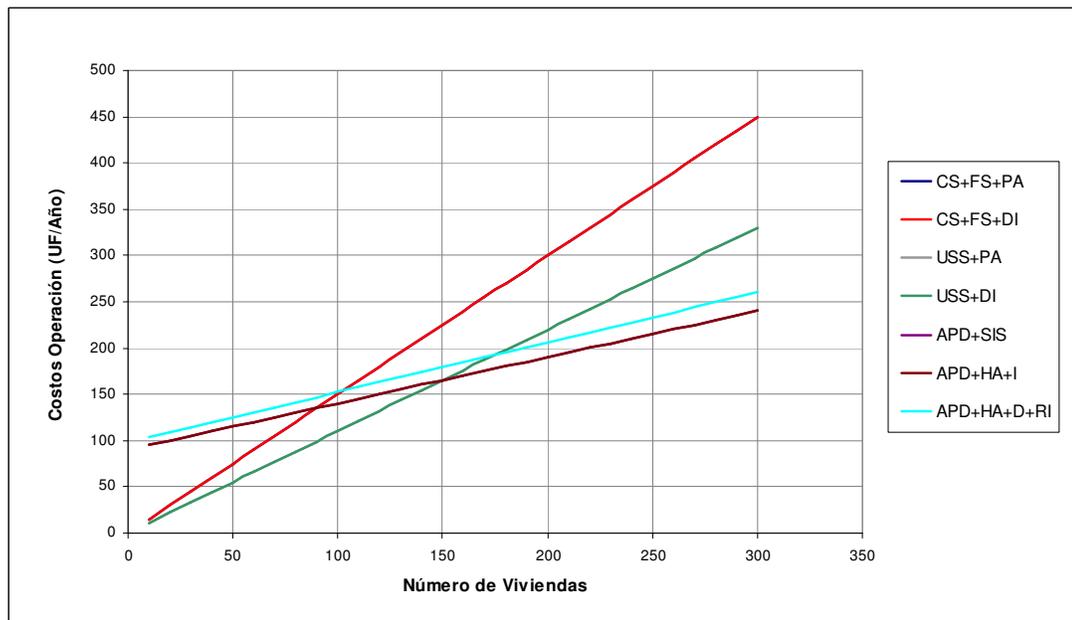
Los gráficos a continuación muestran como varían los costos de inversión y operación de las soluciones en función del número de viviendas que conforman la población. Para la construcción de los gráficos se fijó la distancia entre viviendas igual a 10 m, valor escogido porque se estima que en la mayoría de las poblaciones en estudio la distancia entre viviendas es aproximadamente 10 m, aunque es necesario mencionar que para distancias mayores la tendencia de las curvas es similar.

Gráfico 8.9. Costos Inversión DV=10 m



En el gráfico 8.9. se observa que los costos de inversión de todas las soluciones aumentan a medida que aumenta el número de viviendas y además se observa que siempre las soluciones colectivas presentan mayores costos de inversión que las soluciones individuales.

Gráfico 8.10. Costos Operación DV=10 m¹⁵



¹⁵ Se gráfica entre 0 y 300 viviendas para que las intersecciones entre las curvas se vean claramente.

En el gráfico 8.10. las líneas que corresponden a los costos de las alternativas “CS+FS+PA”, “USS+PA” y “APD+SIS” no se visualizan dado que son iguales a los costos de las alternativas “CS+FS+DI”, “USS+DI” y “APD+HA+I” respectivamente.

En el gráfico 8.10. se observa que los costos de operación de todas las soluciones aumentan a medida que aumenta el número de viviendas. Además se observa que para un número de viviendas menor a 100 los costos de operación de las soluciones individuales son menores a los costos de operación de las soluciones colectivas. Se observa también que en los casos en que se utiliza la unidad sanitaria seca como solución individual, los costos operacionales de las soluciones individuales para poblaciones con un número de viviendas menor a 150 son menores que los costos de operación de las soluciones colectivas.

8.2. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Para evaluar las alternativas se considera el Instructivo para la Formulación, Evaluación y Presentación de Proyectos en Territorios Vulnerables, desarrollado por el MIDEPLAN, el cual indica que la alternativa escogida será la que tenga un menor Costo Anual Equivalente (CAE) (8.1) y que además cumpla con los estándares mínimos establecidos.

$$CAE = VAC \cdot \left[\frac{r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (8.1)$$

$$VAC = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (8.2)$$

CAE: Costo Anual Equivalente

VAC: Valor Actual de los Flujos de Costos

C_i : Costos año i

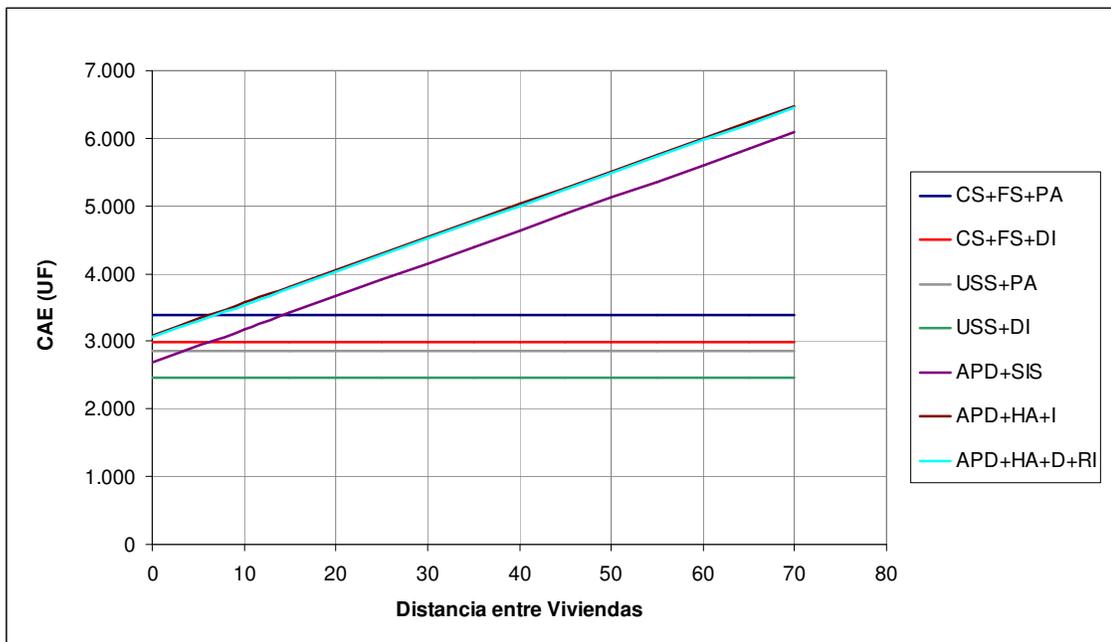
r : Tasa de descuento (%)

n : Período de evaluación

El periodo de evaluación utilizado será 20 años, ya que este período corresponde al período de previsión exigido en este tipo de proyectos, aunque es necesario destacar que para períodos de previsión mayores los resultados son prácticamente los mismos. La tasa de descuento utilizada es la definida por MIDEPLAN para este tipo de proyectos y corresponde al 8%.

El Gráfico 8.11 muestra como varía el Costo Anual Equivalente en función de la distancia entre viviendas.

Gráfico 8. 11. Costo Anual Equivalente en función de Distancia entre Viviendas NV=400

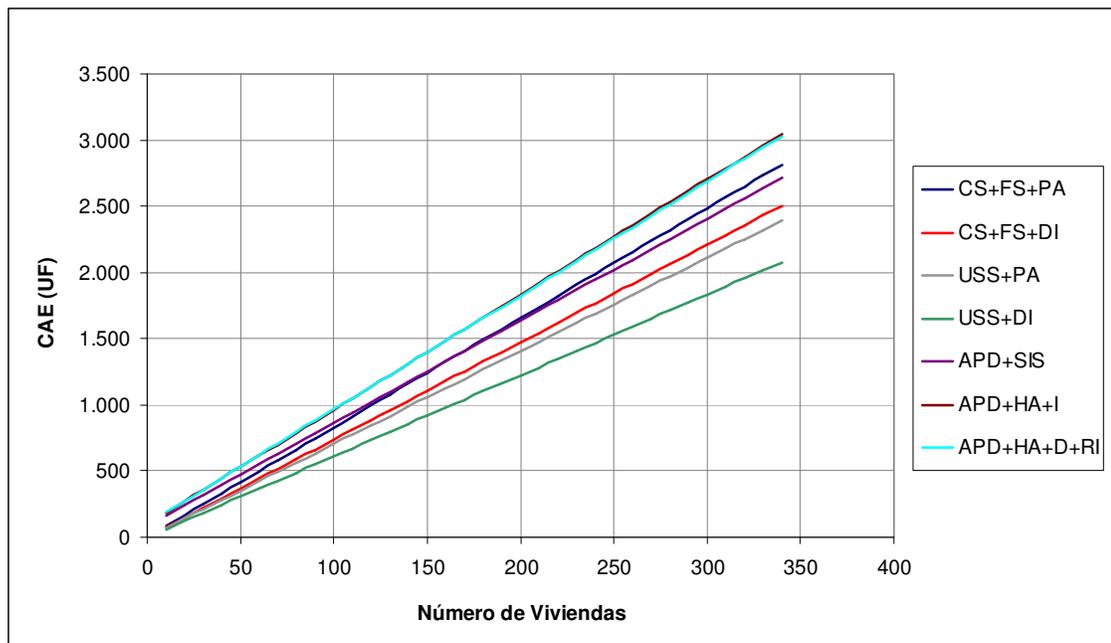


En el gráfico 8.11. la línea que corresponde al costo anual equivalente de la alternativa “APD+HA+I” no se visualiza con suficiente claridad dado que es similar a la línea que corresponde al costo anual equivalente de la alternativa “APD+HA+D+RI”.

En el gráfico 8.11. se observa que la distancia entre viviendas no influye en el costo anual equivalente de las soluciones individuales, a diferencia de lo que ocurre con las soluciones colectivas, en las cuales se observa claramente que el costo anual equivalente aumenta a medida que aumenta la distancia entre viviendas. Además se observa que para distancias entre viviendas mayores a 15 m las soluciones individuales presentan menor costo anual equivalente que las soluciones individuales.

A continuación se muestra como varía el Costo Anual Equivalente en función de la distancia entre viviendas.

Gráfico 8.12. Costo Anual Equivalente en función de Número de Viviendas DV=10 m



En el gráfico 8.12. la línea que corresponde al costo anual equivalente de la alternativa “APD+HA+I” no se visualiza con suficiente claridad dado que es similar a la línea que corresponde al costo anual equivalente de la alternativa “APD+HA+D+RI”.

En el gráfico 8.12. se observa que el costo anual equivalente de todas las soluciones aumenta a medida que aumenta el número de viviendas. Además se observa que para un número de viviendas menor a 160 el costo anual equivalente de las soluciones individuales siempre es menor al costo anual equivalente de las soluciones colectivas.

Las alternativas “APD+HA+I” y “APD+HA+D+RI”, las cuales corresponden a humedal artificial con sistemas de infiltración en suelo y humedal artificial con desinfección respectivamente, presentan un CAE similar independiente del número y la distancia entre viviendas, lo que implica que la diferencia en costos entre reutilizar el agua y no reutilizarla es prácticamente nula. Por lo cual, considerando que la alternativa que reutiliza el agua genera un beneficio extra que es el agua para riego, se descarta la utilización de la alternativa “APD+HA+I”.

8.3. RESULTADOS EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las alternativas individuales presentan un menor CAE que las alternativas colectivas en poblaciones que presentan una distancia entre viviendas mayor a 15 m

y/o un número de viviendas menor a 160, por lo cual para este tipo de poblaciones se recomienda siempre la utilización de soluciones individuales.

Para poblaciones con un número de viviendas mayor a 160 y con una distancia entre viviendas menor a 15 m es necesario considerar otros factores para decidir la alternativa a utilizar. Por lo cual, en este tipo de poblaciones se pueden tener soluciones colectivas o soluciones individuales dependiendo de las necesidades y características de la población.

9. PROPOSICIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA POBLACIONES ESTUDIADAS

El objeto de este capítulo es definir la mejor alternativa de solución para cada una de las poblaciones estudiadas, para lo cual se debe considerar características de la población como el número de viviendas en la población, la distancia entre viviendas y el sistema actual de disposición de excretas. Se considerará un periodo de previsión de 20 años¹⁶.

9.1. COMUNA DE TAL-TAL

9.1.1. Paposo

Paposo es una localidad ubicada en la costa de la región de Antofagasta, está compuesta por 144 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mediante pozos negros, fosas sépticas u obras artesanales hechas por los habitantes de la localidad.

Se estima que la población en la localidad de Paposo el año 2028 alcanzará los 504 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 3, el número de viviendas el año 2028 será 168.

Paposo actualmente posee un sistema de agua potable rural operativo, por lo cual se considera que los habitantes de la localidad son capaces de administrar, mantener y operar un sistema colectivo de tratamiento de aguas servidas.

Dada las características de la localidad se recomienda implementar un sistema colectivo de tratamiento de aguas servidas, compuesto por fosa séptica en el interior de la vivienda, alcantarillado de pequeño diámetro y sistemas de infiltración en suelo. Los costos estimados asociados a la alternativa propuesta se muestran en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1. Costos Alternativa Sistemas de Infiltración en Suelo Paposo

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	144	10	10.214	162	1,13
2028	168	10	11.916	174	1,04

9.1.2. Caleta Cifuncho

Caleta Cifuncho es una localidad ubicada en la costa de la región de Antofagasta, está compuesta por 47 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la localidad posee un baño público y ninguna de las viviendas posee caseta sanitaria. Las aguas servidas del baño público se descargan a una fosa séptica.

¹⁶ Periodo de previsión generalmente utilizado en este tipo de proyectos.

Se estima que la población en la localidad de Caleta Cifuncho el año 2028 alcanzará los 377 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 4, el número de viviendas el año 2028 será 94.

Caleta Cifuncho actualmente se abastece de agua potable por medio de camión aljibe, por lo cual se desconoce si los habitantes de la localidad son capaces de administrar, mantener y operar un sistema de agua potable rural o un sistema de tratamiento de aguas servidas colectivo.

Dada las características de la localidad y además considerando que se desconoce si son capaces de administrar, mantener y operar un sistema, se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas y así otorgar privacidad a los pobladores de la localidad, privilegio que actualmente no poseen al utilizar un baño público común.

En particular se recomienda la utilización de unidades sanitarias secas, dados los menores costos de inversión y operación de esta alternativa con respecto al resto de las alternativas. Los costos estimados de la alternativa planteada, considerando como sistema de infiltración pozo absorbente, son los mostrados en la Tabla 9.2.

Tabla 9. 2. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Cifuncho

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	47	10	2.780	52	1,10
2028	94	10	5.560	103	1,10

9.2. COMUNA DE CALAMA

9.2.1. Ayquina

Ayquina está ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta y es una localidad compuesta por 940 viviendas, de las cuales sólo están habitadas permanentemente 40 viviendas, el resto de las viviendas se utiliza sólo una vez al año para la festividad religiosa de la Virgen de Guadalupe. Se estima que la distancia entre viviendas en esta localidad es menor a 15 m.

Actualmente una parte de la población realiza su disposición de excretas mediante una red colectora, la cual lleva las aguas servidas a fosas sépticas, el resto de la población realiza la disposición de excretas de forma individual mediante pozos negros, fosas sépticas u obras artesanales hechas por los habitantes de la localidad.

Ayquina actualmente no posee un sistema de agua potable operativo, pero está en etapa de diseño un sistema de agua potable rural y la localidad ya cuenta con un comité de agua potable rural, por lo cual se cree serán capaces de administrar, operar y mantener un sistema.

Dada las características de la localidad y considerando que la principal actividad de los habitantes de Ayquina es la agricultura, por lo que sería provechoso obtener

agua para riego, se recomienda implementar un sistema colectivo de tratamiento de aguas servidas, compuesto por fosa séptica en el interior de la vivienda, alcantarillado de pequeño diámetro, humedal artificial de flujo subsuperficial, desinfección y la reutilización del efluente en riego.

Se recomienda que el sistema de recolección se diseñe para la totalidad de las viviendas y que el tratamiento, es decir el humedal artificial y la desinfección, se diseñe sólo para el número de viviendas que se encuentran habitadas permanentemente, dado que no se justifica económicamente invertir, operar y mantener un humedal artificial de grandes dimensiones que se utilizará sólo una vez al año. Las aguas servidas generadas durante la festividad religiosa pueden ser infiltradas en algún lugar donde la napa de agua subterránea no sea muy superficial o pueden ser acumuladas en un estanque y ser tratadas poco a poco en el humedal artificial.

En la Tabla 9.3. se muestran costos estimados de la solución planteada.

Tabla 9. 3. Costos Humedal Artificial y Riego Ayquina

Uso Vivienda	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
Permanente	40	10	3.224	30	0,75
No Permanente	900	10	11.935	540,28	0,60

9.2.2. Turi

Turi es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 26 viviendas y la distancia entre las viviendas de la localidad es mayor a 100 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mediante pozos negros o fosas sépticas.

No existen estimaciones del tamaño de la población en el año 2028 para Turi, pero difícilmente la distancia entre viviendas será menor a 15 m, por lo cual se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para las viviendas que poseen pozo negro se recomienda cambiar este pozo negro por una unidad sanitaria seca o por caseta sanitaria más fosa séptica.

En la Tabla 9.4. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Turi.

Tabla 9. 4. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Turi

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	26	150	1.538	29	1,10

9.2.3. Cupo

Cupo es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 32 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mediante pozos negros o fosas sépticas.

Se estima que la población en la localidad de Cupo el año 2028 alcanzará los 147 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 4, el número de viviendas el año 2028 será 37.

Cupo actualmente se abastece de agua potable por medio de camión aljibe, por lo cual se desconoce si los habitantes de la localidad son capaces de administrar, mantener y operar un sistema de agua potable rural o un sistema de tratamiento de aguas servidas colectivo.

Dada las características de la localidad se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para las viviendas que poseen pozo negro se recomienda cambiar este pozo negro por una unidad sanitaria seca o caseta sanitaria más fosa séptica.

En la Tabla 9.5. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Cupo.

Tabla 9. 5. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Cupo

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	32	10	1.893	35	1,10
2028	37	10	2.189	41	1,10

9.2.4. Caspana

Caspana es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 164 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mediante pozos negros y fosas sépticas.

Se estima que la población en la localidad de Caspana el año 2028 alcanzará los 1.076 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 4, el número de viviendas el año 2028 será 269.

Caspana actualmente posee un sistema de agua potable rural operativo, por lo cual se considera que los habitantes de la localidad son capaces de administrar, mantener y operar un sistema colectivo de tratamiento de aguas servidas.

Dada las características de la localidad, cualquiera de las alternativas puede ser implementada, por lo que se recomienda que la elección de la alternativa a utilizar sea

una decisión tomada en conjunto por los pobladores y autoridades, considerando tanto las ventajas como las desventajas de cada una de las alternativas propuestas.

En la Tabla 9.6. se muestran los costos estimados de las alternativas propuestas para la localidad de Caspana.

Tabla 9. 6. Costos Alternativas Caspana

Alternativa	Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
Fosa Séptica - Pozo Absorbente	2008	164	10	11.182	246	1,50
	2028	269	10	18.340	404	1,50
Fosa Séptica - Drenes Infiltración	2008	164	10	9.627	246	1,50
	2028	269	10	15.790	404	1,50
USS- Pozo Absorbente	2008	164	10	9.701	180,4	1,10
	2028	269	10	15.911	295,9	1,10
USS - Drenes Infiltración	2008	164	10	8.146	180,4	1,10
	2028	269	10	13.361	295,9	1,10
Alc. Peq. Diámetro - Sistemas Infiltración en Suelo	2008	164	10	11.633	172	1,05
	2028	269	10	19.080	225	0,84
Alc. Peq. Diámetro - Humedal Artificial - Infiltración	2008	164	10	13.226	172	1,05
	2028	269	10	21.662	225	0,84
Alc. Peq. Diámetro - Humedal Artificial - Desinfección - Riego	2008	164	10	13.045	187	1,14
	2028	269	10	21.357	244	0,91

9.2.5. Toconce

Toconce es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 87 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mayoritariamente fosas sépticas y un porcentaje menor mediante pozos negros.

Se estima que la población en la localidad de Toconce el año 2028 alcanzará los 497 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 4, el número de viviendas el año 2028 será 124.

Dada las características de la localidad se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para las viviendas que poseen pozo negro se recomienda cambiar este pozo negro por una unidad sanitaria seca o caseta sanitaria más fosa séptica.

En la Tabla 9.7. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Toconce.

Tabla 9. 7. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Toconce

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	87	10	5.146	96	1,10
2028	124	10	7.335	136	1,10

9.2.6. Chunchuri Bajo

Chunchuri Bajo es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 92 viviendas y la distancia entre las viviendas de la localidad es mayor a 100 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mayoritariamente por pozos negros y un porcentaje menor lo hace mediante fosas sépticas.

Se estima que la población en la localidad de Chunchuri Bajo el año 2028 alcanzará los 418 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 4, el número de viviendas el año 2028 será 105.

Dada las características de la localidad se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para las viviendas que poseen pozo negro se recomienda cambiar este pozo negro por una unidad sanitaria seca o caseta sanitaria más fosa séptica.

En la Tabla 9.8. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Chunchuri Bajo.

Tabla 9. 8. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Chunchuri Bajo

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	92	100	5.442	101	1,10
2028	105	100	6.211	116	1,10

9.2.7. Yalquincha

Yalquincha es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 32 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mayoritariamente por pozos negros y un porcentaje menor lo hace mediante fosas sépticas.

Se estima que la población en la localidad de Yalquincha el año 2028 alcanzará los 115 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 3, el número de viviendas el año 2028 será 38.

Dada las características de la localidad se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para las viviendas que poseen pozo negro se recomienda cambiar este pozo negro por una unidad sanitaria seca o caseta sanitaria más fosa séptica.

En la Tabla 9.9. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Yalquincha.

Tabla 9. 9. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Yalquincha

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	32	10	1.893	35	1,10
2028	38	10	2.248	42	1,10

9.3. COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA

9.3.1. Río Grande

Río Grande es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 70 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente un número considerable de viviendas posee pozo negro para disponer sus aguas servidas, además existen pozos negros públicos y aproximadamente unas 20 viviendas poseen caseta sanitaria y fosa séptica para descargar sus aguas servidas.

No existen estimaciones del tamaño de la población en el año 2028 para Río Grande, pero dadas las características de la población, difícilmente en el año 2028 el número de viviendas será mayor a 160, por lo cual se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para el resto de las viviendas se recomienda instalar una unidad sanitaria seca o caseta sanitaria más fosa séptica, y así otorgar privacidad y dignidad a los pobladores que actualmente no poseen caseta sanitaria, privilegios que no tienen al utilizar un pozo negro común o un pozo negro en el interior de su vivienda.

En la Tabla 9.10. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Río Grande.

Tabla 9. 10. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	70	10	4.141	77	1,10

9.3.2. Toconao

Toconao es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 270 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mediante pozos negros y fosas sépticas.

No existen estimaciones del tamaño de la población en el año 2028 para Toconao, pero claramente el número de viviendas es mayor a 160, por lo cual cualquiera de las alternativas puede ser implementada. Se recomienda que la elección de la alternativa a utilizar sea una decisión tomada en conjunto por los pobladores y autoridades, considerando tanto las ventajas como las desventajas de cada una de las alternativas propuestas.

En la Tabla 9.11. se muestran los costos estimados de las alternativas propuestas para la localidad de Toconao.

Tabla 9. 11. Costos Alternativas Toconao

Alternativa	Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
Fosa Séptica - Pozo Absorbente	2008	164	10	11.182	246	1,50
Fosa Séptica - Drenes Infiltración	2008	164	10	9.627	246	1,50
USS- Pozo Absorbente	2008	164	10	9.701	180,4	1,10
USS - Drenes Infiltración	2008	164	10	8.146	180,4	1,10
Alc. Peq. Diámetro - Sistemas Infiltración en Suelo	2008	164	10	11.633	172	1,05
Alc. Peq. Diámetro - Humedal Artificial - Infiltración	2008	164	10	13.226	172	1,05
Alc. Peq. Diámetro - Humedal Artificial - Desinfección - Riego	2008	164	10	13.045	187	1,14

9.3.3. Camar

Camar es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 33 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la localidad posee una red de alcantarillado de aguas servidas, la cual conduce las aguas a una fosa séptica de 5 m³.

No existen estimaciones del tamaño de la población en el año 2028 para Camar, pero dadas las características de la población, se estima no aumentará mucho su tamaño.

Dado que actualmente existe un sistema colectivo de aguas servidas en funcionamiento, se recomienda seguir utilizando este sistema, pero es necesario mencionar que, según lo calculado en el Capítulo 7 de este estudio, es necesario aproximadamente 1 m³ de fosa séptica por vivienda, por lo cual para garantizar un tiempo de retención igual a 1 día es necesario aumentar el número de fosas sépticas en la localidad.

En la Tabla 9.12. se muestran costos estimados de instalar una fosa séptica de grandes dimensiones en Camar y el costo de operación del sistema.

Tabla 9. 12. Costos Fosa Séptica Grandes Dimensiones Camar

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión Fosa Séptica(UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	33	10	287	90	2,74

9.3.4. Peine

Peine es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 130 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la localidad posee una red de alcantarillado y un tratamiento en base lagunas de estabilización facultativas.

Se estima que la población en la localidad de Peine el año 2028 alcanzará los 1163 habitantes (ALPHA Ingeniería de Proyectos, 2004), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 4, el número de viviendas el año 2028 será 291.

Dado que la localidad cuenta con un sistema de tratamiento de aguas servidas ya construido, se recomienda utilizar la red colectora construida y transformar las lagunas de estabilización en humedales artificiales de flujo subsuperficial, de manera de dar una protección térmica al flujo de agua y de evitar la posible proliferación de vectores sanitarios y olores.

Las dimensiones de las lagunas de estabilización construidas en Peine son las mostradas en la Tabla 9.13.

Tabla 9. 13. Dimensiones Lagunas de Estabilización Peine

Número de Lagunas		2
Ancho Coronamiento	[m]	34
Largo coronamiento	[m]	68
Ancho Basal	[m]	20,2
Largo Basal	[m]	54,2
Altura Operación	[m]	1,8

Considerando que es necesaria un área superficial de humedal artificial igual a 12 m² por vivienda, las lagunas de estabilización transformadas en humedal artificial alcanzarían para 318 viviendas.

Es necesario recordar que el agua que ingresa al humedal debe ser pretratada, por lo cual hay que considerar un tratamiento primario, el cual se recomienda se realice por medio de fosas sépticas de grandes volúmenes. Específicamente son necesarias 7 fosas sépticas de 42 m³.

Si bien los habitantes de la localidad de Peine no se dedican a la agricultura, de igual modo se recomienda reutilizar el agua efluente del tratamiento en riego, dado que no se justifica desperdiciar agua de buena calidad para riego en una zona con gran escasez de recursos hídricos.

En la Tabla 9.14. se indican los costos de la solución propuesta.

Tabla 9. 14. Costos Alternativa Peine

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	130	10	2.891	311	2,39
2028	291	10	2.891	311	1,07

9.3.5. Socaire

Socaire es una localidad ubicada en el altiplano de la región de Antofagasta, está compuesta por 80 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mediante pozos negros y fosas sépticas.

No existen estimaciones del tamaño de la población en el año 2028 para Socaire, pero dadas las características de la población, difícilmente en el año 2028 el número de viviendas será mayor a 160, por lo cual se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para el resto de las viviendas se recomienda instalar una unidad sanitaria seca o caseta sanitaria más fosa séptica.

En la Tabla 9.15. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Socaire.

Tabla 9. 15. Costos Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Socaire

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	80	10	4.732	88	1,10

9.4. COMUNA DE TOCOPILLA

9.4.1. Caleta Buena

Caleta Buena es una localidad ubicada en la costa de la región de Antofagasta, está compuesta por 147 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la disposición de excretas en la localidad se realiza mediante pozos negros y fosas sépticas.

Se estima que la población en la localidad de Caleta Buena el año 2028 alcanzará los 379 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 2, el número de viviendas el año 2028 será 190.

Caleta Buena actualmente no posee un sistema de agua potable rural ni comité de agua potable rural, por lo cual se desconoce si los habitantes de la localidad son capaces de administrar, mantener y operar un sistema de agua potable rural o un sistema de tratamiento de aguas servidas colectivo.

Dada las características de la localidad y además considerando que se desconoce si son capaces de administrar, mantener y operar un sistema, se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para el resto de las viviendas se recomienda instalar una unidad sanitaria seca o caseta sanitaria más fosa séptica.

En la Tabla 9.16. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Caleta Buena.

Tabla 9. 16. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Caleta Buena

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	147	10	8.695	162	1,10
2028	190	10	11.239	209	1,10

9.4.2. Punta Arenas

Punta Arenas es una localidad ubicada en la costa de la región de Antofagasta, está compuesta por 21 viviendas y se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente los habitantes para disponer sus excretas utilizan pozo negro o simplemente no poseen sistema alguno

Se estima que la población en la localidad de Caleta Punta Arenas el año 2028 alcanzará los 123 habitantes (INVAR, 2008), entonces considerando un número de habitantes por viviendas igual a 4, el número de viviendas el año 2028 será 30.

Punta Arenas actualmente se abastece de agua potable por medio de camión aljibe, por lo cual se desconoce si los habitantes de la localidad son capaces de administrar, mantener y operar un sistema de agua potable rural o un sistema de tratamiento de aguas servidas colectivo.

Dada las características de la localidad y además considerando que se desconoce si son capaces de administrar, mantener y operar un sistema, se recomienda instalar soluciones individuales en cada una de las viviendas. En particular se recomienda la utilización de unidades sanitarias secas, dados los menores costos de inversión y operación de esta alternativa con respecto al resto de las alternativas.

En la Tabla 9.17. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Caleta Punta Arenas.

Tabla 9. 17. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Caleta Punta Arenas

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	21	10	1.242	23	1,10
2028	30	10	1.775	33	1,10

9.4.3. Quillagua

Quillagua es una localidad ubicada en la depresión intermedia de la región de Antofagasta, está compuesta por 147 viviendas, de las cuales están habitadas menos de la mitad. Se estima que la distancia entre viviendas en la localidad es menor a 15 m. Actualmente la mayoría de las viviendas posee fosa séptica para disponer sus excretas, el resto de las viviendas, las cuales son en su mayoría viviendas deshabitadas, posee pozo negro.

No existen estimaciones del tamaño de la población en el año 2028 para Quillagua, pero se sabe que la población en Quillagua ha estado disminuyendo en los últimos 30 años, por lo que se estima que el número de viviendas en 20 años más será similar al número de viviendas que existe actualmente.

Dada las características de la población se recomienda instalar soluciones individuales en las viviendas habitadas. Para las viviendas que ya poseen fosa séptica se recomienda revisar las instalaciones de manera de comprobar que estén funcionando correctamente y para el resto de las viviendas se recomienda instalar una unidad sanitaria seca o caseta sanitaria más fosa séptica.

En la Tabla 9.18. se muestran los costos estimativos de instalar Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente en la localidad de Quillagua.

Tabla 9. 18. Costos Alternativa Unidad Sanitaria Seca con Pozo Absorbente Quillagua

Año	Viviendas (Nº)	Dist. Viv (m)	Costos Inversión (UF)	Costos Operación (UF/año)	Costos Operación (UF/viv/año)
2008	147	10	8.695	162	1,10

En la Tabla 9.19. se muestra resumen de las soluciones planteadas para cada una de las localidades. Es necesario mencionar que para las localidades Caspana y Toconce se muestra la alternativa con menor costo de operación.

Tabla 9. 19. Resumen Soluciones Planteadas

Localidad	Población (hab)		Viviendas (Nº)		Distancia entre Viviendas (m)	Disposición Actual de Excretas	Solución Propuesta	Costos Inversión Solución Propuesta (UF)	Costos Operación Solución Propuesta (UF/viv/año)
	2008	2028	2008	2028					
Ayquina	120	---	940	---	10	PN - FS	FS + APD + HA + RI	15.159	0,61
Turi	60	---	26	---	150	PN	USS	1.538	1,10
Cupo	68	147	32	37	10	PN - FS	USS	2.189	1,10
Caspana	170	1.076	164	269	10	PN - FS	APD + SIS	19.080	0,84
Toconce	128	497	87	124	10	PN - FS	USS	7.335	1,10
Chunchuri Bajo	276	418	92	105	100	PN - FS	USS	6.211	1,10
Yalquincha	76	115	32	38	10	PN -FS	USS	2.248	1,10
Río Grande	80	---	70	---	10	PN - FS	USS	4.141	1,10
Toconao	800	---	270	---	10	PN - FS	APD + SIS	11.633	1,05
Camar	61	---	33	---	10	Alcantarillado + FS	FS Gran Dimensión	287	3,69
Peine	530	1163	130	291	10	Alcantarillado + LE	HA + RI	2.891	1,07
Socaire	260	---	80	---	10	PN - FS	USS	4.732	1,10
Caleta Buena	250	379	147	190	10	PN - FS	USS	11.239	1,10
Caleta Punta Arenas	81	123	21	30	10	PN	USS	1.775	1,10
Paposo	333	504	144	168	10	PN - FS	FS + APD + SIS	11.916	1,04
Caleta Cifuncho	46	377	47	94	10	FS	USS	5.560	1,10
Quillagua	92	---	147	---	10	PN - FS	USS	8.695	1,10

PN: Pozo Negro

FS: Fosa Séptica

LE: Lagunas de Estabilización

APD: Alc. Peq. Diámetro

HA: Humedal Artificial

RI: Riego

SIS: Sistemas Infiltración Suelo

USS: Unidad Sanitaria Seca

10. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El principal resultado del estudio es que para poblaciones compuestas por menos de 160 viviendas y/o con una distancia entre viviendas mayor a 15 m siempre las soluciones individuales son más convenientes que las colectivas. En cambio, para el resto de las poblaciones los resultados no son tan claros, ya que para poblaciones con un número mayor a 160 viviendas o para una distancia entre viviendas menor a 15 m, la alternativa individual más costosa presenta un mayor costo que la alternativa colectiva más económica, por lo tanto en este tipo de poblaciones no basta con considerar un indicador económico como el CAE (Costo Anual Equivalente) para definir la alternativa a utilizar, si no que es necesario también evaluar si la población tiene la capacidad de mantener y operar un sistema colectivo, si están dispuestos a pagar un poco más de tarifa y a cambio conseguir agua para riego o si están dispuestos a utilizar un sistema no convencional como la Unidad Sanitaria Seca a cambio de disminuir el consumo de agua.

Con respecto a la Unidad Sanitaria Seca, desde el punto de vista económico y ambiental presenta muchas ventajas en comparación con el resto de las alternativas, los costos de operación de ella son menores y además implica un ahorro en el uso de un bien escaso en la región, como es el agua. Por otro lado se aprovechan los nutrientes de los residuos humanos mediante la utilización del material resultante de la degradación de excretas y además se evita la contaminación de ríos, lagos y aguas subterráneas producida por las descargas de aguas servidas. Por todo lo anterior, se recomienda siempre la utilización de esta alternativa, pero considerando que representa una alternativa poco usual en Chile, por lo cual para ser utilizada debe ser aceptada por los usuarios y éstos deben ser capacitados de manera que entiendan su funcionamiento y no represente un problema para ellos en vez de una solución.

En las soluciones individuales se evaluó infiltrar mediante Drenes de Infiltración y mediante Pozo Absorbente, resultando de menor costo la primera de las alternativas, pero la decisión de utilizar una u otra de las alternativas debe considerar tanto el costo como la disponibilidad de terreno en el interior de la vivienda.

Con respecto a los sistemas de tratamiento colectivos, la utilización de éstos implica una organización de la comunidad para administrar, operar y mantener el sistema, por lo cual al decidir utilizar un sistema colectivo también es necesario evaluar si los habitantes de la población son capaces de organizarse.

Con respecto a los Sistemas de Infiltración en Suelo, si bien presentan costos bastante menores que los humedales artificiales, la utilización de ellos no depende sólo de criterios económicos sino que también depende de las características de la zona en que se emplace el sistema. El suelo debe tener una permeabilidad que permita la infiltración y su espesor debe ser mayor a 3 m, de manera de no contaminar la napa. Por lo cual si se desea utilizar sistemas de infiltración en suelo y la napa del lugar en que se desea instalar el sistema es más bien superficial, se debe considerar si económicamente es más conveniente utilizar humedal artificial en el lugar escogido o

buscar un nuevo lugar para el sistema de infiltración en suelo y gastar un poco más en un alcantarillado más largo.

La calidad del agua efluente de los humedales artificiales es bastante buena y la diferencia de costos entre reutilizar el agua y no hacerlo es menor, por lo cual, y dada la escasez de recursos hídricos de la región, se recomienda siempre reutilizar el agua cuando el tratamiento sea realizado mediante humedales artificiales.

Al considerar la reutilización del agua en el tratamiento se produce un nuevo bien en la comunidad, el cual pertenece a todos los habitantes, por lo tanto debe ser administrado, distribuido y utilizado de manera justa, para así evitar disputas entre los pobladores. Entonces al decidir reutilizar el agua también se debe considerar este punto y por ejemplo considerar la utilización del agua en el riego de una plaza o parque público, o bien idear algún sistema para administrar este bien.

De acuerdo a todo lo anterior, la principal conclusión del estudio es que para este tipo de proyectos siempre es necesario capacitar e informar las ventajas, desventajas y costos de las alternativas en estudio a los beneficiados, consultar y considerar su opinión, ya que ellos son los que deben utilizar, operar y mantener el sistema y si es que se les presenta algún problema dejaran de utilizarlo, volverán a sus prácticas anteriores y la inversión será en vano.

Se recomienda para estudios y trabajos posteriores evaluar la remoción de contaminantes producida al infiltrar las aguas servidas en el suelo de la zona, de manera de determinar cual es la remoción efectiva de nutrientes de los sistemas de infiltración en suelo y así no correr el riesgo de contaminar aguas subterráneas. Además, si se considera la utilización de humedales artificiales, se recomienda realizar previamente una planta piloto de manera de determinar la vegetación idónea para la zona y la eficiencia en la remoción de contaminantes del sistema.

Finalmente se sugiere a las autoridades flexibilizar la exigencia de las normas de emisión en estos casos, ya que en los sistemas de tratamiento no convencionales, los cuales corresponden a los sistemas propuestos para este tipo de poblaciones, la eficiencia no siempre es constante, por lo cual cumplir siempre las normas de emisión se hace un poco más complejo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [en línea] <http://www.unicef.cl> [consulta: 20 junio 2008]
2. Atlas Geográfico y Universal de Chile. 1999. España. Océano Grupo Editorial.
3. Enciclopedia de Chile. 1998. España. Océano Grupo Editorial.
4. Dirección Meteorológica de Chile [en línea] <http://www.meteochile.cl> [consulta: 30 junio 2008]
5. Instituto Nacional de Estadísticas [en línea] <http://www.ine.cl> [consulta: 30 junio 2008]
6. INVAR S.A. (2008). Diseño de Ingeniería para el mejoramiento de los sistemas de agua potable rural de II región. Primera Etapa. Memoria Técnica.
7. ALPHA Ingeniería de Proyectos. (2004). Construcción del Sistema de Alcantarillado de Aguas Servidas de la Localidad de Peine – II Región.
8. Quillagua, mi flor en el desierto. [en línea] <http://apoyemosquillagua.blogspot.com> [consulta: 30 junio 2008]
9. Homsy y Asociados Ltda. (2007). Estudio de Soluciones de Saneamiento Rural. Informe Final. Tomo I.
10. CHILE. Dirección de Obras Sanitarias. Ministerio de Obras Públicas. 1926. Reglamento General de Alcantarillados Particulares.
11. Tramón Da Fonseca, Sebastián. (2005). Sistematización de las experiencias sobre aplicación de tecnología alternativa sanitaria, en localidades rurales de la XI Región de Aysén. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.
12. Metcalf and Eddy (1995). Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. Mc Graw Hill. En español, traducido de la 3ª edición en inglés.
13. Metcalf and Eddy (1996). Ingeniería de Aguas Residuales. Redes de Alcantarillado y Bombeo. Mac Graw Hill. Traducción de la 3ª edición en inglés.
14. Farías Rojas, Claudio. (1999). Metodología de diseño de alcantarillado de pequeños diámetros para localidades rurales concentradas. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
15. Martínez Viertel, Guillermo. (2003). Proposición de programa de alcantarillado en los sectores rurales de la Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
16. Dünner Solari, Ignacio. (2004). Evaluación integral de plantas de tratamiento de aguas servidas y alternativas de tratamiento en localidades rurales concentradas. Aplicación en las regiones R.M. y VII. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico. Memoria

- para optar al Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
17. Lara Borrero, Jaime. (1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Tesis para optar al grado de Master en Ingeniería y Gestión Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña.
 18. Santibáñez González, Jorge. (2002). Estudio de Plantas Piloto de Aguas Servidas a base de Tecnologías No Convencionales. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
 19. Mena Patri, María Pía. (2007) Apuntes de Procesos Unitarios de Tratamiento de Aguas Residuales. Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
 20. Global Water Systems Chile [en línea] <http://www.globalwater.cl> [consulta: 14 octubre 2008]
 21. CHILE. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2001. DS N° 90: Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
 22. CHILE. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2002. DS N° 46: Establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.
 23. CHILE. Instituto Nacional de Normalización. 1978. NCh 1333: Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.
 24. CHILE. Instituto Nacional de Normalización. 1999. NCh 1105: Ingeniería Sanitaria: alcantarillado de aguas residuales: diseño y cálculo de redes.
 25. Espinoza C, Carlos. (2007) Apuntes de Hidráulica de Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento. Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
 26. Gobierno de Chile. Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2006). Estudio determinación de Precios Unitarios para valorización de Obras Tipo Infraestructura Sanitaria. Cuarto Proceso de Fijación de Tarifas ESSAN – Aguas Antofagasta.
 27. Universidad de Chile. Vicerrectoría Académica y Estudiantil. Departamento de Postgrado y Postítulo. 1997. El Altiplano: ciencia y conciencia en los Andes: actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos, Arica, Chile, Octubre 19 al 21, 1993. Santiago, Universidad de Chile.
 28. Infraplast [en línea] <http://www.infraplast.cl> [consulta: 18 octubre 2008]
 29. Homecenter Sodimac [en línea] <http://www.sodimac.cl> [consulta: 18 octubre 2008]
 30. Ferretería Higuierillas [en línea] <http://www.fh.cl> [consulta: 19 octubre 2008]
 31. Aguamarket Productos y Servicios para la Industria del Agua Latinoamericana [en línea] <http://www.aguamarket.cl> [consulta: 20 octubre 2008]

32. Soluciones Biotecnológicas Ltda. [en línea] <http://www.sobitec.com> [consulta: 28 octubre 2008]
33. Gobierno de Chile. Servicio Nacional del Consumidor. (2002). Análisis comparativo del Cloro de Uso Doméstico que se comercializa en el mercado formal de la ciudad de Santiago.
34. Sistema Nacional de Inversiones. Gobierno de Chile. Ministerio de Planificación [en línea] <http://sni.mideplan.cl> [consulta: 16 noviembre 2008]
35. Gobierno de Chile. Ministerio de Planificación. División de Planificación, Estudios e Inversión (2007). Instructivo para la Formulación de Proyectos en Territorios Vulnerables.
36. Biblioteca CF + S, Ciudades para un Futuro más Sostenible. [en línea] <http://habitat.aq.upm.es/> [consulta: 14 enero 2009]
37. Lovera D., Daniel, Quipuzco U., Lawrence, Laureano V., Gaudencio *et al.* Adaptación de un sistema de tratamiento o de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash - Perú, usando tecnologías de humedales artificiales. [en línea] *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr.* julio 2006, vol.9, no.18 p.32-43. <http://www.scielo.org.pe/> [consulta: 19 Enero 2009]
38. Municipalidad de Lacabamba. [en línea] <http://unmsn.edu.pe/> [consulta: 19 Enero 2009]

ANEXOS

ANEXO A: Recomendaciones de Agua para Riego

En las tablas a continuación se muestran las recomendaciones de calidad del agua para riego especificados en NCh 1333/Of 78 Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos.

Tabla A. 1. Requisitos de Agua para Riego

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permitido
pH		5,5 - 9,0
Aluminio	mg/l	5,000
Arsénico	mg/l	0,100
Bario	mg/l	4,000
Berilio	mg/l	0,100
Boro	mg/l	0,750
Cadmio	mg/l	0,010
Cianuro	mg/l	0,200
Cloruro	mg/l	200
Cobalto	mg/l	0,050
Cobre	mg/l	0,200
Cromo	mg/l	0,100
Fluoruro	mg/l	1,000
Hierro	mg/l	5,000
Litio	mg/l	2,500
Litio (cítricos)	mg/l	0,175
Manganeso	mg/l	0,200
Mercurio	mg/l	0,001
Molibdeno	mg/l	0,010
Níquel	mg/l	0,200
Plata	mg/l	0,200
Plomo	mg/l	5,000
Selenio	mg/l	0,020
Sodio porcentual	mg/l	35
Sulfato	mg/l	250
Vanadio	mg/l	0,100
Zinc	mg/l	2,000
Coliformes Fecales*	NMP/100 ml	1.000

* Para el riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo.

Tabla A. 2. Clasificación de Aguas para Riego según su Salinidad

Clasificación	Conductividad Específica $\mu\text{mhos a } 25^{\circ}\text{C}$	Sólidos Disueltos Totales $\text{mg/l a } 105^{\circ}\text{C}$
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.	$c < 750$	$s < 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	$750 < c < 1500$	$500 < s < 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos.	$1500 < c < 3000$	$1000 < s < 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	$3000 < c < 7500$	$2000 < s < 5000$

ANEXO B: Experiencia en las Soluciones Propuestas.

Este anexo tiene el objeto de describir algunas experiencias en la utilización de las soluciones propuestas para el tratamiento de aguas servidas, en particular se buscaron experiencias en localidades similares a las poblaciones rurales de la región de Antofagasta, de manera de ratificar que estas tecnologías son factibles de aplicar.

1.1. Soluciones Individuales

Las soluciones individuales propuestas son básicamente Fosa Séptica y Unidad Sanitaria Seca. La fosa séptica ha sido ampliamente utilizada en poblaciones rurales tanto en Chile como en otros países, de hecho muchas de las viviendas de las poblaciones rurales en estudio poseen fosa séptica y funcionan sin problema alguno, con lo cual se comprueba que es factible de utilizar y no se entrará en mayor detalle con respecto a su experiencia.

Con respecto a la utilización de Unidades Sanitarias Secas se conocen experiencias exitosas en Vietnam, México, Perú, Estados Unidos y Guatemala, entre otros países. Además se tiene una experiencia en Chile en la región de Aysén, la cual no tuvo los resultados esperados.

En los apartados a continuación se describe la experiencia de Aysén y la experiencia de la utilización de esta alternativa en una localidad de México.

1.1.1. Unidad Sanitaria Seca en localidades rurales de la región de Aysén, Chile

La región de Aysén se encuentra ubicada en la zona austral de Chile, cuenta con una variedad climática que incluye el clima templado húmedo con lluvia todo el año y el clima de Estepa con temperaturas muy bajas. El 19.5% de la población de la región corresponde a población rural.

Con el objeto de mejorar el problema de saneamiento rural en la región de Aysén, la Secretaría Regional Ministerial del Ministerio de Obras Públicas, junto a las ONG CETAL y EMMSA instalaron 22 Unidades Sanitarias Secas (USS) en 7 comunas de la región.

El proyecto fue ejecutado entre los años 1999 y 2001, después de terminada la construcción el convenio entre los pobladores y las autoridades terminó, quedando los usuarios de la tecnología sin tener a quien recurrir o quien les apoye tanto en las dudas como en los problemas que puedan surgir en el proceso de adopción de la tecnología.

Al año 2005 la mitad de las USS instaladas aún funcionaban y sólo una de las familias "beneficiadas" con el sistema no había tenido problema en el manejo de la tecnología (Tramón, C. 2005). Por lo cual se concluye que no se han conseguido los resultados esperados y además no se han constatado réplicas de la tecnología.

La razón principal del no funcionamiento del proyecto es falta de entendimiento de los usuarios sobre la USS, la humedad de la zona y problemas constructivos que implicaron que entrará agua al interior de las cámaras de descomposición de las USS.

1.1.2. Baños Ecológicos en Puerto Morelos, México

Puerto Morelos es una comunidad de 1.500 personas, en la cual conviven mayas, mexicanos de la clase trabajadora y algunos mexicanos más adinerados que poseen sus casas de veraneo en el lugar. La zona se caracteriza por poseer la segunda barrera de arrecifes más grande del mundo, una red subterránea de ríos de agua dulce y manglares, por lo cual posee un ecosistema rico pero a la vez muy frágil.

Debido a la contaminación producida en la zona por la filtración en el agua subterránea de residuos orgánicos de las letrinas, fosas sépticas y defecaciones al aire libre, el *Instituto de Recursos para Sistemas de Baja Entropía (ReSource)* introdujo el año 1993 baños ecológicos (nombre dado en México a las unidades sanitarias secas) en el Puerto Morelos. Dichos baños en la región son llamados Baños Ecológicos “Nahi Xix” (casa de residuos) y fueron construidos con materiales y mano de obra local.

Para llevar a cabo el proyecto se promocionó la tecnología entre los pobladores destacando sus méritos ecológicos y estéticos, se capacitó a la población para su utilización y se capacitó y apoyó a pequeñas empresas para construir y mantener los baños. Además se instruyó a la población agrícola de la región en la recolección y reutilización de los productos finales fertilizantes del sistema.

El proyecto fue todo un éxito, se mejoraron las condiciones sanitarias de muchas familias, las cosechas de cereales se incrementaron y se logró que otras comunidades cercanas solicitaran estudios de aplicación de proyectos similares. Es necesario mencionar que la clave del éxito en este caso fue la capacitación y aceptación de los usuarios del sistema.

1.2. Soluciones Colectivas

Las soluciones colectivas propuestas son básicamente Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial y Sistemas de Infiltración en Suelo. Los Sistemas de Infiltración en Suelo no tienen mayor complejidad en la operación, por lo cual no se especificaron detalles con respecto a su experiencia.

Con respecto a la utilización de Humedales Artificiales se conocen experiencias exitosas en países latinoamericanos como Brasil, Bolivia y Perú, entre otros. En Chile la empresa Wetland S.A. ha instalado bastantes humedales artificiales destacándose la planta del colegio Adventista de La Serena en el que estudian más de 1.000 alumnos.

En el apartado a continuación se describe la experiencia en la utilización de humedales artificiales en una localidad de Perú.

1.2.1. Humedales Artificiales en Lacabamba, Perú

Lacabamba se ubica en la microcuenca del río Conchucos, en la cordillera negra de los Andes del Norte del Perú, a una altitud promedio de 3.346 msnm. Posee una población de aproximadamente 3.500 habitantes, cuya actividad principal es la agricultura tradicional y de autoconsumo.

Mediante el financiamiento del Secretariado de Manejo del Medio Ambiente para América Latina y Caribe (SEMA/EMS) y del International Development Research Centre de Cánada se construyó el año 2003 un sistema de humedales artificiales y un biohuerto comunal para reutilizar las aguas efluentes del humedal. El objetivo del proyecto era utilizar una tecnología innovadora para reducir la contaminación de las fuentes superficiales de agua, proteger la salud de los habitantes y evitar el deterioro del medio ambiente.

Se informo y capacitó a la población sobre el proyecto, además se realizaron los siguientes talleres prácticos:

Labores de construcción del humedal artificial y la implementación del biohuerto comunal, incluyendo riego tecnificado. (Orientado a los comuneros)

A los docentes y alumnos se les explicó el proceso de “Humedales Artificiales y Biohuerto”

Talleres de construcción y operación del humedal artificial y del biohuerto comunal, incluyendo el tema de contaminación del agua y las posibilidades de reuso de las aguas residuales.

Se realizaron talleres a las autoridades para que apoyen y continúen con el proceso de transferencia de tecnología en la instalación del humedal, de reuso de aguas tratadas, sistema de riego y el manejo del cultivo en el biohuerto.

El proyecto fue exitoso, se logró obtener agua con la calidad necesaria para regar plantas ornamentales y forestales (el efluente no es desinfectado por lo cual no se recomienda regar vegetales comestibles) y se logró que la población de Lacabamba se concientizara con respecto a la importancia del tratamiento de las aguas residuales para el cuidado del medio.

Además los buenos resultados del proyecto despertaron el interés de muchos municipios de la región, los cuales también quisieron instalar sistemas similares.

ANEXO C: Costos de Sistemas de Infiltración en Suelo y Humedales Artificiales según permeabilidad.

La permeabilidad del suelo influye directamente en el tamaño de las balsas de infiltración de los sistemas de infiltración en suelo, por lo cual este análisis tiene por objeto determinar en que casos es más conveniente construir un humedal artificial y en que casos es más conveniente construir sistemas de infiltración en suelo.

A continuación se muestran funciones de Costos de Inversión de humedal artificial y sistemas de infiltración en suelo, las cuales fueron calculadas a partir de la valorización realizada en el Capítulo 7.

$$C_H = 28,00 + 16,30 \cdot NV + 2,32 \cdot \text{raiz}(NV)$$

$$C_{SI} = (720 \cdot NV) / k$$

C_H : Costos de Inversión Humedal Artificial (UF)

C_{SI} : Costos de Inversión Sistema de Infiltración en Suelo (UF)

NV: Número de Viviendas que conforman la Población.

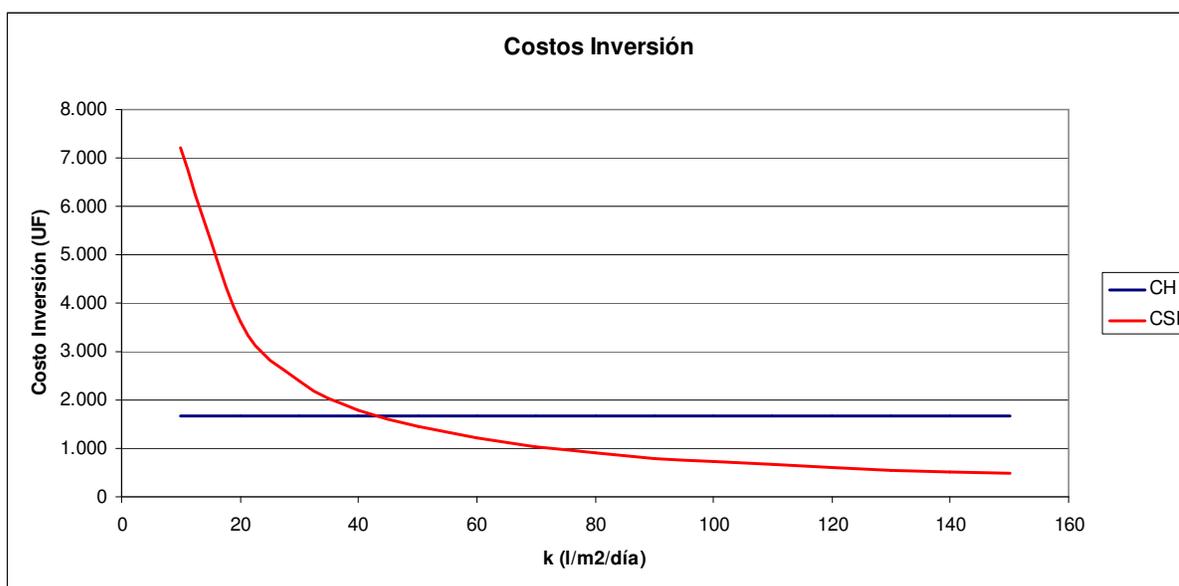
k: Permeabilidad ($l/m^2/día$)

Para determinar la función de costos del humedal artificial se consideró que la relación entre el largo y el ancho del humedal es la siguiente.

$$\text{Largo} : \text{Ancho} = 3 : 1$$

Graficando las funciones de costo para un número de viviendas igual a 100 y en función de la permeabilidad se obtiene lo siguiente.

Gráfico C. 1. Costos Inversión Humedal Artificial y Sistemas de Infiltración en Suelo



Del Gráfico C.1 se deduce que para permeabilidades mayores a $43 \text{ l/m}^2/\text{día}$ son más convenientes los sistemas de infiltración en suelo, aunque es necesario recordar que para instalar estos sistemas la profundidad del suelo debe ser mayor a 3 m y tienen la desventaja de que el agua no puede ser reutilizada.

No se consideran en el análisis los costos de operación, ya que en ambos casos se requiere contratar a alguien que revise periódicamente los sistemas, por lo cual el costo es el mismo.