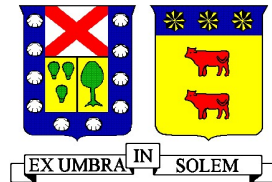


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



“ANALISIS DE SOLUCIONES O SISTEMAS ALTERNATIVOS, PARA EL
FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO RURAL EN LA COMUNA DE
LAS CABRAS”.

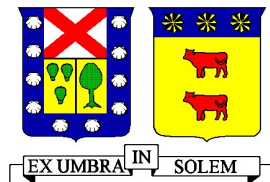
VICTOR ALEJANDRO JEREZ OSORIO

Memoria para optar al Título de
CONSTRUCTOR CIVIL

Profesor Guía
FRANCISCO OMAR LAGOS PERALTA

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



ANALISIS DE SOLUCIONES O SISTEMAS ALTERNATIVOS, PARA EL
FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO RURAL EN LA COMUNA DE
LAS CABRAS.

Memoria de titulación presentada por
VICTOR ALEJANDRO JEREZ OSORIO

Como requisito parcial para optar al título de
CONSTRUCTOR CIVIL

Profesor Guía
FRANCISCO OMAR LAGOS PERALTA

Diciembre 2019

Resumen.

La actual sequía que está afectando a los sectores rurales del país y el estrés hídrico sufrido a nivel mundial, generan la necesidad de una administración responsable del agua. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su informe anual sobre los recursos hídricos nos revela el bajo nivel de saneamiento seguro a nivel mundial (menos del 40%). Si a esto le agregamos el aumento constante de la demanda de agua, debido mayoritariamente a los países en desarrollo y las economías emergentes, estamos en un escenario muy complicado para la sustentabilidad mundial.

Chile en la actualidad cuenta con legislaciones y normativas asociadas al tratamiento de las aguas residuales, tanto para el sector urbano y el sector rural. Pero no tiene la capacidad ni la envergadura para controlar los sistemas particulares de tratamiento, los cuales no están catalogados por la ONU como sistemas de saneamiento seguro. La no existencia de control en la operación de estos sistemas de tratamiento de baja envergadura, está generando una contaminación en los acuíferos subterráneos, lagos, ríos y mares. El estrés hídrico sufrido a nivel país, tanto para el sector industrial, el comercio y para los mismos habitantes de algunas localidades, es aumentado de gran medida, cuando las pocas fuentes de agua se encuentran contaminadas y se vuelven peligrosas para todos sus usuarios.

Estos problemas a nivel mundial han generado nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales o variaciones de sistemas ya establecidos. Los cuales buscan adecuarse a los distintos requerimientos de las poblaciones a servir (carga contaminante, número de habitantes, etc.), teniendo una mayor capacidad de adaptabilidad a las distintas variables a satisfacer, buscando sobre todo cumplir con la calidad de vertido exigido en las normativas vigentes.

La presente memoria se enfoca en el análisis del mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de dos localidades rurales de la comuna de Las Cabras (VI región), Villa el Futuro y la Población el Carmen. Los sistemas de estas localidades se analizarán bajo ciertos criterios que permitan identificar el o los problemas que originan este mal funcionamiento. Además, se realizará un análisis de las tecnologías presentes en Chile, buscando las que cumplan con las condiciones de borde de cada localidad en análisis y proponiendo la que tenga un mejor comportamiento técnico, económico y de adaptabilidad sociocultural.

Abstract.

The present drought which is affecting Chile's rural areas and the water problems on a global level point to the need for an organization that is responsible for water. The United Nations (UN), in its annual report on water sources, tells of the low water of safe water throughout the world (40%). When we this to the constant demand for water due primarily to developing countries and emerging economies, we are in a different situation for world wide sustainability.

Chile presently has legislation and rules regarding the treatment of residual water for urban as well as rural areas. But it has neither the capacity or the ability to control privater water treatment systems which are not considered safe water purification systems by the UN. The absence of control over the low quality water treatment systems results in the contamination of acuafers, lakes, rivers and seas.

The problems at the global level have resulted in new technologies for the treatment of grey and black water or in of existing systems that do the same thing. The demand for water at the country level, for industrial, commercial, and individual use in some places is greatly increased when the limited sources of water are contaminated and becomes dangerous for who use it. All of these attempt to meet the needs of the populations they serve (the contaminant level, the number of inhabitants, etc.)). by including greater flexibility to deal with the different requirements, seeking above all to meet the existing norms as to the quality of the discharge.

This paper concentrates on analysing the malfunctions of the treatment of was water from two rural district in the town of La Cabras, to wit, Villa el Futuro and Poblacion del Carmen. The plants at these places were analysed using standards which made it possible to identify where the problem, or problems, which cause the malfunction were located. Further, there will be an analysis of the technologies in Chile seeking those that meet the existing conditions in each place under review and proposing that which has the best technical process, economies that can be adapted to the existing to the existing socio-economic conditions.

Glosario.

A

Acuífero

Una capa en el suelo que es capaz de transportar un volumen significativo de agua subterránea. Es una formación geológica subterránea capaz de rendir cantidades utilizables de agua a un pozo o un manantial.

Afluente

Agua residual u otro líquido que ingrese a algún proceso de tratamiento.

Agua Contaminada

La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua.

Agua Potable

Agua que es segura para beber y para cocinar. Es aquella que reúne los requisitos organolépticos (olor, sabor y percepción visual), físicos, químicos y microbiológicos, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

Aguas Subterráneas

Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo, la que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como ríos o lagos.

Aguas Grises

Aguas residuales provenientes de tinas, ducha, lavamanos y lavadoras, aportantes de DBO, solidos suspendidos, fosforo, grasas y coliformes fecales.

Aguas Servidas

Aguas residuales proveniente de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en solidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

Aguas Residuales Domesticas

Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones.

Aguas Residuales no Domesticas

Son los residuos líquidos provenientes de una actividad comercial, industrial o de servicios y que en general, tiene características notablemente distintas a las domesticas.

Alcantarillado

Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o aguas lluvia.

Autótrofos

Organismos que no requieren fuentes orgánicas para sintetizar sus propias moléculas orgánicas. Las plantas son el caso más abundante de autótrofos, pues solo requieren luz y algunos compuestos minerales para vivir. Otro grupo de organismos son las bacterias llamadas quimiosintéticas, que utilizan ciertos compuestos minerales como fuente de energía.

B

Biomasa

Cantidad de materia orgánica producida o existente en un ser vivo y que se encuentra en forma de proteínas, carbohidratos, lípidos y otros compuestos orgánicos, se mide en peso fresco, peso seco, en términos energéticos (kcal.), etc.

Biodegradable.

Sustancia que se descomponen con relativa rapidez debido a la acción de organismos tales como bacterias y hongos.

C

Caracterización de las Aguas

Determinación de la cantidad y características físicas, químicas y biológicas de las aguas.

Coloides

Son en general, solidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad.

Contaminación

Cualquier alteración física, química o biológica del aire, el agua o la tierra que produce daños a los organismos vivos.

Cloro Activo

Es la cantidad de cloro que realmente va a desinfectar el agua.

Cloro Residual

Cantidad de cloro que está presente en el agua después de haber transcurrido un periodo aproximado de 30 minutos de contacto de la solución desinfectante con el agua a desinfectar.

Cuerpo Receptor

Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del efluente final.

D**Descloración**

Luego de la desinfección el cloro residual puede persistir por muchas horas en el efluente. La descloración es el proceso de remoción de los residuos libres y combinados de cloro para reducir la toxicidad residual luego de la cloración y antes de su descarga. El dióxido de sulfuro, el sulfito de sodio son los compuestos comúnmente usados como químicos de descloración.

Déficit Hídrico

Diferencia acumulada entre evapotranspiración potencial y precipitación durante un periodo determinado, en el cual la precipitación es menor de las dos variables.

Densidad

El peso de una cierta cantidad de agua. Esta es usualmente expresada en kilogramos por metro cubico.

Densidad de Población

Número de personas que habitan dentro de un área bruta o neta determinada.

Dotación

Cantidad de agua promedio diaria por habitante que suministra el sistema de acueducto, expresada en litros por habitante por día.

E**Efluente**

Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Eutrofización

Enriquecimiento del agua, la cual causa un crecimiento excesivo de plantas acuáticas e incrementan la actividad de microorganismos anaeróbicos. Como resultado los niveles de oxígeno disminuyen rápidamente y el agua se asfixia, haciendo la vida imposible para los organismos acuáticos aeróbicos.

Evaporación

El proceso de pasar el agua de forma líquida a gaseosa.

Evapotranspiración

Perdida de agua del suelo a través de la vaporación, por vaporación directa y por transpiración de las plantas.

F**Fermentación**

La conversión de materia orgánica a metano, dióxido de carbono y otras moléculas por bacterias anaeróbicas.

Filtración

Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que solo permite pasar al líquido a través de él.

H

Humedad

Un área que está cubierta por agua superficial o subterránea, con vegetación adaptada para vivir bajo esta clase de condiciones del suelo.

I

Infiltración

Penetración del agua en un medio, por ejemplo, el suelo.

L

Lodos

Residuo semisólido, que contiene microorganismos y sus productos, de cualquier sistema de tratamiento de aguas.

M

Microorganismo Patógeno

Bacteria, virus u otros organismos de tamaño microscópico que causan enfermedades.

N

Neutralización

Proceso por el que una disolución ácida o básica pasa a ser neutra. Las disoluciones ácidas se neutralizan con disoluciones básicas y al revés.

Nivel Freático

Nivel del agua subterránea en un acuífero no confirmado, es decir, aquel que está en contacto con la presión atmosférica.

Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.

Superficie de agua que se encuentra en el subsuelo bajo efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aeración de la saturación.

O

Olor del Agua

El olor en el agua es causado por la presencia de compuestos volátiles disueltos. Una buena parte de estos compuestos tiene un origen biológico, al formarse a causa de la descomposición de la biomasa.

Oxidación

Conversión de materia orgánica en formas más simples y estables con liberación de energía. Esto se puede lograr con medios químicos o biológicos.

Oxidación Biológica

Proceso mediante el cual los organismos vivos en presencia de oxígeno convierten la materia orgánica en una forma más estable o mineral.

P

Percolar

Acción por la que el agua atraviesa el suelo hacia abajo.

Permeabilidad

La habilidad de un fluido para pasar a través de un medio bajo presión.

pH

El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores mayores a 7 indican sustancias básicas y valores menores de 7 indican que la sustancia es ácida.

Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

Una estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente.

Población Servida

Número de habitantes que son servidos por un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.

R

Recursos Naturales

Son todos los elementos de orden natural que constituyen y potencian la riqueza de una nación, estos se dividen en renovables y no renovables.

Red de Drenaje

Disposición de los causes de drenaje, naturales o artificiales, de una zona.

S

Saneamiento

Se entiende por saneamiento básico y mejoramiento ambiental la ejecución de las obras de acueductos urbanos y rurales, alcantarillados, tratamiento de agua y manejo y disposición de residuos líquidos y sólidos.

Sedimentos

Suelo, arena, y minerales lavados desde el suelo hacia la tierra generalmente después de una lluvia. Material transportado por el agua desde su lugar de origen al de depósito.

Sistema de Aguas Residuales

Todo el sistema de recolección de aguas residuales, tratamiento y disposición.

Sistema de Alcantarillado

Tuberías que colectan y transportan aguas residuales desde fuentes individuales hasta una alcantarilla mayor que la transportara a continuación a una planta de tratamiento.

Sólidos

En las aguas residuales se encuentran todo tipo de sólidos, distinguiéndose entre ellos orgánicos e inorgánicos. Los sólidos comúnmente se clasifican en suspendidos, disueltos y totales.

T

Turbidez o Turbiedad

Medida de la no transparencia del agua debida a la presencia de materia orgánica suspendida.

Tabla de Contenidos.

Resumen.	5
Abstract.	6
Glosario.	7
Tabla de Contenidos.	14
Índice de Gráficos.	17
Índice de Ilustraciones.	17
Índice de Tablas.	18
CAPITULO I: Introducción.	20
1 Antecedentes Generales.	20
1.1. Objetivos.	26
1.2. Alcance.	26
CAPITULO II: Definición, Origen y Tratamiento de las Aguas Servidas.	27
2 Definición Y Origen de las Aguas Residuales.	27
2.1 Características de las Aguas Residuales.	29
2.1.1 Físicas.	30
2.1.2 Químicas.	35
2.1.3 Biológicas.	42
2.1.4 Consecuencias Producidas por la Contaminación.	46
2.2 Antecedentes del Tratamiento de Aguas Servidas.	47
2.2.1 Generalidades.	47
2.2.2 Tratamiento Físico-Químico.	48
2.2.3 Tratamiento Biológico.	51
2.2.3.1 Remoción de la Materia Orgánica Carbonácea.	53
2.2.3.2 Remoción Biológica de Nutrientes.	54
2.2.3.2.1 Remoción Biológica del Nitrógeno.	55
2.2.3.2.2 Remoción Biológica del Fosforo.	58
2.2.4 Desinfección.	59
2.2.4.1 Ozono.	60
2.2.4.2 Cloro.	61

2.2.4.3	Radiación Ultravioleta.....	62
CAPITULO III: Legislación Vigente.....		64
3	Ley 20.998, “REGULA LOS SERVICIOS SANITARIOS RURALES”	64
3.1.	Instituciones Involucradas.....	71
3.2.	Marco Regulatorio Legal Aplicable al Sector Rural.	72
3.3.	Normativa de Emisión y Límites Máximos Permitidos.....	74
CAPITULO IV: Saneamiento Rural.		79
4	Situación Actual del Saneamiento Rural en Chile.	79
4.1.	Tipos de Tratamiento.	80
4.2.	Sistemas Rurales de Tratamiento de Aguas Servidas.....	82
4.2.1.	Sistemas Rurales Descentralizados.	82
4.2.2.	Sistemas Rurales Centralizados.....	84
4.3.	Alternativas de Tratamiento de Aguas Servidas para el Sector Rural.....	87
4.3.1.	Tratamiento Preliminar.	87
4.3.2.	Tecnologías de Tratamiento de Aguas Servidas Aplicables a Sistemas Particulares. ...	88
4.3.3.	Tecnologías de Tratamiento de Aguas Servidas Aplicables a Sistemas Centralizados Rurales. 95	
4.3.3.1.	Sistemas de Tratamiento Del Tipo no Convencional.	95
4.3.3.2.	Sistemas de Tratamiento del Tipo Convencional.....	95
CAPITULO V: Comunidades en Estudio.....		105
5	Población en Estudio.	105
5.1.	Antecedentes Villa el Futuro del Carmen.	105
5.1.1.	Tipo de Sistema de Recolección y Tratamiento de Aguas Servidas.	107
5.1.2.	Comprobación de Variables de Diseño.	112
5.1.3.	Análisis Posibles Causas del Mal Funcionamiento del Sistema.....	119
5.1.4.	Acciones para Mejorar el Funcionamiento del Sistema.....	129
5.2.	Antecedentes Población el Carmen.	130
5.2.1.	Tipo de Sistema de Recolección y Tratamiento de las Aguas Servidas.	131
5.2.2.	Análisis de las Posibles Causas del Mal Funcionamiento del Sistema.	133
5.2.3.	Acciones para Mejorar el Funcionamiento del Sistema.....	137
CAPITULO VI: Análisis y Conclusiones.....		138
6	Análisis de las Posibles Soluciones a Implementar.	138

6.1.1.	Análisis Económico.....	140
6.1.2.	Análisis Ambiental.....	144
6.1.3.	Análisis Técnico.	148
6.1.4.	Análisis de la Gestión del Mantenimiento.	150
6.2.	Matriz de Elección.....	151
6.2.1.	Matriz Elección Villa el Futuro.....	152
6.2.2.	Matriz de Elección Población el Carmen.....	155
6.3.	Conclusiones.....	158
	Referencias.	161
	Anexo A	165

Índice de Gráficos.

Gráfico 1: Cobertura de Saneamiento Global y Regional 2015 (WWAP, 2019).....	21
Gráfico 2: Consumo y Producción de Aguas Residuales por Sector (WWAP, 2017)	21
Gráfico 3: Cuota Mercado por Aplicaciones (WWAP 2017, Cifras y Datos).	22

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1: Conos de Imhoff (Metcalf & Eddy, 1995.	31
Ilustración 2: Clasificación Aproximada de los Contenidos en un Agua de Concentración Media (domestica), Metcalf & Eddy 1995.	33
Ilustración 3: Esquema de Distribución Previo a la Planta de Tratamiento Incluyendo Pretratamiento (Baraño, 2004).	81
Ilustración 4: Configuración Típica de una Planta de Tratamiento (Baraño, 2004).....	81
Ilustración 5: Esquema Básico Fosa Séptica Prefabricada (Infraplast, Catalogo General).	91
Ilustración 6: Esquema Sistema Lombrifiltro.	98
Ilustración 7: Esquema Capas del Lombrifiltro.	99
Ilustración 8: Lombrifiltro Pueblo Seco, San Ignacio, VIII Región (Sistema Toha).	103
Ilustración 9: Detalle Loteo Villa el Futuro (Elaboración Propia).	106
Ilustración 10: Villa el Futuro (Fotografía Referencial).	106
Ilustración 11: Viviendas con Solución Particular de Alcantarillado (Fotografía Referencial).	107
Ilustración 12: Planta Solución Alcantarillado (Anexo A).	109
Ilustración 13: Elevación Lateral Fosa Séptica 2.500 litros (Anexo A).	109
Ilustración 14: Planta General Fosa Séptica (Anexo A).	110
Ilustración 15: Pozo de Reconocimiento (Anexo A).	110
Ilustración 16: Calculo de Unidades Equivalencia Hidráulica (Anexo A).	110
Ilustración 17: Detalle Drenos (Anexo A).	111
Ilustración 18: Cambio de Ocupación de Suelo (Ampliaciones).....	127
Ilustración 19: Detalle Loteo Población el Carmen (Anexo A).....	130
Ilustración 20: Conductos de Inspección Fosa Séptica Población el Carmen.....	132
Ilustración 21: Aguas Residuales Expulsadas a la Calle.	132
Ilustración 22: Detalle Configuración Población el Carmen.	133
Ilustración 23: Diagrama de Decisión de Selección de Tecnología de Tratamiento de Aguas Servidas (DS 90/00).....	139

Índice de Tablas.

Tabla 1: Degradación Biológica Anaeróbica y Aeróbica (Nemerow L, 1997)	36
Tabla 2: Composición Típica del Agua Residual Domestica (Metcalf y Eddy, 1995).	45
Tabla 3: Características de Algunos Reactivos Coagulantes y Floculantes (Informe de Vigilancia Tecnología, www.madrimasd.org).....	51
Tabla 4: Clasificación de las Bacterias Según Temperatura (Metcalf & Eddy, 1995).	52
Tabla 5: Clasificación de las Bacterias Según Fuentes de Energía y Carbono (Metcalf & Eddy, 1995).	52
Tabla 6: Formas del Nitrógeno Según su Estado de Oxidación (EPA, 1993).	55
Tabla 7: Agentes Infecciosos Potenciales Presentes en Aguas Residuales Domesticas no Tratadas (EPA,1999).	59
Tabla 8: Establecimiento Emisor (DS 90/00).....	75
Tabla 9: Establecimiento Emisor (DS 46/02).....	76
Tabla 10: Límites Máximos Permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Fluviales sin Tomar en Cuenta la Capacidad de Dilución del Receptor (DS.90/00).	77
Tabla 11: Límites Máximos Permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos en Condiciones de Vulnerabilidad Media (DS.46/02).	78
Tabla 12: Alternativas Típicas de Tratamiento de Aguas Residuales en Sistemas Pequeños Descentralizados (Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitarios para Zonas Rurales).....	88
Tabla 13: Criterios de Diseño para el Dimensionamiento de una Fosa Séptica (Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitarios para Zonas Rurales).	93
Tabla 14: Criterios de Diseño Lombrifiltro (Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitarios para Zonas Rurales).	101
Tabla 15: Eficiencia Remoción Lombrifiltro (Sistema Toha, Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitarios para Zonas Rurales).....	102
Tabla 16: Contribución de Lodos Según Dotación de Agua (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).	114
Tabla 17: Periodo de Retención en Días, Según Caudal en lts/día (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).	114
Tabla 18: Profundidad de las Fosas Sépticas (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).	115
Tabla 19: Coeficiente de Absorción del Terreno K5, para Cañerías Filtrantes (Drenes) (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).	115
Tabla 20: Calculo Tiempo Promedio Absorción a 2,5 cm.....	118
Tabla 21: Detalle Superficie General (Anexo A).	131
Tabla 22: Costos Referenciales de Inversión Plantas (SUBDERE, 2018).	140
Tabla 23: Costos de Inversión Terreno Plantas (SUBDERE, 2018).	141
Tabla 24: Costos Referenciales de Operación Plantas (SUBDERE, 2018).	142
Tabla 25: Costos de Personal y Operarios de las Plantas (SUBDERE, 2018).....	143
Tabla 26: Detalle Parámetros Norma de Calidad de Agua para Riego (NCh 1.333).	146
Tabla 27: Matriz Elección Villa el Futuro.....	152

Tabla 28: Matriz Elección Población el Carmen.....	155
--	-----

CAPITULO I: Introducción.

1 Antecedentes Generales.

El tratamiento de las aguas servidas constituye una variable fundamental en todo asentamiento humano, los beneficios de un buen tratamiento y de un sistema eficaz en la remoción de contaminantes superan de gran manera a los costos asociados a estos. Tomando en cuenta lo anterior, se hace necesario o fundamental el cuidado de los recursos hídricos, sean mares, lagos, ríos, canales, napas subterráneas, etc. Donde en la ausencia de contaminantes se asegura la supervivencia de la población y la de sus actividades productivas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, en su “Informe Mundial de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019” revela que, en todo el mundo solo 2.900 millones de personas (39% de la Población Mundial) utilizaron servicios de saneamiento gestionados de forma segura en 2015 (Grafico n°1), de los cuales solo 1.200 millones corresponden a sectores rurales. Los números son mucho más relevantes cuando se analiza que alrededor de 2.300 millones de personas carecen incluso de servicios básicos de cobertura, de los cuales 892 millones todavía practican la defecación al aire libre¹.

Cerca de 2.000 millones de personas (29% de la Población Mundial) no utilizan un servicio de agua potable gestionado de forma segura, mientras que 844 millones de estos no cuentan de un servicio básico de agua potable. Varias enfermedades relacionadas con el agua, como la colera y la esquistosomiasis siguen siendo frecuentes en muchos países subdesarrollados, donde en algunos casos menos del 5% de las aguas residuales domésticas y urbanas se tratan antes de su liberación al medio ambiente. Siendo esta la responsable de más de 842.000 muertes al año².

¹ Información disponible en el sitio web de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>)

² Información disponible en el sitio web de la Organización Mundial de la Salud
<<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>>

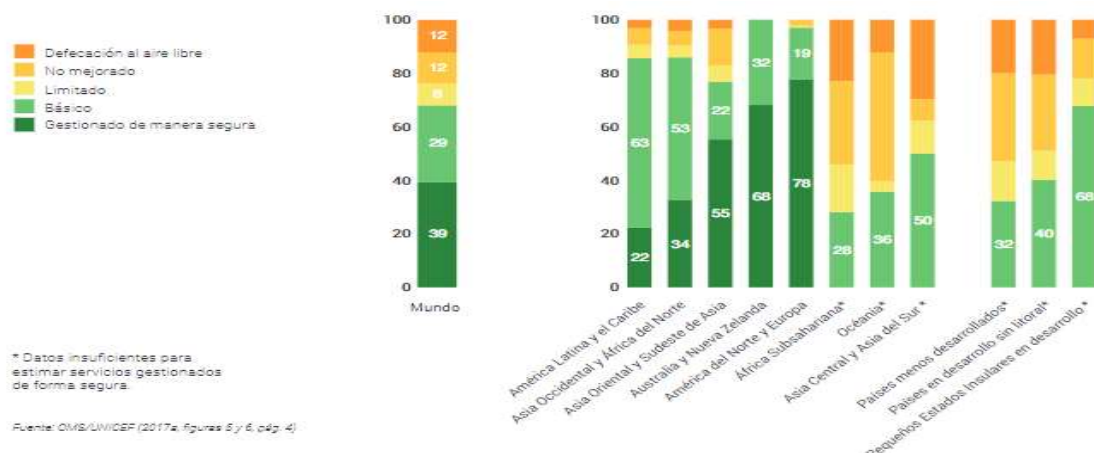


Gráfico 1: Cobertura de Saneamiento Global y Regional 2015 (WWAP, 2019).

El uso del agua ha ido en aumento en todo el mundo aproximadamente en un 1% anual desde la década del 1980. Este aumento constante se ha debido a la creciente demanda de los países en desarrollo y las economías emergentes, este crecimiento es impulsado por una combinación entre el crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y patrones de consumo en evolución (WWAP, 2017). Siendo la agricultura (irrigación y la ganadería) por mucho el mayor consumidor, alcanzando un 70% de la demanda global anual de agua, la industria representa un 19% y los hogares en un 11% (AQUASTAT, s.f). En el gráfico n°2 se muestra el detalle entre el consumo de agua potable y la producción de aguas residuales, tanto para la agricultura, industria y hogar. Es por lo expresado anteriormente que, la reutilización de los recursos naturales se está transformando en una política global, esta busca disminuir el “Estrés Hídrico” que en la actualidad se está transformando en una realidad.

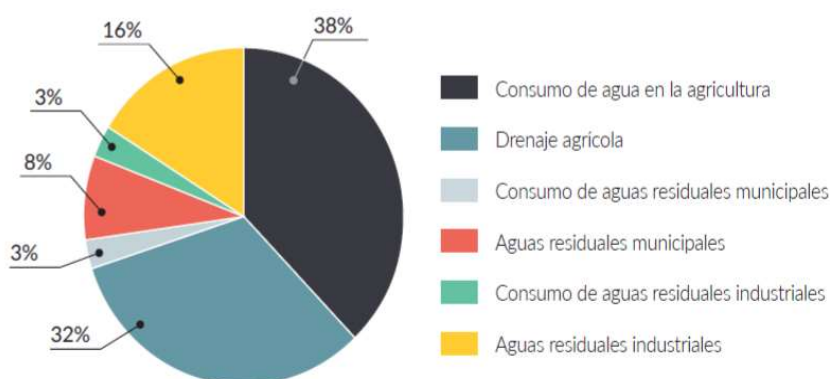


Gráfico 2: Consumo y Producción de Aguas Residuales por Sector (WWAP, 2017)

La importancia de este reciclaje es primordial, dado que recursos minerales como el fósforo (P) extraíbles escasearían o se agotarían en los próximos 50 a 100 años. De esta forma la recuperación de P desde las aguas residuales mundiales (reciclado de orina y heces) puede satisfacer hasta el 22% de la demanda global de este mineral (WWAP, 2017). En el gráfico n°3 se representa la reutilización global de aguas residuales, se observa que los usos de estas aguas pueden ser variados y con grandes beneficios tanto para el sector industrial, agrícola, medio ambiental, etc. Pero este gráfico solo toma un pequeño porcentaje de las aguas residuales mundiales, el cual corresponde únicamente a las que son sometidas a un tratamiento terciario (avanzado)³.

Reutilización global del agua después de un tratamiento avanzado (terciario):

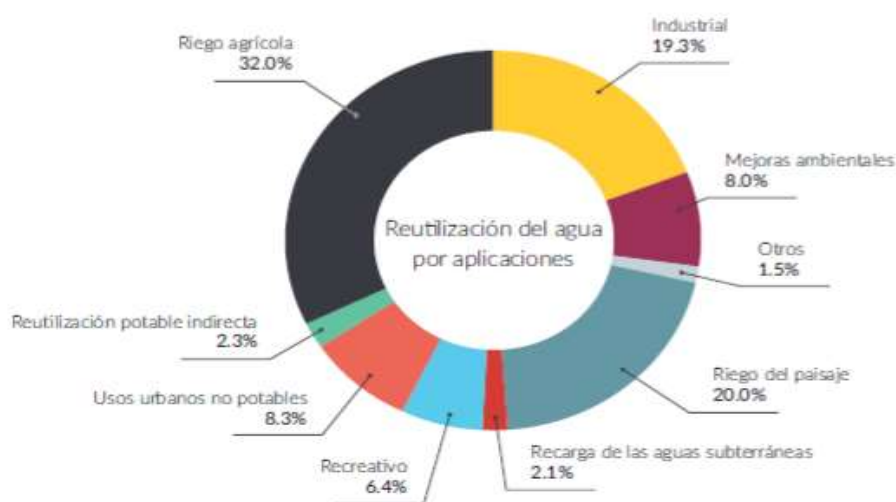


Gráfico 3: Cuota Mercado por Aplicaciones (WWAP 2017, Cifras y Datos).

Para poder reducir la cantidad de agua residual (no tratada) vertida al medio ambiente y aumentar la tasa de reutilización de este mismo recurso, se hace fundamental como país realizar un tratamiento adecuado (Primario, secundario y terciario), más aún en Chile donde variables como el tipo de suelo, clima, densidad de habitantes y cantidad de agua disponible son distintas a lo largo del territorio continental.

³ Información disponible en el sitio web
(http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2015/08/wastewater_2017_cifras.pdf)

Como expresa el Presidente Ejecutivo de la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios:

“Con el advenimiento de las privatizaciones de las sanitarias, o en algunos casos de la operación privada de las mismas, se dio una segunda ola de inversiones, que movilizó ingentes recursos privados, al amparo del sistema tarifario vigente, para el tratamiento de aguas servidas, contribuyendo a superar así una de las más importantes falencias sanitarias del país que era el casi nulo de tratamiento de aguas servidas.”

Victor Galilea (elmostrador, 2017).

Esa fue la clave fundamental para poder elevar los niveles de cobertura a nivel nacional tanto de recolección y tratamiento de aguas servidas ⁴.

A fines de los años 80 (antes de la privatización de los servicios) en Chile solo se contaba con una cobertura de recolección de aguas servidas de un 80% y de las cuales solo se trataba un pobre 20% de estas. De acuerdo con los últimos datos oficiales entregados el 2016 por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, la cobertura de alcantarillado alcanza un 96.83% y el tratamiento de las aguas residuales alcanza un 99.93% (Informe de Coberturas Sanitarias 2016, SISS). Dado ese nivel de cobertura, Chile se coloca a nivel de Holanda y Suiza, países que duplican el ingreso per cápita. En la actualidad Chile es una potencia a nivel sudamericano en el tratamiento de las aguas servidas, comparando a países como Argentina, que en su reciente Plan de Agua Potable y Saneamiento, elaborado el 2016 por el Ministerio del Interior, donde se calcula que solo un 58% de la población esta conectadas a cloacas (alcantarillado) y solo se tratan alrededor de un 20% de estas aguas. En el caso de Perú, su órgano fiscalizador (SUNASS) revela que solo el 83.82% de la población está conectada a alcantarillado.

Los anteriores indicadores nos hacen pensar que Chile se encuentra en la cúspide del tratamiento y recolección de aguas servidas, pero estos números solo reflejan la población concentrada en ciudades y las cuales ya cuentan con alcantarillado. En cambio, el sector rural, el cual tiene una población cercana a los 2.3 millones de personas, en la actualidad se encuentra con un déficit de alcantarillado de un 48.1% y solo proporcionando tratamiento a un 8% de las aguas rurales.

⁴ Información disponible en el sitio web de El Mostrador
(<https://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/2017/06/16/la-privatizacion-y-la-situacion-actual-de-los-servicios-sanitarios-en-chile/>)

Considerando que la mayoría de la población con déficit está estructurada por población semi concentrada o dispersa (menor a 100 viviendas), (SUBDERE,2015).

Esta es una realidad como país, la tendencia a la centralización de los servicios básicos, olvidando los lugares más alejados se hace común y hasta una realidad para los habitantes de sectores rurales, que además de estar alejados de las ciudades, la mayoría de esta población no cuenta con recursos económicos necesarios para solucionar dichos problemas, y tampoco cuentan con un nivel de conocimiento que los permita organizarse para la realización de una solución conjunta. A juicio del Gerente de Proyectos del Programa de Descontaminación de Aguas de la fundación Universidad y Tecnología, Raúl Fernández, en la actualidad el problema radica en el tratamiento de los residuos, principalmente por la falta de recursos e inversión en el sector⁵.

“En las poblaciones rurales donde la gente trabaja con el sueldo mínimo esto es un gasto importante. Entonces lo que ocurre, generalmente, es que la gente no paga por lo tanto las plantas quedan botadas. Eso es una realidad en las comunas rurales donde se han puesto plantas de tratamiento tradicional.”

Raúl Fernández (diarioUchile,2015).

Dentro de la prioridad nacional está, el actual estado de las poblaciones con estructura semi concentradas o dispersas, las cuales se ubican mayoritariamente en sectores rurales. Son estas las que se encuentran con grandes problemas tanto en la calidad de los tratamientos y la recolección de las aguas servidas. Por ejemplo, el caso de una pequeña comuna llamada Tortel (600 habitantes), conectada por pasarelas de ciprés, que invaden con su aroma la mayor parte del año. Pero que, en verano, cuando se cuadruplica la cantidad de habitantes la situación cambia dañando las fuentes de agua e impregnando de malos olores⁶.

El 14 de febrero del 2017 se promulga la Ley 20.998 la cual “Regula los Servicios Sanitarios Rurales”, esta busca incrementar los actuales niveles de cobertura rural para cerca de 1.7 millones de personas que se encuentran abastecidos de agua potable por APR, tanto en sistemas de recolección de aguas servidas y sistemas de tratamientos de aguas servidas. Esta ley aun no entra en vigor dado

⁵ Información disponible en la página web del diarioUchile (<https://radio.uchile.cl/2015/02/13/chile-avanza-en-la-descontaminacion-de-aguas-residuales/>)

⁶ Información disponible en el sitio web de emol.nacional (<https://www.emol.com/noticias/Nacional/2017/05/29/860377/Revelan-que-15-millones-de-chilenos-viven-sin-tratar-sus-aguas-servidas-y-500-mil-sin-agua-potable.html>)

que aún no se aprueba su reglamento, el cual regula la prestación de agua potable, alcantarillado y tratamiento prestados en sectores rurales por parte de comités o cooperativas conformados para tales fines. Este proyecto de ley regula los aspectos técnicos, normativos, tarifarios, de gestión y patrimoniales de estos servicios rurales, además regula la función del estado y de los organismos que intervienen.

“Se trata de una legislación que le va a dar institucionalidad a las cooperativas y comités que prestan sus servicios en el área rural, pero en donde, sin embargo, no estaban establecidos los derechos, los deberes y cómo apoyaba finalmente el Estado más allá de la apertura de los sistemas”

Ricardo Sepúlveda funcionario División de Concesiones SISS (SISS,2017).

1.1. Objetivos.

Objetivo General:

- Analizar las causas del mal funcionamiento de los sistemas sépticos presentes en villas rurales de la comuna de Las Cabras, y proponer mejoras o sistemas alternativos para solucionar los problemas sanitarios actuales.

Objetivos Específicos:

- Entregar antecedentes sobre el estado actual de los sistemas de alcantarillado en las villas en sectores rurales de la Comuna de las Cabras.
- Entregar antecedentes sobre la legislación vigente y su cumplimiento.
- Analizar las posibles causas de los problemas de funcionamiento de los actuales sistemas sépticos presentes en Villa el Futuro y Población El Carmen.
- Proporcionar antecedentes generales sobre las aguas residuales y reconocer las consecuencias producidas por la contaminación de esta en el medio ambiente.
- Proporcionar antecedentes sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales, en cuanto a la eficiencia del tratamiento en la remoción de contaminantes, facilidad de operación, costo asociado y nivel de mantenimiento.
- Proponer mejoras o sistemas alternativos de alcantarillado, que cumplan con los requisitos técnicos, económicos y socioculturales. Para poder dar una solución real y duradera a los problemas sanitarios presentes en Villa el Futuro y Población el Carmen.

1.2. Alcance.

Esta memoria de título busca analizar el actual estado de funcionamiento de soluciones convencionales de tratamiento de aguas servidas y el cumplimiento de los estándares propuestos por las leyes pertinentes, de dos poblaciones ubicadas en la comuna de Las Cabras específicamente en sectores rurales, con estructura semi concentrada o dispersa.

Promover y proponer soluciones o mejoras para los actuales sistemas de tratamiento y recolección de aguas servidas, incentivando la reutilización de las aguas servidas sin provocar perjuicios para el medio ambiente y sus habitantes.

CAPITULO II: Definición, Origen y Tratamiento de las Aguas Servidas.

2 Definición Y Origen de las Aguas Residuales.

Las aguas contaminadas producto de las actividades directas o indirectas del hombre, se hacen llamar aguas residuales. Esta contaminación se relaciona directamente con el uso específico del agua y su origen puede ser, desde totalmente natural (Aguas Arsénicas de las Cuencas del Norte de Chile) a ser producto de descarga de sistemas de alcantarillado doméstico o industrial. Además, existen otros tipos de contaminación, como la contaminación del aire (lluvia acida), drenaje agrícola por determinadas prácticas, aguas lluvia (escorrentía urbana), etc.

Es normal estudiar la contaminación de las aguas entendiendo las causas y actividades que la originaron, esto nos define la composición y concentración de las sustancias presentes en ella. A continuación, se detallan algunos aspectos generales y orígenes más comunes de las aguas residuales.

i Aguas Residuales Domesticas:

Son los afluentes originados en viviendas o instalaciones comerciales privadas y/o públicas. Estas están compuestas por desechos fecales, agua de lavado y limpieza. Los principales contaminantes que contienen son gérmenes patógenos, materia orgánica, solidos, detergentes, nitrógeno y fosforo, además deben agregarse las aguas provenientes de infiltraciones subterráneas.

ii Aguas Residuales Pecuarias:

Las aguas residuales pecuarias son aquellas originadas por la actividad ganadera. Si dicha actividad se desarrolla de forma intensiva, se generan normalmente vertidos directos a los cauces, son vertidos localizados, constantes y concentrados. Si la actividad es de forma no estabulada, el ganado deambula libre, la contaminación de los cauces es del tipo difuso.

Cuando la contaminación es difusa, el transporte está asociada a los fenómenos hidrológicos (escorrentía superficial, subsuperficial) y su control es casi imposible. En algunas regiones es común el uso de estiércol como abono natural, de forma que los

compuestos contaminantes provenientes de los establos se transforman en contaminantes difusos en las cuencas. Es normal que las cuencas hidrológicas estén expuestas tanto a vertidos localizados como difusos.

iii Aguas Residuales de Origen Agrícola:

Las actividades agrícolas pueden generar dos tipos muy diferentes de contaminación, en función a los compuestos que son utilizados como abono y/o pesticida. Estos elementos contaminantes son difuminados por el arrastre, este causado por las aguas lluvias y el riego agrícola. El agua residual se incorpora a las fases del ciclo hidrológico (escorrentía superficial, subsuperficial, subterránea, etc.) llevando consigo los contaminantes, donde los acuíferos, ríos y embalses serán las masas receptoras que se verán perjudicadas por este tipo de contaminación.

iv Aguas Residuales Industriales:

Son aguas provenientes de los procesos industriales, la cantidad y composición de ella es bastante variable. Esta depende directamente de la actividad productiva, tecnología empleada, calidad de la materia prima y muchos otros factores. Dentro de cada industria, el agua de abastecimiento, que luego se transformara en una gran proporción en agua residual, se utilizara finalmente como:

- Aguas de Proceso.
- Aguas de Limpieza.
- Aguas Asimilables a Domesticas.
- Aguas de Refrigeración y Calefacción.

v Aguas Residuales Pluviales:

Son aguas provenientes de escurrimientos superficiales de aguas lluvia, tales como techos, pavimentos y otras superficies del terreno. Este tipo de escorrentía generada por las aguas lluvia es menos contaminada que las aguas residuales domesticas e industriales.

2.1 Características de las Aguas Residuales.

Las aguas residuales para este caso son los vertidos que se generan en núcleos de población concentrada, semiconcentradas y dispersa, como consecuencia de las actividades propias de estos. Las características de las aguas residuales dependen del tipo de población en el que se generen, influyendo parámetros tales como el clima, número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipos de industria, etc. Los contaminantes que se encuentran habitualmente en las aguas residuales son:

➤ **Arenas:**

Se entiende como tales una serie de partículas de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua en movimiento, o bien se transforman en lodos si tienen las condiciones aptas para sedimentar.

➤ **Grasas y Aceites:**

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie, dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estos elementos entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que es fundamental eliminarlos en el pretratamiento.

➤ **Materia Orgánica:**

Son compuestos orgánicos que fácilmente y de forma natural sufren de procesos de oxidación, que llevan a cabo el consumo del oxígeno del medio. Estas oxidaciones pueden ser tanto químicas como biológicas, causando una ausencia de oxígeno en el medio, ocasionando condiciones indeseables.

➤ **Nitrógeno y Fósforo:**

Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes principalmente, donde gran parte del nitrógeno orgánico es aportado a través de las excretas humanas. Tiene un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas.

➤ **Agentes Patógenos:**

Son organismos que pueden ir en mayor o menos cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades.

➤ **Otros Contaminantes Específicos:**

Se incluye sustancias de naturaleza muy diversa que proviene de aportes muy específicos, metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.

A continuación, se detallan las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, descubriendo la importancia de cada una de ellas en la calidad del agua. Además, con la idea de poder tener una visión general de las magnitudes de las aguas residuales típicamente domésticas.

2.1.1 Físicas.

Entre las principales características físicas presentes en el agua residual están, la cantidad de sólidos, olor, temperatura, color, turbidez y densidad.

Dentro de estas características podemos considerar las siguientes:

i Partículas Sólidas.

Los sólidos se definen como, la materia que permanece constante en una muestra después de someterla a evaporación a una temperatura entre 103 – 105 °C (Metcalf & Eddy, 1995). Las características físicas del agua se modifican según varíe su contenido total de sólidos, no soliendo superar normalmente las 1.000 ppm en aguas residuales domésticas.

a) Sólidos Totales (ST.):

Se conoce como toda materia orgánica y/o mineral que se obtiene como resultado de la evaporación del agua residual. La muestra se somete a temperaturas comprendidas entre los 103-105 °C, no se define sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación (Metcalf & Eddy, 1995).

Los sólidos totales pueden calificarse de acuerdo con su condición física en: Sedimentables, Suspendidos y Disueltos; y de acuerdo con sus características químicas en Fijos (inorgánicos) y Volátiles (orgánicos).

b) Solidos Sedimentables (SS.):

Corresponde a la materia (tamaño mayor a 10^{-2} mm.) que sedimenta en el fondo de un recipiente, este recipiente tiene forma de cono y es parte del llamado “Cono de Imhoff” (ilustración 1). En el cono se coloca un litro de muestra fresca y se deja en reposo durante 60 minutos, pasado ese tiempo, se lee directamente en el cono la cantidad de mililitros de solido sedimentable por litro de agua residual.

Los sólidos están constituidos aproximadamente de un 75% de solidos orgánicos y 25% de inorgánicos. Los sólidos sedimentables constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria del tratamiento.

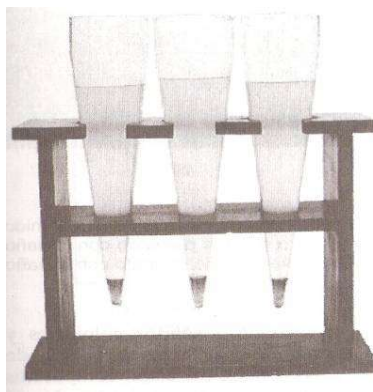


Ilustración 1: Conos de Imhoff (Metcalf & Eddy, 1995).

c) Solidos Suspendidos (Ss):

Corresponde a la fracción de solidos que es retenida por un filtro y que posteriormente queda como residuo del proceso de evaporación. Estos sólidos, de tamaño mayor a 10^{-3} mm., pueden separarse del agua servida tanto por medios físicos o mecánicos. En general para el proceso de separación se emplea un filtro Whatman con un tamaño nominal de 1,2 μ m. Están

constituidos por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos.

d) Sólidos Disueltos (SD):

Corresponde a la fracción de sólidos que no son retenidos por un filtro y que posteriormente queda como residuo del proceso de evaporación. Los sólidos disueltos están constituidos por la fracción coloidal y la fracción disuelta.

La fracción coloidal está compuesta por partículas de materia de tamaños entre 10^{-3} y 10^{-6} mm, esta fracción no puede eliminarse por sedimentación, en lo general esta se elimina con una oxidación biológica o una coagulación. Los sólidos disueltos contienen aproximadamente un 40% de materia orgánica y un 60 % de materia inorgánica, determinar este parámetro nos entrega una estimación del contenido de sales disueltas presentes en la muestra (Metcalf & Eddy, 1995).

e) Sólidos Fijos y Volátiles:

Esta clasificación se utiliza para contabilizar el contenido orgánico e inorgánico de una muestra. Al realizar el proceso de incineración de las muestras a temperatura del orden de 550°C, se generan gases y cenizas. Las cenizas resultantes de este proceso corresponden a los sólidos inorgánicos (fijos) y los gases producto de la oxidación de sólidos corresponden a los sólidos orgánicos (volátiles) (Metcalf & Eddy, 1995).

Los sólidos orgánicos son en general desechos de la vida animal, vegetal y compuestos orgánicos sintéticos. En la mayoría estas sustancias están compuestas por carbono, hidrogeno y oxígeno, pudiendo estar combinadas con nitrógeno, azufre o fósforo. Como toda materia orgánica, están sujetos a la degradación o descomposición por actividad bacteriana y son combustibles.

Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes, no están sujetas a degradación o descomposición. A estos sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales (arena, grava y sales minerales), en general los sólidos inorgánicos no son combustibles.

A continuación, se muestra (ilustración 2) una clasificación aproximada de los contenidos en un agua residual de concentración media (agua residual domestica).

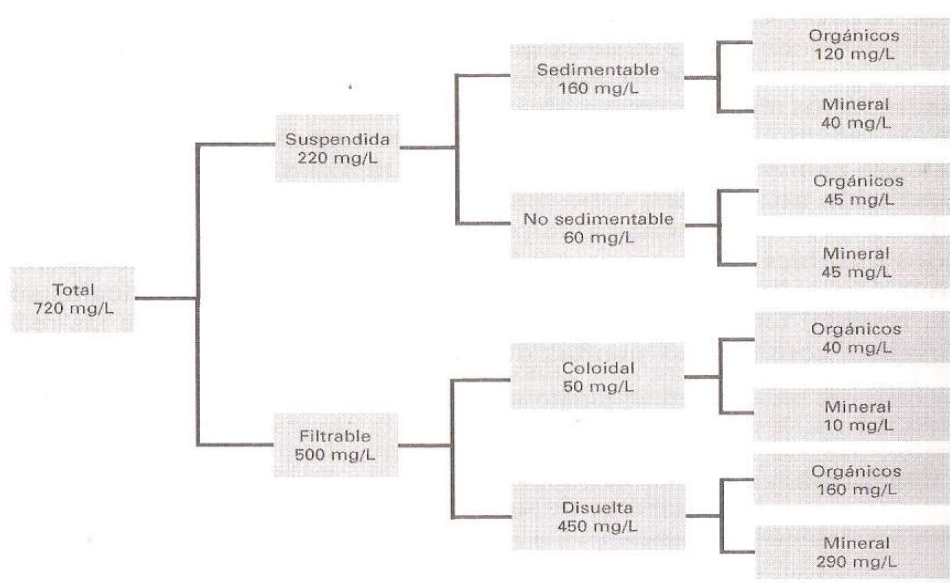


Ilustración 2: Clasificación Aproximada de los Contenidos en un Agua de Concentración Media (domestica), Metcalf & Eddy 1995.

ii Temperatura.

Esta variable es fundamental para determinar el comportamiento de agua, el aumento de la temperatura afecta directamente la solubilidad de los gases, la viscosidad sobre la sedimentación y las reacciones biológicas.

El aumento de las temperaturas disminuye la viscosidad, teniendo como resultado una mayor sedimentación de sólidos. Si la temperatura esta entre los 25 a 30 °C se genera una proliferación de las actividades biológicas.

Las descargas de aguas servidas aumentan la temperatura del agua, con lo que disminuye la solubilidad del oxígeno en esta, y asociado al desarrollo bacteriano, se produce

un fenómeno acelerado de agotamiento de oxígeno disuelto. Este problema se agudiza cuando el flujo es lento y la temperatura ambiente es muy alta.

iii Olor.

Las aguas servidas frescas son prácticamente inodoras, por lo general los olores presentes son producto de los gases que se liberan en el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Los olores a podrido son comúnmente producidos por, el ácido sulfúrico, mercaptanos (olor a coles podridas), amoníaco y aminas (olor a pescado), indol, escatol y otros productos de descomposición. Estos indican claramente que las aguas están en estado de descomposición o aguas sépticas.

Este aspecto que conciernen a los olores es muy importante de tener en consideración al momento de diseñar y construir sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento. Debido a que la calidad de vida de las personas puede verse afectado por estos problemas.

iv Color.

El color es un parámetro por el cual se pueden clasificar las aguas residuales, la coloración es indicadora de composición, concentración y edad de las aguas residuales, variando de gris a negro. Las aguas residuales normales y muy frescas se caracterizan por un color gris claro, si su color es negro o muy oscuro, nos indica que pueden ser aguas sépticas, con gran cantidad de desechos orgánicos, lo que conlleva a malos olores.

El color oscuro o negro afecta a la difusión de la radiación del medio (efecto directo con la fotosíntesis) y a la vez provoca una mayor absorción de energía solar, aumentando ligeramente la temperatura del medio.

v Turbidez.

La turbidez de un agua se debe a la presencia de materias en suspensión finamente divididas; arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas entre otras. La medición de la turbiedad se realiza por medio de una comparación, entre la cantidad de luz dispersada

por una muestra y la intensidad de luz dispersada por una muestra de referencia (la materia coloidal absorbe la luz). Este parámetro entre mayor es, mayor es la contaminación del agua.

2.1.2 Químicas.

Entre las principales características químicas presentes en el agua residual se encuentran las definidas por la Materia Orgánica, Materia Inorgánica y los Gases.

Dentro de estas se pueden considerar las siguientes:

i Materia Orgánica.

La materia orgánica se considera como un factor característico de las aguas residuales domésticas. En ella se encuentran la mayoría de los aminoácidos presentes en la naturaleza, esto por la descomposición de las proteínas. Otro compuesto importante son los azúcares como la glucosa, lactosa, sacarosa, fructosa y galactosa que conforman los carbohidratos presentes. Las grasas son descompuestas más lentamente por las bacterias y debido a su menor densidad flotan, esto interfiere en los procesos de tratamiento y la vida biológica. Favoreciendo el ambiente anaeróbico, en cuyas condiciones la degradación es más lenta y se desprenden gases que causan malos olores.

Recientemente se está presentando gran interés en la diversidad de moléculas orgánicas sintéticas que están apareciendo en la composición de las aguas residuales, como los agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas.

La materia orgánica constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, caracterizado por los siguientes compuestos:

- Proteínas (40-60%)
- Carbohidratos (25-50%)
- Grasas y Aceites (10%)

La característica principal y más importante de este tipo de contaminación es la reducción del oxígeno disuelto, lo que conlleva, a la desaparición de las especies dependientes de oxígeno disuelto y la evolución en condiciones anaeróbicas. Esta última, afecta directamente la composición química y biológica del agua, pues según qué tipo de población de seres vivos se encuentran en ella, las reacciones biológicas darán productos diferentes, como se detalla en la tabla n°1:

Sustancia a Degradar	Tipo de Enzimas	Descomposición Anaerobia	Descomposición Aerobia
Proteínas	Proteínas	Aminoácidos	Amoníaco
		Amoníaco	Nitritos
		Sulfídrico	Nitratos
		Metano	Sulfídrico
		Dióxido de Carbono	Ácido Sulfídrico
		Hidrogeno	Alcoholes
		Alcoholes	Ácidos Orgánicos
		Ácidos Orgánicos	Dióxido de Carbono
		Fenoles	Agua
		Indoles	
Hidratos de Carbono	Carboxidasas	Dióxido de Carbono	Alcoholes
		Hidrogeno	Ácidos Orgánicos
		Alcoholes	Dióxido de Carbono
		Ácidos Grasos	Agua
Grasas	Lipasas	Ácidos Grasos	Ácidos Grasos
		Dióxido de Carbono	Glicerina
		Hidrogeno	Alcoholes
		Alcoholes	Agua
			Dióxido de Carbono

Tabla 1: Degradación Biológica Anaeróbica y Aeróbica (Nemerow L, 1997)

Existe una serie de parámetros que son de gran interés en el tratamiento de las aguas residuales, dado que, nos permiten conocer el contenido de materia orgánica. Las más importantes son las siguientes:

a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

Se puede definir como, la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua residual. La DBO nos permite determinar la fracción biodegradable de la materia orgánica presente en una muestra y además nos sirve como indicador de la comida disponible para el sistema biológico (materia orgánica).

Esencialmente, la oxidación biológica completa de la materia orgánica lleva aproximadamente 20 días. Sin embargo, la experiencia muestra que el análisis de la DBO realizada por 5 días de incubación (DBO5) es suficiente. Este ensayo se realiza por un periodo de días a una temperatura de 20°C (Metcalf & Eddy, 1995).

El método para la obtención del DBO5 presenta falencias e inconvenientes muy importantes, como el tiempo necesario para la obtención de resultados (5 días) y la imposibilidad de diferenciar la demanda de oxígeno carbonado y la demanda de oxígeno nitrogenado. Dado que la oxidación se realiza en dos etapas, la DBO5 solo entrega estándares de la primera etapa, dado que experimentalmente a los 5 días la DBO realizada es 70% a 80% de la demanda total. Este ensayo cumple con la finalidad de indicar la cantidad de materia orgánica biodegradable, un indicador primordial para el tratamiento biológico.

b) Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Se puede definir como, el método para medir la cantidad de materia orgánica presente en el agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla. Este proceso se realiza a través de un oxidante químico como el permanganato de potasio o el dicromato de potasio.

Este parámetro no puede ser menor que la DBO, esto producto que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Habitualmente la oxidación en aguas de consumo se realiza con permanganato, y las oxidaciones en aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose propiamente DQO. Es frecuente ocupar como indicador de estabilidad la razón DQO/DBO, donde en aguas residuales domesticas esta razón se encuentra entre 1,8 a 2,2 y en efluentes muy estabilizados la relación puede llegar hasta valores cercanos a 10.

El método de obtención del DQO presenta ventajas y desventajas, la desventaja más relevante es la incapacidad de revelar si la materia orgánica es biodegradable o que porcentaje de esta materia biológicamente activa seria estabilizada en el flujo. Las principales ventajas

de este método son, el corto tiempo de prueba (3 horas) y la capacidad de detectar condiciones tóxicas y materias no biodegradables.

ii Materia Inorgánica.

Los componentes inorgánicos de mayor interés, en las aguas residuales son:

a) pH:

Este parámetro mide la concentración de iones de hidrógeno en el agua, que van desde valores de 14 (muy alcalino) a 0 (muy ácido), siendo pH neutro en 7. La actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo muy acotado de pH, generalmente se encuentra entre 5 a 9. Un aspecto relevante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de las sustancias por ataque a los minerales.

De este modo, un efluente con pH distinto a los mencionados puede alterar la composición y modificar la vida biológica de las aguas naturales. Además, es importante tomar en cuenta que, el tratamiento biológico es óptimo y solo puede realizarse con valores de pH entre 6,5 a 8,5. Comúnmente las aguas residuales urbanas tienen un pH neutro.

Aparte de los efectos directos del pH, tiene efectos indirectos, donde en condiciones extremas puede influenciar la toxicidad de algunas sustancias, especialmente aquellas que la toxicidad depende del grado de disociación de las sustancias.

b) Cloruro:

Se considera como indicador indirecto de contaminación fecal y responsable del sabor salobre del agua. Es un indicador de posible contaminación del agua residual debido al contenido de cloruro de la orina. El sabor se hace presente con 250-500 (mg/Lt.), aunque una concentración de hasta 1500 (mg/Lt.) es poco probable que sea dañina para consumidores en buen estado de salud (Salazar, 2005).

c) Alcalinidad:

La alcalinidad mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. Estos iones se neutralizan con elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio,

amoniaco, etc. El agua residual posee una cierta alcalinidad, cuyo origen son las aguas de suministro y el aporte de sustancias de uso doméstico, esta es muy útil tanto en el agua natural como en el agua residual, dado que ayuda a amortiguar los cambios de pH.

d) Nitrógeno:

Es un elemento esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas, la limitación de este puede producir cambios en la composición bioquímica de los organismos, y reducir sus tasas de crecimiento. Pero en altas concentraciones de nitrógeno, se produce agotamiento de oxígeno disuelto y la eutrofización de las aguas. Estas altas concentraciones pueden ser resultado de la fertilización de la agricultura, mediante fertilizantes artificiales y abonos animales, que se infiltran en las aguas subterráneas produciendo contaminación.

El contenido total de nitrógeno y sus diferentes formas nos indican la naturaleza, tipo de contaminación y edad del agua residual, estas son las siguientes:

- f) **Nitrógeno Orgánico:** En el agua residual reciente el nitrógeno se encuentra en forma de proteínas, aminoácidos y urea.
- g) **Nitrógeno Amoniacal:** Es el primer producto de la degradación de las bacterias, se puede considerar como el mejor indicador químico indirecto de contaminación fecal reciente.
- h) **Nitrógeno de Nitritos:** Estado intermedio de oxidación que normalmente se encuentra en grandes cantidades, es inestable y se oxida fácilmente en nitratos.
- i) **Nitrógeno en Nitratos:** Producto final de la oxidación del nitrógeno, su aumento creciente en las aguas subterráneas es preocupante, ya que puede alcanzar las fuentes de agua para bebida y ocasionar graves enfermedades.

Las conversiones entre las distintas formas del nitrógeno están influenciadas por el pH y la temperatura del medio.

e) Fósforo:

Es un elemento esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitante en la productividad primaria, en un cuerpo de agua. Las formas en las que se puede encontrar en las aguas residuales son, como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El

fosfato satisface las necesidades de fósforo de todos los seres vivos, pero se necesita en niveles muchos más bajos que el nitrógeno.

Las descargas de aguas residuales domésticas y el drenaje agrícola son los principales aportadores de fósforo, estimulando el crecimiento micro y macroorgánicos fotosintéticos (principalmente algas). Este crecimiento en los cuerpos de agua genera eutrofización, es por ello, que en la actualidad se presenta un gran interés en controlar la cantidad de fósforo vertido por las aguas residuales. Donde la mayor cantidad de fósforo lo aportan los detergentes, que en la actualidad se sustituye el tripolifosfato de sodio por compuestos como la sal sódica del ácido nitrilotriacético.

f) Azufre:

Este elemento es fundamental para la síntesis de proteínas, y luego es liberado cuando estas se descomponen. Prácticamente todos los organismos pueden usar el sulfato como fuente de azufre, pero algunas especies necesitan compuestos más básicos para la biosíntesis.

En condiciones anaeróbicas, las bacterias pueden realizar la reducción de sulfatos a sulfuros y SH_2 , este último siendo corrosivo para las tuberías de alcantarillado. Si este llega a contaminar el agua de bebida, puede ocasionar trastornos gastrointestinales y mal sabor.

g) Compuestos Tóxicos:

Los compuestos tóxicos son super frecuentes en los vertidos domésticos e industriales, producto de su uso cotidiano (desinfectantes, insecticidas y biocidas en general). Algunos de estos contaminantes son muy tóxicos para los organismos y microorganismos, y por ello, su control es de vital importancia en cuanto al vertido y tratamiento. Si se hace un vertido indiscriminado sobre masas de agua receptoras, pueden destruir la biota acuática o acumularse en ella, afectando la cadena alimentaria y pudiendo llegar al hombre.

Su efecto sobre las plantas de tratamiento biológico puede ser brutal, al morir por contaminación los microorganismos que lo realizan, deteniendo los procesos y terminando el tratamiento.

h) Metales Pesados:

Los siguientes metales pueden encontrarse en las aguas residuales, y tienen un carácter toxico; cobre, cromo, boro, plomo (causante de saturnismo y acumulación en músculos), plata (puede producir argüiría), arsénico (melanodermia del pie y acumulación en mariscos), antimonio (efecto cancerígeno), bario (efecto sobre el corazón, vasos sanguíneos y nervios), flúor (fluorosis) y selenio (cáncer).

Algunos metales como el níquel, magnesio, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio se encuentran como elementos trazas en muchas aguas, y necesarios para la vida biológica. Pero en altas concentraciones pueden ser tóxicos e incluso inhabilitando el agua para algunos usos, acumulándose en los organismos biológicos y microorganismos acuáticos.

iii Gases.

Existen gases atmosféricos constantes presentes en el agua, como el nitrógeno, oxígeno y anhídrido carbónico, y otros que se suman en el agua residual, como sulfhídrico, amoniaco y metano. Estos últimos son productos de la descomposición de la materia orgánica por procesos aeróbicos y anaeróbicos.

Dentro de los gases, los de mayor importancia son:

a) Oxígeno Disuelto:

Es fundamental para la vida de todos los organismos aerobios, donde el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas puede conducir a su agotamiento. La presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores, es por esto que, el nivel de oxígeno es un indicador de la calidad del agua.

Las fuentes más comunes de oxígeno disuelto es la aireación natural y la fotosíntesis, factores como la concentración y solubilidad en el agua dependen de variables como la temperatura, salinidad, presión parcial de la atmosfera, curso, etc. La concentración de oxígeno en cursos de aguas que presentan baja concentración suele a variar entre 7 a 10 mg/lit,

concentraciones inferiores a 2 mg/lit pueden tener serios efectos en la vida acuática superior (Salazar, 2005).

b) Sulfuro de Hidrogeno:

Se forma por la descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por la reducción de sulfatos a sulfitos minerales. Se caracteriza por ser un gas incoloro, inflamable, con un olor característico sumamente desagradable. Si el agua residual contiene hierro, se combina con él, dando sulfuro de hierro que origina el color negro a las aguas residuales.

c) Metano:

Es el principal subproducto de la degradación anaerobia de la materia orgánica de las aguas residuales, se caracteriza por ser un hidrocarburo incoloro, inodoro y de gran valor como combustible. No es un gas muy común, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, pero si se acumula se debe tener especial preocupación ante el gran peligro de explosión.

Dentro de la red de recolección de aguas servidas, se debe tener especial cuidado con los sectores que cuenten con las condiciones para su producción, es necesario realizar la ventilación adecuada.

2.1.3 Biológicas.

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden contener una gran variedad de microorganismos que forman un sistema biológico balanceado. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, esto debido a que cada organismo requiere valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse.

A continuación, se describen los principales grupos que podemos encontrar en las aguas residuales:

i Bacterias:

Las bacterias componen la mayoría de los microorganismos presentes en aguas residuales, y tiene un papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. En afluentes residuales predomina las especies pertenecientes a los siguientes

grupos; *Escherichia*, *Salmonella*, *Streptococos Fecales*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Zooglea*, *Flavohacterium*, *Nocardia*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, etc.

Dentro de la gran variedad de especies, las más relevantes a estudiar en las aguas residuales son, las de origen fecal (patógenas) y las bacterias aplicadas en procesos de biodegradación (saprofitas). Las patógenas provienen de las materias excrementicias que se vierten en las aguas residuales y son las causantes de enfermedades como la colera, tifoidea, disentería e infecciones de carácter intestinal. La cepa saprofita es vital para el tratamiento de las aguas servidas, esto debido, a que se alimenta de materia orgánica muerta y degrada sólidos orgánicos.

Se seleccionaron siete bacterias (saprofitas), de los miles que se encuentran en la naturaleza en forma natural, que en combinación especial y unida a nutrientes bases, producen la eliminación de la totalidad de los desechos orgánicos producidos por el hombre. Las siete escogidas son los bacilos, seudomonas, nitrosomas, nitrobacterias, celulomonas, aerobacterias, rodoseudomonas⁷ (SISS, Tratamiento de Residuos Líquidos Lahuel-co S.P.A).

Tanto las bacterias patógenas como las saprofitas, tienen la necesidad de oxígeno para su respiración. Un tipo de estas lo obtiene del oxígeno disuelto en el agua residual, a este tipo se les conoce como bacterias aerobias y la degradación que realizan a los compuestos orgánicos se conoce como oxidación o descomposición aerobia. Dado que este proceso se realiza en presencia de oxígeno disuelto, no produce condiciones desagradables ni malos olores.

Otro tipo de bacterias obtienen el oxígeno desde sólidos orgánicos e inorgánicos, realizando al mismo tiempo la degradación de los sólidos (orgánicos e inorgánicos). Este tipo de microorganismo se le denomina bacterias anaerobias y al proceso de degradación se le conoce como putrefacción o descomposición anaerobia. Este proceso con ausencia de oxígeno disuelto tiene resultados que originan condiciones desagradables y malos olores.

⁷ Información disponible en la página web de la Super Intendencia de Servicios Sanitarios. (http://www.siss.gob.cl/586/articles-11944_lahuel.pdf)

Algunas bacterias aerobias y anaerobias pueden llegar a adaptarse al medio opuesto, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las anaerobias en medios con oxígeno disuelto. A este tipo de bacterias se les otorga el nombre de bacterias facultativas.

ii Algas:

Las algas, al igual que sucede con otros microorganismos, requieren compuestos inorgánicos para su reproducción. Los principales nutrientes necesarios son el nitrógeno y fósforo, así como carbono y vestigios de hierro y cobalto. Debido al enriquecimiento de minerales y materia orgánica en el agua residual, las algas pueden presentar el inconveniente de reproducirse muy rápido (eutrofización). Con ello creando grandes colonias flotantes, originando problemas en las instalaciones y en el tratamiento.

El fenómeno de eutrofización está producido principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enternomorpha*, *Stigeoclonium*, *Chlorella*, *Euglena*, etc.

iii Protozoos:

Estos organismos tienen un papel fundamental en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Tiene la ventaja de eliminar bacterias suspendidas en el agua, esto debido a que no sedimentan, logrando efluentes con una menor turbidez. Los organismos más frecuentes en las aguas residuales son amebas, flagelos y los ciliados libres y fijos.

iv Virus:

Son productos de excretas humanas o animales, de individuos infectados y poseen la capacidad de absorberse en los sólidos fecales, favoreciendo su supervivencia durante un tiempo más prolongado en el agua residual.

La gran supervivencia que poseen el virus hace que los tratamientos de aguas residuales sean vulnerados y constituyendo un peligro para las aguas receptoras. Durante el proceso, los virus se absorben en la superficie de los flóculos, siendo separados de las aguas residuales, pero no inactivados. Un cierto porcentaje queda en el efluente, presentado un

cierto grado de peligro para la población. Un mayor riesgo lo constituye aquellos que se depositan en el fango, en mayores cantidades, más aún si este se utiliza como abono sin un tratamiento previo.

En la Tabla n°2 se muestra la composición típica de las aguas residuales domésticas, para tres tipos de concentración.

CONSTITUYENTES	CONCENTRACION (mg/l)		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Sólidos Totales	350	720	1200
Disueltos Totales	250	500	850
Fijos	145	300	525
Volátiles	105	200	325
Suspendidos Totales	100	220	350
Fijos	20	55	75
Volátiles	80	165	275
Sólidos Sedimentables	5	10	20
DBO5 a 20°C.	110	220	400
DQO	250	500	1000
COT	80	160	290
Nitrógeno (total como N)	20	40	85
Orgánico	8	15	35
Amoniacal	12	25	50
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosforo (total como P)	4	8	15
Orgánico	1	3	5
Inorgánico	3	5	10
Cloruros	30	50	100
Sulfato	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO3)	50	100	200
Grasa	50	100	150
Coliformes (patógenos)(n°/100ml)	10-oct	10	10

Tabla 2: Composición Típica del Agua Residual Doméstica (Metcalf y Eddy, 1995).

2.1.4 Consecuencias Producidas por la Contaminación.

Todo cuerpo de agua tiene la facultad de asimilar cierta cantidad de contaminantes, sin ver afectada la biodiversidad ni sus características, esto debido a factores de dilución y auto purificación. Si los parámetros son sobrepasados, se produce un cambio en la naturaleza del cuerpo de agua, y con ello, dejando de ser un medio propicio para la vida, y tampoco adecuado para sus diferentes usos.

Mas de 1000 millones de toneladas de aguas residuales son vertidas anualmente al agua subterránea, a ríos, lagos y océanos del mundo, contaminándolos con metales pesados, disolventes, aceites, grasas, detergentes, ácidos, sustancias radioactivas, fertilizantes, pesticidas y desechos humanos⁸. El agua contaminada no se puede consumir como bebida, para la producción ni elaboración de alimentos y tampoco para el aseo personal. También es importante la trazabilidad de la contaminación, tomando en cuenta que afecta a los sistemas biológicos naturales, con ello provocando niveles peligrosos de contaminación (metales pesados, bacterias, etc.) en peces y otras formas de vida. El exceso de nutrientes producido provoca una fertilización excesiva (eutrofización), lo que disminuye los niveles de oxígeno disuelto y con ello perjudicando la vida marina.

La contaminación del agua es un tema critico en la actualidad, tanto para el bienestar y salud de la población, como el impacto sobre el medio ambiente. Estas dos variables se relacionan directamente, por lo que es de gran importancia comprender los efectos y consecuencia de la contaminación, entre los cuales podemos señalar los siguientes:

- i Efectos y consecuencias de la contaminación del agua en la salud:
 - Enfermedades causadas por el consumo de alimentos como pescados y mariscos procedentes de aguas contaminadas. Este efecto es causado por la bioacumulación de mercurio y otros metales pesados, y también pequeñas partículas plásticas (microplásticos).
 - Riesgo de enfermedades por el consumo de agua no potable.
 - Disminución del agua disponible para la agricultura, industria y uso doméstico.
 - Enfermedades causadas por alimentos regados con aguas residuales.
- ii Efectos y consecuencias de la contaminación del agua en el medio ambiente:
 - La desaparición de la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos.

⁸ Información disponible en la página web de iagua (<https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>)

- Destrucción de zonas de recreación (ríos, lagos, mares).

Por todo ello, debemos garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos, tal y como recoge el sexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por Naciones Unidas en la Agenda 2030 ⁹.

2.2 Antecedentes del Tratamiento de Aguas Servidas.

2.2.1 Generalidades.

En general, el tratamiento de las aguas residuales está compuesto por un tipo o conjunto de mecanismos, encargados de entregar un efluente en las condiciones deseadas. Estos mecanismos buscan reducir la carga contaminante del agua residual y transformarlo en un efluente inofensivo para el medio ambiente y la salud humana.

Los mecanismos de depuración que intervienen en los sistemas de tratamiento se pueden clasificar en mecanismos físicos, químicos y biológicos. La elección de los factores o procesos que participaran quedara definido por, las características del afluente a tratar y/o del efluente a conseguir. Es común encontrar sistemas de tratamiento que estén compuestos por varios procesos, ya sean físicos, químicos o biológicos, teniendo lugar en reactores separados o en uno que los conjugue.

Los mecanismos biológicos se diferencian por el método que utilizan para realizar la oxidación de la materia orgánica, el cual consiste en el medio de cultivo empleado. Por ejemplo, el sistema de lodos activados, que es la tecnología más común en Chile (59% de las plantas en Chile)¹⁰, utilizan cultivo biológico suspendido, en cambio, los biofiltros utilizan un cultivo biológico fijo.

A diferencia de las alternativas biológicas, el tratamiento fisicoquímico no realiza el mejoramiento de la calidad del agua por medio de procesos biológicos, sino fundamentalmente por reacción física y química sobre la base de adición de reactivos específicos.

⁹ Información disponible en la página web de Sostenibilidad (<https://www.sostenibilidad.com/agua/causas-consecuencias-contaminacion-agua/>).

¹⁰ Información disponible en la página web de SISS (<http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-4373.html>).

2.2.2 Tratamiento Físico-Químico.

La contaminación de las aguas por presencia de sustancias sólidas constituye el segmento más importante y aparente de la contaminación acuática. El tamaño de las partículas es muy variado, desde los sólidos que pueden distinguirse a simple vista, hasta partículas muy finas, de naturaleza coloidal, las cuales presentan una gran estabilidad en el agua. La concentración de estas sustancias, tanto en el afluente como en el efluente, juegan un papel fundamental a la hora de la elección del tratamiento más conveniente.

Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de estas sustancias es indeseable para muchos otros procesos de tratamiento. Las sustancias más comunes por eliminar del efluente son, las grasas flotantes (grasas, aceites, hidrocarburos alifáticos, alquitranes, etc.) y los sólidos en suspensión (arenas, óxidos, pigmentos, fibras, ramas, etc.). Estos contaminantes se eliminan por operaciones físicas-mecánicas como la flotación, sedimentación y filtración.

Sin embargo, las partículas coloidales, que poseen un tamaño comprendido entre 0.001 a 1 μm y las cuales constituyen una parte importante de la contaminación. Debido a la gran estabilidad que presentan, resulta imposible separarlas por decantación o flotación, tampoco es posible separarlas por filtración, porque las partículas pasarían a través de cualquier filtro. En muchos casos se utilizan aditivos químicos para lograr la eliminación de los coloides, de esta forma denominándose tratamiento físico químico.

A continuación, se describen las operaciones unitarias más habituales, la utilización de una u otra dependerá de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) y de la concentración de estas.

i Desbaste.

Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos, de mayor tamaño del que habitualmente tiene las partículas que arrastran las aguas. La finalidad es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del sistema de tratamiento, este suele ser el tratamiento previo a todos los otros (preliminar).

ii Sedimentación.

Proceso netamente físico, donde las partículas con mayor densidad que el agua y con ayuda fundamental de la gravedad realizan una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador (estanque). Esta operación se vuelve más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar, el tiempo que tarde este proceso en realizarse es el principal parámetro de diseño para los equipos de tratamiento.

La contaminación de gran tamaño es poco común en efluentes domiciliarios con pretratamiento. Lo más habitual es encontrar sólidos poco densos (coloides), por lo que es necesario, para realizar un proceso más eficiente, realizar una coagulación y floculación previa (se explicara más adelante). La cual consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas.

iii Filtración.

Operación en la que se hace pasar agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad de materia en suspensión. El medio poroso que normalmente se utiliza es el lecho de arena, de altura variable, colocada en capas de distinto tamaño de partícula, siendo la superior la más fina (0.15 a 0.3 mm).

Este mecanismo es muy utilizado en el tratamiento de las aguas potables, como en el tratamiento para la reutilización de aguas residuales. Esto con el fin de eliminar la materia en suspensión que no se removió en procesos anteriores (sedimentación). Para mejorar la eficacia del filtrado, es normal realizar una coagulación y floculación previa.

iv Flotación.

Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), las cuales se asocian a las pequeñas partículas presentes en el agua, elevándolas hasta la superficie, donde posteriormente son arrastradas y sacadas del sistema. Este mecanismo de remoción de contaminantes es adecuado en el caso que las partículas tengan una densidad inferior o parecida a la del agua. En el caso de las emulsiones (aceites y grasas), las burbujas de aire las ayudan a flotar más rápidamente, dado que la densidad de estos líquidos es menor que la del agua.

Un parámetro fundamental para el diseño de estos mecanismos es, la relación entre los ml/l de aire liberados al sistema por cada mg/l de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Este dato que se obtiene experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06.

v Coagulación.

Gran parte de la materia en suspensión en las aguas residuales está formada por partículas de muy pequeño tamaño (10^{-6} a 10^{-9} m.), lo que conlleva a una suspensión coloidal. Como se mencionó anteriormente, las suspensiones coloidales poseen una gran estabilidad en el agua, causada por interacciones eléctricas entre las partículas. Produciendo que la velocidad de sedimentación sea demasiado lenta, lo que hace inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas es la adición de ciertos reactivos químicos que desestabilizan las suspensiones coloidales (coagulan)¹¹.

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Normalmente se utilizan sales de hierro y aluminio.

vi Floculación.

La floculación consiste en la unión de los flóculos ya formados (productos de la coagulación), con el fin de aumentar el volumen y la densidad de las partículas coaguladas, con esto se incrementa directamente la velocidad de sedimentación de los flóculos. Básicamente existen dos mecanismos para que las partículas entren en contacto, por el propio movimiento de las partículas (floculación peri cinética) la cual es muy lenta y por el movimiento del fluido que contiene las partículas (agitación de la mezcla o floculación orto cinética).

Existen ciertos productos químicos llamados floculantes, que fomentan el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del floculo (aumento de densidad y volumen)¹².

No existen reglas generales para distinguir el coagulante más eficaz en cada caso, pero a través de distintos ensayos se analiza la eficacia de cada reactivo o mezcla de ellos, así como el pH y la dosificación óptima. En la tabla nº3 se entregan las características de algunos reactivos coagulantes y floculantes.

¹¹ Información disponible en la página de web de Wikilibros.
(https://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico)

¹² Información Disponible en el Informe de Vigilancia Tecnológica
(https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf).

Coagulante	Dosis (mg/l)	pH optimo	Aplicaciones
Cal	150-500	9-11	Eliminación de Coloides (1)
Al ₂ (SO ₄) ₃	75-250	4.5-7	Eliminación de Coloides (1)
FeCl ₃	35-150	4-7	Eliminación de Coloides (2)
FeCl ₂	70-200	4-7	
FeSO ₄ x 7H ₂ O			
Polímero Catiónico	2-5		Eliminación de Coloides (3)
Polímero Aniónico y no Iónico	2-5	0.25-1.0	Ayuda de Floculación y Sedimentación.

Tabla 3: Características de Algunos Reactivos Coagulantes y Floculantes (Informe de Vigilancia Tecnología, www.madrimasd.org).

- (1) Eliminación de colides y de fosforo. Agua con baja alcalinidad y alta concentración de fosforo.
- (2) Eliminación de coloides y de fosforo. Agua con alta alcalinidad y baja concentración de fosforo.
- (3) Eliminación de coloides. Ayuda con coagulantes metálicos.

2.2.3 Tratamiento Biológico.

El tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en la interacción y el metabolismo de los microorganismos, esto con el fin de estabilizar la materia orgánica y realizar la coagulación de solidos coloidales no sedimentables. Estos procesos dependen de la capacidad de la comunidad microbiana para utilizar los compuestos presentes en el agua. Un proceso biológico esta necesariamente constituido por un ecosistema diverso de microorganismos, dado que no existe un organismo capaz de utilizar todos los compuestos orgánicos presentes en el agua. El ecosistema se alimenta directamente del agua cruda que entra al sistema y depende de la disponibilidad de O₂, del pH y de las condiciones de la mezcla. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en muchos casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fosforo (Metcalf & Eddy, 1995).

Dentro de la gran variedad de microorganismos presentes en las aguas residuales, se estima que hay alrededor de 5 millones de especies de microorganismos en el medio ambiente, de los cuales menos del 5% han sido catalogadas, de los cuales 3.500 son bacterias, 90.000 son hongos, 100.000 son protistas y 4.000 son virus (Cloete y Muyina, 1997). Los principales microorganismos presentes en el tratamiento biológico son las bacterias, protozoos y rotíferos, hongos y algas, sin embargo, las bacterias juegan un papel importante, encargadas de la descomposición de la materia orgánica del efluente.

Bacterias.

Las bacterias son los microorganismos más importantes en el tratamiento biológico, estos se encargan de la descomposición de la materia orgánica y son elementos esenciales para la vida, dado que mantienen los ciclos esenciales del nitrógeno y carbono, proceso conocido como metabolismo bacteriano. Condiciones ambientales como el pH y la temperatura juegan un papel importante en el crecimiento bacteriano. Si bien las bacterias pueden crecer en un intervalo bastante amplio de pH, las condiciones óptimas para el crecimiento bacteriano se sitúan entre 6,5 y 7,5.

Las bacterias según el intervalo de temperatura en el que su desarrollo sea óptimo, se pueden clasificar según la tabla n°4:

Tipo	Temperatura °C	
	Intervalo	Óptimo
Psicrófilos o Criofilas	-10 a 30	12 a 18
Mesófilas	20 a 50	15 a 40
Termófilas	35 a 75	55 a 65

Tabla 4: Clasificación de las Bacterias Según Temperatura (Metcalf & Eddy, 1995).

Además, según las fuentes de energía y carbono, las bacterias pueden clasificarse según la tabla n°5:

Clasificación	Fuente de Energía	Fuente de Carbono
Autótrofos:		
Fotosintéticos	Luz	CO ₂
Quimiosintéticos	Reacción de oxidación – Reducción inorgánica	CO ₂
Heterótrofos	Reacción de oxidación – Reducción orgánica	Carbono Orgánico

Tabla 5: Clasificación de las Bacterias Según Fuentes de Energía y Carbono (Metcalf & Eddy, 1995).

Como se mencionó en el punto 2.1.3., según el comportamiento frente al oxígeno disuelto, se clasifican como:

- Aeróbica: Requieren oxígeno libre, pueden ser obligadas o facultativas.
- Anaeróbicas: No requieren oxígeno libre, pueden ser estrictas o facultativas.

Protozoos y Rotíferos.

Los protozoos son, junto con las bacterias, los grupos de microorganismos más abundantes e importantes en la comunidad biótica del tratamiento biológico. Estos en su mayoría son heterótrofos

aerobios, aunque algunos son anaeróbicos. Los protozoos suelen ser mayores que las bacterias, y se alimentan de ellas y materia orgánica para la obtención de energía.

Los rotíferos eliminan bacterias dispersas y protozoos, contribuyendo a la formación del floculo por la secreción de mucus. Se les considera indicadores de un buen funcionamiento del proceso de depuración, siempre y cuando no alcancen densidades muy elevadas.

Hongos.

Los hongos son eficaces en la eliminación de la materia orgánica de las aguas residuales. Estos son comúnmente protistas heterótrofos, no fotosintéticos y aerobios estrictos. La capacidad de los hongos de sobrevivir a condiciones de pH bajos y escasa disponibilidad de nitrógeno los convierte en organismos fundamentales para el tratamiento de residuos industriales. En general, la aparición de los hongos suele estar asociada a afluentes con gran cantidad de vertidos industriales.

Algas.

Las algas son autótrofas y fotosintéticas, la presencia de estas es necesaria para el suministro de oxígeno, el cual es requerido por las bacterias aerobias para su respiración. Su presencia es esencial en las lagunas de estabilización.

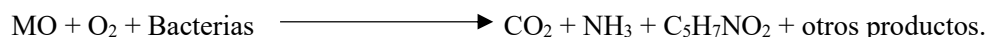
2.2.3.1 Remoción de la Materia Orgánica Carbonácea.

Las bacterias heterótrofas utilizan la materia orgánica presente en el agua residual como fuente de carbono y nutrientes para la síntesis celular. Estos procesos pueden desarrollarse tanto por la vía aeróbica, anaeróbica o facultativa, utilizando sistema de cultivo fijo o en suspensión.

El metabolismo bacteriano se fundamenta en reacciones químicas de oxidación y síntesis, los cuales son producto de los distintos procesos de la célula. Estas reacciones químicas oxidan cierta fracción de la materia orgánica, dando lugar a productos finales y liberando la energía necesaria para la síntesis de nuevo tejido celular (crecimiento de nuevas células bacterianas).

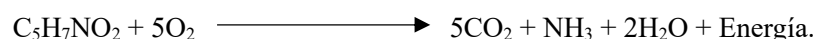
En la ausencia de alimento (materia orgánica), el tejido celular será utilizado endógenamente, produciendo productos finales gaseosos y materia residual. En los sistemas de tratamiento biológico los procesos de oxidación, síntesis y respiración endógena tienen lugar simultáneamente.

Las reacciones de oxidación y de síntesis celular se pueden expresar de forma genérica de esta forma (Metcalf & Eddy, 1995):



Donde MO indica la materia orgánica y $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ representa la nueva materia celular formada, en el caso de las reacciones de oxidación se genera energía. Como se observa, este proceso implica la producción de nitrógeno amoniacal, lo que contribuye a aumentar la concentración de esta sustancia en el agua residual.

Por otro lado, las bacterias aerobias utilizan el oxígeno disuelto para la oxidación bioquímica de su contenido de materia orgánica a dióxido de carbono y generando energía. La reacción química corresponde a la siguiente:



Se observa una producción de nitrógeno amoniacal y un consumo de oxígeno disuelto en el líquido de la mezcla.

2.2.3.2 Remoción Biológica de Nutrientes.

La eliminación biológica de nutrientes (nitrógeno y fósforo) se logra gracias a procesos de nitrificación, desnitrificación y la desfosfatación. Estos procesos se realizan mediante la implantación de condiciones de cultivo diferentes en ambientes separados. Todos estos sistemas de remoción de nutrientes se basan en los siguientes procesos:

- 1 **Nitrificación:** Oxidación prolongada, en condiciones aerobias, del líquido de mezcla después de la eliminación de materia orgánica. Lo realizan bacterias autótrofas.
- 2 **Desnitrificación:** Eliminación del nitrógeno en forma de gas en presencia de materia carbonosa (agua residual) y en condiciones anoxicas (sin presencia de oxígeno disuelto).

- 3 **Acumulación potenciada de fosforo:** Acumulación de fosforo en el interior de las células en condiciones aerobias.
- 4 **Redisolución de fosforo:** La liberación de fosforo soluble en el líquido de mezcla a partir de fosforo polimérico acumulado en el interior de la célula. Asimilación celular de compuestos orgánicos fácilmente asimilables para almacenarlos como sustancias de reserva. Se realiza en condiciones anaerobias.

2.2.3.2.1 Remoción Biológica del Nitrógeno.

Las aguas residuales domesticas contienen nitrógeno orgánico, en forma de proteínas, ácidos nucleicos y urea, o bien en forma de nitrógeno amoniacal. Alrededor del 60% del nitrógeno presente en el afluente bruto está en forma orgánica y el resto en forma amoniacal. En la tabla nº6 se indican los distintos compuestos de nitrógeno según su estado de oxidación.

Compuestos de Nitrógeno	Formula	Estado de Oxidación
Amoniaco	NH ₃	-3
Amonio	NH ₄	-3
Nitrógeno Gas	N ₂	0
Nitrito	NO ₂ ⁻	+3
Nitrato	NO ₃ ⁻	+5

Tabla 6: Formas del Nitrógeno Según su Estado de Oxidación (EPA, 1993).

La presencia de nitrógeno en las descargas de aguas residuales puede ser indeseable por las siguientes razones:

- El amoniaco libre es toxico para los peces y muchos otros organismos acuáticos.
- El nitrógeno amoniacal ejerce una demanda de oxígeno muy elevada (4.57 mg O₂/mg NH₄⁺ oxidado) pudiendo agotar el oxígeno disuelto de la masa de agua (≈ 9 mg O₂/L a 20°C).

La toxicidad del amoniaco en solución es directamente atribuible a la especie NH₃, cuya concentración aumenta con el pH y la temperatura del agua. Al ser el nitrógeno un nutriente y dada

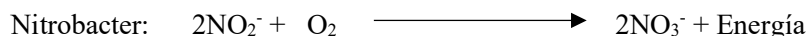
la demanda de oxígeno que ejerce en la masa de agua, existe un gran peligro de eutroficación que se puede ocasionar en lagos y lagunas principalmente.

Los mecanismos de transformación y remoción del nitrógeno son la amonificación, asimilación bacteriana, la nitrificación y desnitrificación. La amonificación es el proceso de cambio de nitrógeno orgánico a formas amoniacales y ocurre normalmente durante la descomposición de tejidos animales, vegetales y de la materia fecal. Dado que el nitrógeno es un nutriente, los microbios presentes en el proceso de tratamiento, asimilarán nitrógeno amoniacal incorporándolo a su masa celular. Producto de la muerte y respiración endógena de las bacterias una fracción de este nitrógeno amoniacal retornara al agua residual (Metcalf & Eddy, 1995).

La nitrificación y desnitrificación es un mecanismo de transformación y remoción del nitrógeno. En una primera etapa (nitrificación) el amoniaco es oxidado a nitrito (NO_2) y posteriormente a nitrato (NO_3), este proceso solo implica el cambio de estado o transformación. En la etapa final (desnitrificación) el nitrato es reducido a nitrógeno gaseoso (N_2), estado en el que es removido del agua residual.

▪ **Nitrificación Biológica.**

La nitrificación es la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal. Este proceso es realizado por bacterias autótrofas aerobias llamadas nitrificantes, que utilizan el carbono inorgánico (CO_2) como fuente de carbono celular. Las bacterias responsables de la nitrificación son las nitrosomonas y nitrobacter, donde las nitrosomonas oxidan el ion amonio a nitritos y posteriormente las nitrobacter oxidan el nitrito a nitrato. Es necesario tener presente, que la transformación de nitrógeno amoniacal en nitrógeno en forma de nitrato no supone la eliminación del nitrógeno, aunque si permite eliminar su demanda de oxígeno (Metcalf & Eddy, 1995).



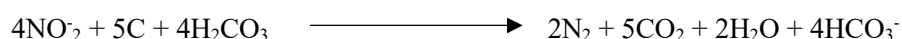
Las bacterias nitrificantes son organismos extremadamente sensibles a una gran cantidad de variables externas que pueden inhibir el proceso, causando una disminución en el crecimiento y

actividad de estos organismos. Las variables más importantes son el pH, temperatura, concentración de oxígeno disuelto y tipo de cultivo.

▪ **Desnitrificación Biológica.**

La desnitrificación es un proceso de reducción biológica del nitrato a nitrógeno gas. Este proceso de reducción, el nitrato se transforma en nitrito y este en óxido nítrico, óxido nitroso y nitrógeno gas, todos estos compuestos son liberados a la atmosfera en forma de gas. Los microorganismos responsables de esta reacción son principalmente heterótrofos aerobios facultativos, con la capacidad de adaptarse a las condiciones del medio que los contenga. En condiciones anoxicas estas bacterias son capaces de utilizar los nitratos y nitritos como aceptadores de electrones en lugar del oxígeno disuelto (EPA,1993).

El proceso de desnitrificación se basa en la transferencia de electrones, entre un dador de electrones reducido (materia orgánica) a un aceptador de electrones oxidado (oxígeno, nitrato y nitrito). El uso del nitrato o el nitrito en lugar del oxígeno disuelto genera una menor producción de energía durante la síntesis celular. El proceso de reducción de nitritos y de nitratos lo realizan varios tipos de bacterias, siendo el género más importante las pseudomonas. Los nitratos y los nitritos actúan como aceptadores de electrones, mientras que el sustrato aporta el carbono contenido en la materia orgánica. La reacción global de oxidación y síntesis utilizando una fuente de carbono genérico es la siguiente:



Las bacterias responsables de la desnitrificación son organismos muy sensibles a distintas variables externas, estas pueden afectar la tasa de crecimiento bacteriano y la tasa de remoción de nitratos. Las variables más importantes son el pH, temperatura, concentración de oxígeno disuelto y tipo de cultivo.

Para poder llevar a cabo la desnitrificación, los microorganismos necesitan una fuente de carbono orgánico que puedan oxidar. Esta fuente puede ser la materia orgánica presente en el agua residual a tratar o un sustrato externo (metanol, etanol, ácido acético). Si el carbono es aportado por la materia orgánica presente en el sistema, el consumo de oxígeno en las fases aerobias disminuirá,

ya que gran parte de la materia orgánica se habrá oxidado en el proceso de nitrificación. En el caso que la materia orgánica se agote previamente a la desnitrificación, será necesario agregar una fuente externa de carbono. Una de las sustancias más utilizadas debido a su bajo costo y gran eficacia como dador de electrones, es el metanol.

2.2.3.2.2 Remoción Biológica del Fosforo.

La incorporación de fosforo en las masas de agua ha aumentado notablemente en los últimos tiempos, debido al uso de abonos agrícolas, actividades industriales, el uso de detergentes y productos de uso doméstico. Este elemento es esencial para la vida, siendo fundamental para la síntesis de ácidos nucleicos y fosfolípidos. El fosforo presente en las aguas residuales domesticas provienen principalmente de la materia fecal humana (50 – 65%), y los vertidos de residuos alimenticios, compuestos inorgánicos contenidos en detergentes y los productos de limpieza (30 – 50%). Se puede encontrar en tres formas distintas, fosforo orgánico (especies particuladas), ortofosfatos y polifosfatos (especies disueltas). Siendo los dos últimos cerca del 70% del fosforo presente en el agua residual, la concentración típica es del orden de 10-30 mg P/l.

Existen ciertos microorganismos capaces de asimilar fosforo en proporciones mayores a los requerimientos nutritivos normales bajo condiciones aerobias, almacenando el fosforo en forma de gránulos de polifosfato (volutina). Las primeras observaciones de este fenómeno se registraron en 1995, pero no fue hasta finales de 1965 que se confirmó que el fenómeno es de tipo biológico, puesto que se eliminó cerca del 80% del fosforo sin la adición de sustancias químicas. En sistemas convencionales (lodos activados), donde el fosforo es utilizado únicamente para la síntesis de nuevas células, pero cuando los microorganismos son expuestos alternativamente a condiciones anaerobias y aerobias, las células asimilan más fosforo del requerido para la síntesis celular.

La eliminación biológica del fosforo se atribuye generalmente al género *Acinetobacter*, estas bacterias tienen un crecimiento lento y en la fase anaerobia utilizan normalmente compuestos más simples. Las reacciones de estas bacterias, tanto en condiciones aerobias y anaerobias pueden realizarse dentro de un mismo reactor o en reactores separados, más condiciones favorables.

2.2.4 Desinfección.

El efluente obtenido posterior a los tratamientos primarios y secundarios tiene gran cantidad de microorganismos patógenos, que no fueron eliminados en etapas anteriores. Para la eliminación de estos microorganismos patógenos es necesario realizar una desinfección, este es un proceso de destrucción o inactivación de estos organismos. Los efectos de la inactivación dependen del tipo de microorganismo, del tipo de desinfectante y el tiempo de contacto.

Es fundamental que las aguas residuales sean tratadas adecuadamente antes de realizar actividades para el proceso de desinfección, si las condiciones del agua residual son las adecuadas, la acción de cualquier desinfectante será eficaz. La tabla n°7 muestra los microorganismos más comunes en aguas residuales domésticas y las enfermedades que son asociados a ellos¹³.

Organismo	Enfermedad Causada
Bacterias	
Escherichia coli (enterotoxígeno)	Gastroenteritis
Leptospira (spp.)	Leptospirosis
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea
Salmonella (2.100 serotipos)	Salmonelosis
Shigella (4 spp.)	Shigellosis (disentería bacilar)
Vibrio Cholerae	Colera
Protozoos	
Balantidium coli	Balantidiasis
Cryptosporidium parvum	Cryptosporidiasis
Entamoeba histolytica	Amebiasis (disenteria amoeбica)
Giardia lamblia	Giardiasis
Helmintos	
Ascaris lumbricoides	Ascariasis
T. solium	Teniasis
Trichuris trichiura	Tricuriasis
Viruses	
Enteroviruses	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis.
Hepatitis A	Hepatitis de tipo infeccioso
Agente de Norwalk	Gastroenteritis

Tabla 7: Agentes Infecciosos Potenciales Presentes en Aguas Residuales Domesticas no Tratadas (EPA,1999).

¹³ Información disponible en la página web de Environmental Protection Agency de EE.UU (<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1009DIK.PDF?Dockkey=P1009DIK.PDF>)

Los desinfectantes más comunes en el tratamiento de las aguas residuales son los químicos y físicos. Los desinfectantes químicos son el ozono, ácido peracético, el cloro en varias formas (cloro gas, hipoclorito, dióxido de cloro), etc. En cuanto a los desinfectantes físicos, solo se pueden definir los rayos ultravioletas.

Los sistemas de desinfección más utilizados para el tratamiento de aguas residuales son la cloración, ozonización y radiación ultravioleta, los que se detallarán a continuación.

2.2.4.1 Ozono.

El ozono es un oxidante y agente germicida de virus muy fuerte. Es un gas de olor característico, de color azul, muy inestable, detectable y fácilmente reconocible por su olor picante con concentraciones entre 0.08 y 0.1 mg/L. Dada la inestabilidad del gas, el ozono se genera en las plantas de tratamiento, debido a que el gas se descompone en oxígeno elemental en un periodo corto de tiempo luego de su generación.

Los mecanismos de desinfección asociados con el uso del ozono incluyen:

- La oxidación o destrucción directa de la pared de la célula, con salida de componentes celulares fuera de la misma.
- Las reacciones con los subproductos radicales de la descomposición del ozono.
- El daño a los componentes de los ácidos nucleicos (purinas y pirimidinas).
- La ruptura de las uniones de carbono-nitrógeno que conduce a la despolimerización.

El tratamiento con ozono tiene la capacidad de lograr niveles de desinfección mucho más altos en comparación con el cloro o luz ultravioleta, pero los costos de inversión y mantenimiento no son competitivos en relación con las otras alternativas. Los parámetros principales de control del tratamiento con ozono son la dosis, la mezcla y el tiempo de contacto¹³.

Dentro de las ventajas más relevantes del proceso de ozonización está la mayor eficacia en la desinfección o destrucción de los microorganismos utiliza un periodo corto de contacto para su realización, no genera residuos peligrosos, al ser generado en las plantas no tiene riesgo en su transporte y eleva la concentración de oxígeno disuelto en el efluente¹³.

Dentro de las desventajas más importantes en el proceso de ozonización, está la complejidad de la tecnología en comparación con la cloración y luz ultravioleta, la necesidad de materiales resistentes a la corrosión (acero inoxidable), requiere equipos complicados y sistemas de contacto eficientes, y la toxicidad del gas genera la necesidad de aumentar los resguardos para los operarios. Todas estas desventajas generan un mayor costo de mantenimiento y operación, estos factores generan que la ozonización no sea utilizada con frecuencia, dejando este sistema solo para casos en los cuales las otras alternativas no sean efectivas¹³.

2.2.4.2 Cloro.

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica, mediante la destrucción de los organismos al ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas, como el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida¹⁴. La acción desinfectante y sanitaria es realizada directamente por un compuesto intermedio, el cual es formado por la reacción entre los compuestos clorinados y el agua. El compuesto intermedio es el ácido hipocloroso, este tiene la capacidad de difundirse a través de las paredes de las células y llegar así a las partes vitales de la célula bacteriana.

Una de las características más importantes en este sistema de desinfección, es el efecto residual que posee el cloro, el que le permite seguir actuando en tratamientos posteriores. El cloro residual corresponde al cloro disponible luego de la demanda de cloro, donde la demanda de cloro corresponde a la cantidad requerida para la destrucción de la bacterias y materia orgánica. La presencia de cloro residual disponible asegura la fuente de agua contra nuevas contaminaciones.

Dentro de las ventajas más relevantes en este sistema de desinfección esta, lo bien establecida que se encuentra la tecnología, la eficiencia en términos de costos en relación con las otras tecnologías, el efecto residual que prolonga su efecto de desinfección, la eficiencia para oxidar

¹⁴ Información disponible en la página web de Environmental Protection Agency de EE. UU. (<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1009DIB.PDF?Dockkey=P1009DIB.PDF>)

compuestos orgánicos e inorgánicos, una fácil dosificación y la capacidad para eliminar olores molestos¹⁴.

Dentro de las desventajas más importantes en este sistema de desinfección se encuentra el alto nivel de corrosividad en todas sus formas, que dificulta su almacenamiento, transporte y aplicación. El efecto residual del cloro puede llegar a ser un problema, dada que aun en bajas concentraciones es toxico para organismos acuáticos, por lo que si el efluente tiene una disposición final a un acuífero es necesaria la descloración. Existen algunas especies parasitas que han demostrado resistencia a bajas dosis de cloro, donde la demanda de cloro se vuelve uno de los parámetros fundamentales en este tratamiento.

2.2.4.3 Radiación Ultravioleta.

El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lampara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN). Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula, modificando la estructura de los ácidos desoxirribonucleico, destruyendo la habilidad de reproducción de la célula ¹⁵. La desinfección para cualquier sistema de desinfección está directamente relacionada con la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual.

La eficacia de este sistema de luz ultravioleta depende de las características del agua residual (turbiedad), la intensidad de la radiación (watts), el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. Uno de los componentes más sensible e importantes son las lámparas de cuarzo con vapor de mercurio de baja y alta presión. Esta luz que se genera por la descarga eléctrica a través del vapor de mercurio genera la radiación necesaria para la desinfección. Es importante que la longitud de onda (λ) de la radiación se encuentre en el rango de 250 a 270 nm para desactivar eficazmente los microorganismos.

Las ventajas más importantes del sistema de desinfección con luz UV son los siguientes:

¹⁵ Información disponible en la página web de Environmental Protection Agency de EE. UU. (<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs-99-064.pdf>)

- La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- Este proceso de desinfección es más bien un proceso físico, por lo que se elimina la necesidad de generar, manejar, transportar o almacenar productos químicos peligrosos.
- No existe efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier ser vivo acuático.
- La desinfección con luz UV es de fácil uso para los operadores.
- El tiempo de contacto necesario para la desinfección es mucho más corto que para otras tecnologías (aproximadamente entre 20 a 30 segundos con lámparas de baja presión).
- Este tipo de sistema necesita mucho menos espacio en comparación del cloro y el ozono.

Las desventajas más importantes del sistema de desinfección con luz UV son los siguientes:

- La baja radiación puede no desactivar algunos virus, esporas y quistes.
- Existen algunos organismos que pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un mecanismo de reparación, también conocido como la “reparación en oscuro” (en ausencia de radiación)
- Es necesario realizar mantenciones periódicas, con el fin de mantener limpios los tubos de cuarzo de la acumulación de sólidos en su parte externa, asegurando la que radiación producida por estos sea la máxima posible.
- La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SsT) hacen que la desinfección sea ineficaz. El uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no son efectivos en el caso de efluentes secundarios con niveles de SsT mayores a 30 mg/L.
- La desinfección con luz UV no es tan económica como la desinfección con cloro, pero en el caso que sea necesaria la descloración, los costos son más competitivos y se cumplen con los requerimientos de descarga.

La desinfección UV es un proceso físico que neutraliza los microorganismos instantáneamente cuando estos pasan a través de las lámparas UV. El proceso no añade nada al agua, y por tanto no tiene impacto sobre su composición química, y a su vez asegura el cumplimiento de la cada vez más estricta normativa de descarga¹⁶.

¹⁶ Información disponible en el sitio web de Biolight Tecnologías. (www.biolight.cl)

CAPITULO III: Legislación Vigente.

3 Ley 20.998, “REGULA LOS SERVICIOS SANITARIOS RURALES”.

Los días 4 y 5 de enero del 2017, el Congreso nacional aprobó la Ley que Regula los Servicios Sanitarios Rurales, lamentablemente este proceso coincidió con la catástrofe sufrida en el sur de nuestro país por los devastadores incendios forestales. Por este motivo la presidenta de la república firmo el decreto el 6 de febrero, publicándose en el Diario Oficial el 14 de febrero.

Reinaldo Fuentealba Sanhueza, Director Nacional de Obras Hidráulicas, destaco esta publicación como un hito de cambio para nuestro país, tanto para comités y cooperativas rurales.

“Tenemos el compromiso de marcar este hito histórico de cambio para Chile, con un gran acto masivo en la casa de todos los chilenos, con la presidenta, el ministro y otras autoridades, que dé cuenta del fruto de un largo camino, de un trabajo tesonero, mancomunado, que marca una huella señera hacia un desarrollo más inclusivo. Por eso estimadas y estimados amigas y amigos de esta larga trayectoria, en marzo nos reuniremos para celebrar esta nueva y fundamental Ley de la República”

Reinaldo Fuentealba (www.doh.gov.cl)

Esta ley busca regular los servicios sanitarios en sectores rurales, enfocándose en la cooperación de los “Usuarios”, sin discriminación, con un cobro sin fin de lucro, tratando de ser lo más equitativa en recursos para las distintas envergaduras de los asentamientos rurales y sus capacidades económicas. Además, genera un ente regulador desprendido del Ministerio de Obras Públicas, entrega funciones a las actuales instituciones relacionadas, entrega licencias para los “Operadores” de las soluciones sanitarias y lo más importante genera un reglamento, el cual posee parámetros a respetar tanto en la ejecución de las obras (producción, distribución, recolección y tratamiento de aguas servidas), como en el funcionamiento y mantención de los sistemas, para que estos tengan un funcionamiento constante y adaptable en el tiempo.

A continuación, detallaremos los puntos más relevantes, los cuales buscan mejorar la actual situación sanitaria rural:

1- Disposiciones Preliminares.

- El servicio sanitario rural podrá ser operado por un comité o una cooperativa (sin fin de lucro), a las que se les haya entregado una licencia por el Ministerio de Obras Públicas. En casos particulares y según lo indique el reglamento, el servicio podrá ser operado por una persona natural o jurídica autorizada por el Ministerio de Obras Públicas.

- Se elaborará un reglamento que regule todos los aspectos del saneamiento rural supervisado por el Ministerio de Obras Públicas, este formulado en conjunto por los siguientes organismos públicos:
 - a) Un representante del Ministerio de Obras Públicas (quien lo presidirá).
 - b) Un representante del Ministerio de Hacienda.
 - c) Un representante del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.
 - d) Un representante del Ministerio de Salud.
 - e) Un representante del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
 - f) Un representante del Ministerio de Desarrollo Social.
 - g) Un representante del Ministerio del Medio Ambiente.
 - h) Un representante de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.
 - i) Un representante de la Asociación de Municipalidades que reúna la mayor cantidad de municipios asociados a nivel nacional.
 - j) Nueve representantes de asociaciones, federaciones o confederaciones de comités y cooperativas de agua potable rural, de carácter nacional, regional o provincial.

En cada región existirá un Consejo Consultivo Regional, que asesorará al Consejo Consultivo Nacional para la orientación de la política de asistencia y promoción de los servicios sanitarios rurales.

2- Del Servicio Sanitario Rural.

- El servicio sanitario rural podrá ser primario o secundario:
 - a) Primario: Corresponde a la prestación de servicios de agua potable y saneamiento a comunidades rurales para uso doméstico (consumo familiar o pequeñas actividades comerciales o artesanales). Este requiere el abastecimiento de agua de calidad, en cantidad y con continuidad en forma universal para todos los Usuarios dentro del área de servicio.
 - b) Secundario: Corresponde a la prestación de servicios de agua potable y saneamiento que escapa del uso doméstico, que solo es factible si se cuanta con el servicio primario.
- Se definen 4 etapas para prestar servicio por los “Operadores” (comités o cooperativas con licencia para operar dichos sistemas):
 - a) Producción de Agua Potable, esta etapa corresponde a los sistemas para la captación y tratamiento de agua cruda, para su posterior distribución bajo condiciones que establece la normativa legal y reglamento vigente.
 - b) Distribución de Agua Potable, esta etapa consiste en el almacenamiento y la distribución hasta su entrega en el inmueble del usuario.
 - c) Recolección de Aguas Servidas, esta etapa consiste en la conducción de dichas aguas desde el inmueble hasta la entrega para su tratamiento y disposición final.
 - d) Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Servidas, esta etapa consiste en la remoción de los contaminantes presentes para la posterior evacuación en cuerpos receptores, y el manejo de lodos generados, esto bajo la normativa legal y el reglamento vigente.

3- Licencias.

- La licencia se otorgará a todos los sistemas que estén conformados por comités o cooperativas, con personalidad jurídica vigente y que estén inscritos en el “registro de operadores” que lleva la subdirección de servicios sanitarios.
- La licencia permite a los operadores prestar servicios sanitarios en cualquiera de las 4 etapas antes mencionadas.
- El prestador (operador) prestara servicios dentro del territorio delimitado en el respectivo decreto que otorgue la licencia.
- Las licencias otorgan el derecho a usar a título gratuito bienes nacionales de uso público, para realizar servidumbres, construir o instalar infraestructura de servicios sanitarios rurales.
- El Ministerio de Obras Públicas, previo informe de la Subdirección, otorgará la licencia al solicitante que, cumpliendo las condiciones técnicas exigidas, ofrezca las condiciones económicas más ventajosas y cuente con la evaluación social más favorable para la provisión del servicio, de acuerdo a lo señalado en esta ley y el reglamento
- La solicitud para la obtención de la licencia se presentará frente a la subdirección de servicios sanitarios rurales, esta debe poseer al menos los siguientes antecedentes:
 - a) La identificación del comité o cooperativa peticionaria.
 - b) Un certificado de la vigencia de la organización, emitido por la autoridad competente.
 - c) La identificación de la etapa del servicio sanitario rural (producción, distribución, recolección de aguas servidas y tratamiento y disposición final).
 - d) La identificación de la fuente de agua y sus respectivos derechos, en el caso de la licencia de producción de agua potable.
 - e) Análisis de la calidad del agua cruda de la fuente.
 - f) La identificación de las demás licenciatarias o concesionarias de servicio sanitario con las cuales se relaciona.
 - g) Los límites en área geográfica en que se prestaran servicios sanitarios rurales.

- h) Las características de las aguas servidas a tratar, del afluente y del cuerpo receptor, en el caso que la licencia de tratamiento y disposición de aguas servidas.
- i) Una descripción técnica general y un cronograma de las obras proyectadas para un plazo de 5 años, con su respectivo plan de inversiones si es necesario.
- j) Propuesta tarifaria.

4- De los Operadores.

- Obligaciones:
 - a) Prestar los servicios sanitarios a los Usuarios, en la medida que sea técnica y económicamente posible.
 - b) Garantizar la continuidad del servicio entregado, durante la cantidad de horas que estipule el decreto.
 - c) Mantener en nivel de calidad en la atención de los usuarios y prestación del servicio.
 - d) Prestar y operar los servicios sanitarios rurales, dando estricto cumplimiento a las obligaciones, restricciones y prohibiciones establecidas en esta ley y su reglamento, en la normativa sanitaria y ambiental, y en las demás normas y disposiciones legales, reglamentarias y administrativas vigentes, así como a las instrucciones que impartan las autoridades competentes en el ejercicio de sus atribuciones.
 - e) Permitir el acceso a las instalaciones del personal del Ministerio (MOP), de la Dirección General de Aguas, Subdirección, Superintendencia (SISS) y autoridad sanitaria, para el ejercicio de sus atribuciones, con la finalidad de velar por el correcto funcionamiento de éstas y adoptar las medidas necesarias.
 - f) Efectuar un correcto uso de los fondos y bienes de la organización, priorizando en su caso el plan de inversiones y, de ser necesario, realizar una auditoría.
 - g) Los costos de mantenimiento y reposición del arranque de agua potable y la unión domiciliaria, del sistema de agua potable y saneamiento rural, respectivamente, serán de cargo del operador.
 - h) Los operadores que conforme a la clasificación del artículo 70 de esta ley pertenezcan a los segmentos Mediano y Mayor deberán constituir e incrementar, con un porcentaje no inferior al veinte por ciento de sus remanentes resultantes

de cada ejercicio anual, un fondo de reserva legal destinado a la reposición y ampliación de largo plazo.

- Derechos:
 - a) Cobrar, por las etapas del servicio sanitario rural prestadas.
 - b) Cobrar reajustes o intereses corrientes por las cuentas que no sean canceladas.
 - c) Suspender por el no pago de una o más boletas.
 - d) Suspender el servicio a los usuarios del servicio primario, que destinen el agua a otro propósito.
 - e) Suspender usuarios que causen daños a las instalaciones.
 - f) Cobrar el costo de las reparaciones de daños y desperfectos causados en los arranques de agua potable y uniones domiciliarias de alcantarillado, redes de distribución y redes de recolección, a causa del mal uso o destrucción de las mismas por el usuario.
 - g) Proponer y postular a subsidios a la inversión.

5- De las Tarifas.

- Antecedentes para la determinación de la tarifa:
 - a) Ingresos y facturaciones.
 - b) Gasto de operación desglosado.
 - c) inversiones propias.
 - d) Fondo de reserva, si es que existe.
 - e) Población abastecida, actual y proyectada.
 - f) Infraestructura de agua potable.
 - g) Infraestructura aguas servidas.
 - h) Otros antecedentes que la subdirección estime.

6- Institucionalidad.

- La política sobre los servicios sanitarios rurales está fundada en los siguientes principios:
 - a) De protección de la ayuda mutua, derechos inherentes de los servicios sanitarios rurales.

- b) De igualdad de participación y de decisión de los integrantes de los órganos administradores y ejecutores de los operadores de los servicios sanitarios rurales.
 - c) De no discriminación respecto al servicio sanitario rural.
 - d) De eficiencia económica en la disposición y administración de los recursos, de modo que propenda a la auto sustentabilidad económica del servicio.
 - e) De transparencia en la gestión y administración del servicio, para con sus socios, usuarios y a la comunidad en general.
 - f) De promoción al uso sostenible del agua y de los demás componentes ambientales involucrados.
- Los operadores para efecto de esta ley serán clasificados según tres segmentos, Mayor, Mediano y Menor. Para esta clasificación se medirán además de la calidad de gestión técnica, administrativa y financiera del operador, las siguientes características:
 - a) Población abastecida.
 - b) Cercanía al área urbana.
 - c) Condiciones económicas y sociales de la población abastecida.
 - d) Condiciones de aislamiento.
 - e) En caso de que corresponda, el carácter de comunidad indígena conforme a la ley N°19.253 y sus disposiciones reglamentarias.
 - f) La oferta hídrica y las condiciones geográficas y topográficas.

3.1. Instituciones Involucradas.

Ya identificado el nicho el cual analizaremos, a continuación, expondremos las instituciones que en la actualidad se relacionan directa o indirectamente con el saneamiento rural.

- Ministerio de Salud: Aprueba los diseños de sistemas de tratamiento de aguas servidas y autoriza el funcionamiento de estas obras ya ejecutadas.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA): Vela por el cumplimiento de las normas Ambientales.
- Empresas Sanitarias: Conforme a lo que establece el Art. 52 Bis del DFL382, ellas tienen la facultad de construir, mantener y explotar sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de las aguas servidas en el ámbito rural. Esto bajo la estricta condición de no afectar o comprometer la calidad y continuidad del servicio público sanitario.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP): Su función esencial es administrar la legislación enfocándose en los recursos hídricos, además de asignar los derechos de agua y sobre todo aprobar los derechos de concesiones para efectuar, construir y explotar servicios sanitarios rurales.
- Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales: Se desprende de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y tiene como función realizar estudios, gestión comunitaria, inversiones de agua potable, inversión en saneamiento, proyectos de agua potable, proyectos de saneamiento, llevar acabo la clasificación y registro de los operadores.
- Departamento de Cooperativas (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo): Dictara dentro del ámbito de su competencia normas que estime convenientes facilitar la aplicación de esta ley.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios: Conforme al art. 85 de la Ley N°20.998 esta ejercerá atribuciones y facultades regulatorias y fiscalizadoras de todo operador de servicios sanitarios rurales. Para efectos de su fiscalización, la SISS ejercerá respectos a las entidades fiscalizadas las mismas facultades que confiere la Ley N°18.902 que crea esta institución.

3.2. Marco Regulatorio Legal Aplicable al Sector Rural.

La gran parte de la normativa existente en este ámbito fue desarrollada para sectores urbanos, por lo que lo que se refiere a el sector rural, son básicamente implementaciones y adaptaciones de estas normas. Esto producido por la escasa regulación estrictamente rural.

A continuación, se dará el listado separando por normas estrictamente rurales, normas urbanas aplicables al sector rural y su alcance.

SECTOR RURAL

- **Ley N°20.998** 2017, Regula los Servicios Sanitarios Rurales y su reglamento en espera de su aprobación.
- **Ley N°18.777** 1989, Autoriza al Estado para desarrollar actividades empresariales en materia de agua potable y alcantarillado.
- **Ley N°18.778** 1989, Establece Subsidio al Pago de Consumo de Agua Potable y Alcantarillado de Aguas Servidas.
- **Ley N°19.338** 1994, que modifica la Ley N°18.778, además su reglamento que fue aprobado por el D.S N°195 del 19/02/99 y que incorpora el subsidio a la inversión.
- **D. N°236/26.** Reglamento General de Alcantarillados Particulares Fosas Sépticas, Cámaras Filtrantes, Cámaras de Contacto, Cámaras Absorbentes y Letrina Domiciliaria.

SECTOR RURAL-URBANO

- **D.F.L. 382** 1988, Ley General de Servicios Sanitarios Ministerio de Obras Públicas.
- **D.F.L. 1122** 1981, Código de aguas. Resguarda los recursos hídricos, su aprovechamiento y cualquier tipo de contaminación por su aprovechamiento.
- **D.F.L. 725** 1968, Código Sanitario. Vela por el cumplimiento de normas o reglamentos, estos resguardan la salud y la higiene ambiental de la población en cualquier recinto.
- **NCh1.333** 1978, Requisitos de Calidad de Agua para Diferentes Usos. Establece los parámetros que deben cumplir los afluentes de aguas residuales, proteger y preservar la calidad de agua para distintos usos y fija criterios de aguas para sus diferentes usos. Estos

usos pueden ser: Agua para el consumo humano, agua para bebida animal, riego, recreación y estética.

- **D.S. 90/00.** Norma de emisión para la regulación de contaminantes. Esta norma establece los límites máximos de descarga de contaminantes líquidos medidas en el efluente de la fuente emisora. Esto a cualquier cuerpo de agua marino o continental.
- **D.S. N°50 2002.** Aprueba el Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDAA). Establece las disposiciones técnicas que regulan el diseño, construcción y explotación de las instalaciones de agua potable y alcantarillado de aguas servidas domésticas. Además, propone como solución la fosa séptica, sin embargo, proporciona la variable de cualquier sistema de tratamiento que sea capaz de purificar las aguas dentro de estándares normativos vigentes y del mismo reglamento. Esta norma requiere la aprobación del “Servicio de Salud Regional”, para su construcción y/o mejoramiento de dichos sistemas.
- **D.S. N°46/02.** Norma de Emisión de Residuos Líquidos en Aguas Subterráneas. Establece los límites máximos de contaminantes en residuos líquidos que son descargados por la fuente emisora al subsuelo, mediante obras destinadas a infiltración que altere los acuíferos existentes.
- **Ley N°18.902.** Ley Orgánica de la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Crea la SISS que está a cargo de los Riles vinculados a las prestaciones sanitarias.
- **D.S. N° 04/09.** Reglamento de Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

3.3. Normativa de Emisión y Límites Máximos Permitidos.

Las distintas normativas buscan regular la calidad de los efluentes depurados por las distintas tecnologías de tratamiento, con el fin de regular el vertido de contaminantes específicos. La descarga de residuos líquidos y el valor característico de cada contaminante varía según el tipo de receptor de estas aguas, y de su capacidad de dilución de los contaminantes. Es por lo anterior que, el DS.90/00 y DS. 46/02 establecen valores estimativos característicos de emisión de residuos líquidos producto de un proceso, actividad o servicio de una población (afluente domestico) y límites máximos permitidos de descarga de residuos líquidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas a los distintos receptores (fluviales, marinos o infiltración).

A continuación, se entregarán los valores de emisión de contaminantes característicos de una población y los valores de vertido máximos que aplican en sectores rurales según la fuente receptora (fluvial e Infiltración). Para entregar valores más representativos para este estudio, **no se tomará en cuenta la capacidad de dilución del receptor**. La tabla n°8 entrega valores de una fuente emisora que descarga residuos líquidos (afluente) a uno o más cuerpos de agua (fluvial o lacustres).

Contaminante	Valor Característico	Carga Contaminante Media Diaria (equiv. 100 Hab/día) *
pH **	6-8	---
Temperatura **	20 °C	---
Solidos Suspendidos Totales	220 mg/l	3520 g/d
Solidos Sedimentables **	6 ml/l/1h	---
Aceites y Grasas	60 mg/l	960 g/d
Hidrocarburos Fijos	10 mg/l	160 g/d
Hidrocarburos Totales	11 mg/l	176 g/d
Hidrocarburos Volátiles	1 mg/l	16 g/d
DBO5	250 mg O2/l	4000 g/d
Aluminio	1 mg/l	16 g/d
Arsénico	0,05 mg/l	0,8 g/d
Boro	0,75 mg/l	12,8 g/d
Cadmio	0,01 mg/l	0,16 g/d
Cianuro	0,2 mg/l	3,2 g/d
Cloruros	400 mg/l	6400 g/d
Cobre	1 mg/l	16 g/d
Cromo Total	0,1 mg/l	1,6 g/d

Contaminante	Valor Característico	Carga Contaminante Media Diaria (equiv. 100 Hab/día) *
Cromo Hexavalente	0,05 mg/l	0,8 g/d
Estaño	0,5 mg/l	8 g/d
Fluoruro	1,5 mg/l	24 g/d
Fosforo Total	10 mg/l	160 g/d
Hierro	1,0 mg/l	16 g/d
Manganeso	0,3 mg/l	4,8 g/d
Mercurio	0,001 mg/l	0,02 g/d
Molibdeno	0,07 mg/l	1,12 g/d
Níquel	0,1 mg/l	1,6 g/d
Nitrógeno Total Kjeldahl	50 mg/l	800 g/d
Nitrito más Nitrato (lagos)	15 mg/l	240 g/d
Pentaclorofenol	0,009 mg/l	0,144 g/d
Plomo	0,2 mg/l	3,2 g/d
Selenio	0,01 mg/l	0,16 g/d
Sulfato	300 mg/l	4800 g/d
Sulfuro	3 mg/l	48 g/d
Tetracloroetano	0,04 mg/l	0,64 g/d
Tolueno	0,7 mg/l	11,2 g/d
Triclorometano	0,2 mg/l	3,2 g/d
Xileno	0,5 mg/l	8 g/d
Zinc	1 mg/l	16 g/d
Índice de Fenol	0,05 mg/l	0,8 g/d
Poder Espumógeno **	5mm	5 mm
SAAM	10 mg/l	160 g/d
Coliformes Fecales	107 MMP/100ml	1,6x10 ¹² coli/d

Tabla 8: Establecimiento Emisor (DS 90/00).

*) Se consideró una dotación de agua potable de 200 L/hab/día y un coeficiente de recuperación de 0,8.

**) Expresados en valor absoluto y no en términos de carga.

La tabla n°9 entrega valores de una fuente emisora (afluente) que descarga sus residuos líquidos por medio de obras de infiltración (zanjas, drenes, lagunas, pozos de infiltración, etc.).

Contaminante	Valor Característico	Carga Contaminante Media Diaria (equiv. 100 Hab/día) *
Aceites y Grasas	60 mg/l	960 g/d
Aluminio	1 mg/l	16 g/d
Arsénico	0,05 mg/l	0,8 g/d
Benceno	0,01 mg/l	0,16 g/d
Boro	0,75 mg/l	12,8 g/d
Cadmio	0,01 mg/l	0,16 g/d

Contaminante	Valor Característico	Carga Contaminante Media Diaria (equiv. 100 Hab/día) *
Cianuro	0,2 mg/l	3,2 g/d
Cloruros	400 mg/l	6400 g/d
Cobre	1 mg/l	16 g/d
Cromo Hexavalente	0,05 mg/l	0,8 g/d
Floururo	1,5 mg/l	24 g/d
Hierro	1,0 mg/l	16 g/d
Manganeso	0,3 mg/l	4,8 g/d
Mercurio	0,001 mg/l	0,02 g/d
Molibdeno	0,07 mg/l	1,12 g/d
Níquel	0,1 mg/l	1,6 g/d
Nitrógeno Total Kjeldahl	50 mg/l	800 g/d
Nitrito más Nitrato (lagos)	15 mg/l	240 g/d
Pentaclorofenol	0,009 mg/l	0,144 g/d
Plomo	0,2 mg/l	3,2 g/d
Selenio	0,01 mg/l	0,16 g/d
Sulfato	300 mg/l	4800 g/d
Sulfuro	3 mg/l	48 g/d
Tetrecloroeteno	0,04 mg/l	0,64 g/d
Tolueno	0,7 mg/l	11,2 g/d
Triclorometano	0,2 mg/l	3,2 g/d
Xileno	0,5 mg/l	8 g/d
Zinc	1 mg/l	16 g/d

Tabla 9: Establecimiento Emisor (DS 46/02).

*) Se consideró una dotación de agua potable de 200 L/hab/día y un coeficiente de recuperación de 0,8.

Como se puede apreciar, el DS 90/00 es la normativa más restrictiva en cuanto a parámetros de emisión, dado que tiene un mayor espectro de contaminantes, pero ambas indican que “Los establecimientos que emitan una carga contaminante media diaria igual o inferior a lo señalado, no se consideran fuentes emisoras para los efectos del presente decreto y no quedan sujetos a la misma, en tanto se mantengan dichas condiciones.”. Por lo que los valores de emisión de contaminantes a considerar son superiores a los mencionados en las tablas anteriores.

La tabla n°10 entrega valores límite de vertido de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales, el efluente es depurado para cumplir con la calidad estipulada en la normativa.

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permitido
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	20
Aluminio	mg/l	Al	5
Arsénico	mg/l	As	0,5
Boro	mg/l	B	0,75
Cadmio	mg/l	Cd	0,01
Cianuro	mg/l	CN-	0,20
Cloruros	mg/l	Cl-	400
Cobre Total	mg/l	Cu	1
Coliformes Fecales	NMP/100ml	Coli/100ml	1000
Índice de Fenol	mg/l	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/l	Cr6+	0,05
DBO5	mg O2/l	DBO5	35*
Fosforo	mg/l	P	10
Fluoruro	mg/l	F-	1,5
Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permitido
Hidrocarburos Fijos	mg/l	HF	10
Hierro Disuelto	mg/l	Fe	5
Manganeso	mg/l	Mn	0,3
Mercurio	mg/l	Hg	0,001
Molibdeno	mg/l	Mo	1
Níquel	mg/l	Ni	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	NKT	50
Pentaclorofenol	mg/l	C6OHC15	0,009
pH	Unidad	pH	6-8
Plomo	mg/l	Pb	0,05
Poder Espumógeno	mm	PE	7
Selenio	mg/l	Se	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	SS	80*
Sulfatos	mg/l	SO42-	1000
Sulfuros	mg/l	S2-	1
Temperatura	°C	T°	35
Tetracloroetano	mg/l	C2C14	0,04
Tolueno	mg/l	C6H5CH3	0,7
Triclorometano	mg/l	CFC13	0,2
Xileno	mg/l	C6H4C2H6	0,5
Zinc	mg/l	Zn	3

Tabla 10: Límites Máximos Permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos a Cuerpos de Agua Fluviales sin Tomar en Cuenta la Capacidad de Dilución del Receptor (DS.90/00).

La tabla n°11 entrega valores límite de vertido de residuos líquidos mediante infiltración, cabe recalcar si el acuífero es clasificado por la Dirección General de Aguas como de alta vulnerabilidad, solo podrán ser vertidos efluentes con la misma calidad del acuífero. Para el caso de

esta investigación tomaremos los límites máximos permitidos en relación a un acuífero con vulnerabilidad media.

Contaminante	Unidad	Valor Característico
Indicadores Físico y Químicos		
pH	unidad	6-8,5
Inorgánicos		
Cianuro	mg/l	0,2
Cloruros	mg/l	250
Fluoruro	mg/l	1,5
N-Nitrato + N- Nitrito	mg/l	10
Sulfatos	mg/l	250
Sulfuros	mg/l	1
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/l	10
Benceno	mg/l	0,01
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Contaminante	Unidad	Valor Característico
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Tolueno	mg/l	0,7
Triclorometano	mg/l	0,2
Xileno	mg/l	0,5
Metales		
Aluminio	mg/l	5
Arsénico	mg/l	0,01
Boro	mg/l	0,75
Cadmio	mg/l	0,002
Cobre	mg/l	1
Cromo Hexavalente	mg/l	0,05
Hierro	mg/l	5
Manganeso	mg/l	0,3
Mercurio	mg/l	0,001
Molibdeno	mg/l	1
Níquel	mg/l	0,2
Plomo	mg/l	0,05
Selenio	mg/l	0,01
Zinc	mg/l	3
Nutrientes		
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	10

Tabla 11: Límites Máximos Permitidos para la Descarga de Residuos Líquidos en Condiciones de Vulnerabilidad Media (DS.46/02).

La consideración de la calidad del efluente para su vertido dependerá netamente de las posibilidades de disposición final (fluvial o infiltración a acuíferos).

CAPITULO IV: Saneamiento Rural.

4 Situación Actual del Saneamiento Rural en Chile.

La promulgación de distintas normativas ambientales y leyes enfocadas en el mejoramiento continuo, durante estas últimas 2 décadas han impulsado de gran manera la construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas. Además, tomando en cuenta el avance tecnológico en este ámbito y la aparición de nuevas tecnologías o procesos de plantas cada vez más autónomas, con mayor capacidad de remoción de contaminantes, generación de desechos con menor impacto ambiental y aún más importante, con la capacidad de adaptarse a las diferentes condiciones geográficas y las distintas necesidades de cobertura con las que se deben enfrentar.

A comienzos de la década del 90 se inició en Chile de forma paulatina la construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas, de esta forma aumento el nivel de cobertura de prácticamente cero en 1994 a un nivel de cobertura cercano al 99,8 % (Urbano) en estos últimos años. Este crecimiento está marcado por la gran diversidad de climas y características de la basta cantidad de localidades en Chile, esto ha creado una visión bastante particular de las diferentes tecnologías a implementar en cada caso. Esto se aprecia claramente al observar los tipos de plantas predominantes en los distintos sectores del país, por ejemplo, en el norte del país es común encontrar plantas que utilicen lagunas como sistema de tratamiento secundario, mientras que, en el extremo sur, el 100% de las plantas usan la tecnología de lodos activados. En la actualidad existen más de 260 sistemas de tratamiento de aguas servidas operando y autorizadas por la superintendencia, las que atienden a más de once millones y medio de habitantes de todo el país. La tecnología de tratamiento predominante corresponde a los Lodos Activados, con casi un 60% respecto a la totalidad de plantas, (SISS, 2017)

La población en Chile disfruta de altos niveles de servicio de agua potable y alcantarillado. Sin embargo, la población de zonas rurales semiconcentradas y dispersas aun no cuentan con estos servicios, donde ellos se abastecen de aguas contaminadas por sus mismos desechos, lo que conlleva a graves problemas de salud. Dado su tamaño estas comunidades se enfrentan a diversos problemas que hacen que la construcción y mantención de dichas plantas se vuelva aún más complejo, las limitantes más comunes son las siguientes:

- Los costos de construcción y mantenimiento de las plantas en comunidades semiconcentradas o dispersas, poseen costos muchos más elevados (costo por persona) que en las grandes ciudades.
- Estas localidades tienen menos recursos y conocimiento, lo que produce una mayor complejidad para mantener y operar las plantas. La mayoría de los problemas en este ámbito tiene que ver con el diseño, construcción, supervisión y mantenimiento. Esta brecha de recursos se encuentra en un proceso de disminución, dado las últimas legislaciones expuestas en el Capítulo III.

Si analizamos en detalle los casi 2 millones (13% de la población) de personas que viven en zonas rurales, aproximadamente 1.5 millones de personas viven en zonas concentradas y disfrutan de casi los mismos niveles de cobertura de la población urbana. Alrededor de 500.000 personas de sectores rurales (menor a 100 habitantes) no cuentan con recolección ni tratamiento de aguas servidas, lo que radica a que la solución más utilizada para la disposición de las aguas residuales domiciliarias sea las Fosas Sépticas, que por razones económicas y de mantenimiento se masificaron. Este tipo de sistema conlleva a problemas considerables como, mal olor, contaminación de las aguas subterráneas y cauces.

4.1. Tipos de Tratamiento.

En todo el mundo se han realizado investigaciones que pretenden mejorar los tratamientos de las aguas residuales. Específicamente en sectores rurales, con el fin de proponer sistemas que entreguen diversas soluciones, estas dependiendo del tamaño de las comunidades. Estos sistemas se constituyen de variados subsistemas o procesos, esta variación en su estructura se relaciona directamente con el nivel de pureza del efluente final. Si el producto de dichos sistemas es simplemente vertido al subsuelo, en un área y cantidades apropiadas, se necesitaría de un sistema primario o simple. Pero si el producto se pretende redirigir a algún cauce de agua (rio, Lago, canal), se necesitaría de un conjunto de sistemas, que sucesivamente buscarían remover la mayor cantidad de materia contaminante, llegando incluso a desinfectar y entregar un resultado con bajo impacto ambiental.

Para que el proceso produzca un efluente con bajo impacto ambiental, el sistema deberá estar compuesto por una serie de tratamientos. Estos tratamientos buscan eliminar sólidos, materia

orgánica, aceites, bacterias y cualquier elemento contaminante. En la ilustración 3 corresponde al modelo de distribución previo al ingreso a una planta de tratamiento, incorporando el pretratamiento.

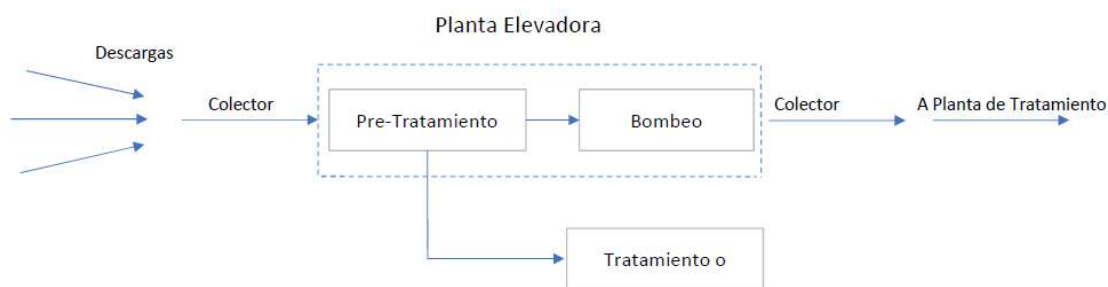


Ilustración 3: Esquema de Distribución Previo a la Planta de Tratamiento Incluyendo Pretratamiento (Baraño, 2004).

En la ilustración 4 se muestra la configuración típica de una planta de tratamiento de aguas servidas en Chile.

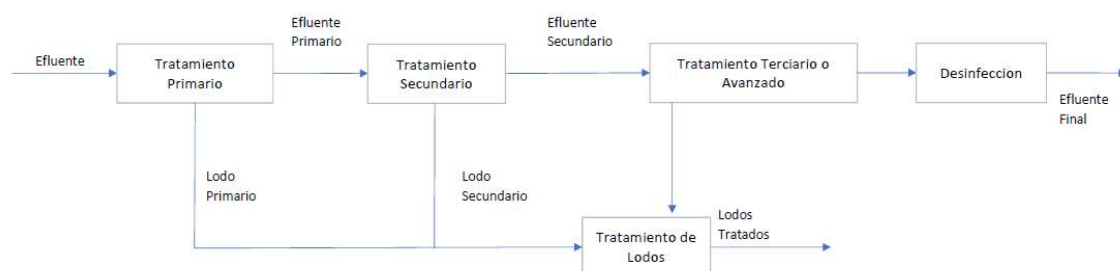


Ilustración 4: Configuración Típica de una Planta de Tratamiento (Baraño, 2004).

4.2. Sistemas Rurales de Tratamiento de Aguas Servidas.

4.2.1. Sistemas Rurales Descentralizados.

Los sistemas de tratamiento de aguas servidas provenientes de sistemas rurales descentralizados son aquellos que no cuentan con sistemas de recolección (alcantarillado). Donde la recolección, tratamiento y vertimiento o reutilización obedecen a criterios distintos a los sistemas centralizados y son aplicables cuando existe una baja densidad habitacional o la distancia con respecto a otros alcantarillados es significativa.

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

Los sistemas rurales descentralizados son aplicables cuando se dan entre otras las siguientes condiciones:

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

Si se analiza este tipo de sistema en relación con la magnitud de la población a tratar, los sistemas descentralizados involucran en general alguno de los siguientes escenarios:

- Residencias individuales.
- Conjuntos residenciales.
- Sistemas comunitarios.

La forma más simple ocupada en el sector rural fue la descarga directa sobre cursos de agua, canales, quebradas, lo que condiciona la ubicación en un sector alejado de la vivienda. Para reducir la contaminación y mejorar la calidad de vida, se comenzaron a implementar sistemas de tratamientos

que se adapten a las condiciones especiales del sector rural. Los elementos o componentes más comunes en un sistema descentralizado de aguas residuales son los siguientes¹⁷:

- Tratamiento preliminar.
- Tratamiento de aguas residuales.
- Disposición o reutilización del efluente tratado.
- Manejo de lodos.

Las componentes mencionadas anteriormente son las mismas que en sistemas centralizados, la diferencia radica en la tecnología utilizada. A continuación se definirán aspectos más relevantes de los puntos mencionados.

- **Tratamiento Preliminar.**

El tratamiento preliminar tiene como objetivo remover sólidos gruesos, aceites y grasas, arenas y otros materiales flotantes o sedimentables, de modo que el agua residual puede ser tratada eficientemente en tratamientos posteriores.

- **Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales.**

En general las alternativas de tratamiento más comúnmente adoptadas en este escenario son las siguientes:

- Pozo negro.
- Letrina (standard o mejorada con pozo ventilado).
- Letrina abonera seca.
- Casera Sanitaria con fosa séptica y red de drenaje o pozo absorbente.

El pozo negro prácticamente no realiza tratamiento y las letrinas en general tienen una vida útil corta, requiriendo ser trasladadas una vez que se copó su capacidad (aproximadamente 5 años). Tanto el pozo negro y las letrinas no tienen la capacidad que su efluente sea adoptado a sistemas de disposición más efectivos.

La fosa séptica corresponde conceptualmente a un tratamiento primario, alcanzando márgenes de remoción de contaminantes del orden de 75-80% y 10-25% en términos de sólidos

¹⁷ Información disponible en el sitio web de SUBDERE, Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales (http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/articles-80176_archivo_fuente.pdf)

suspendidos y DBO respectivamente. La principal ventaja en relación con los pozos negros y letrinas es la capacidad que tiene este sistema de constituir una solución más higiénica, con la posibilidad de incluir en el sistema dependencias de baño y cocina, confiriéndole un estándar de vida superior. Otra ventaja que posee las fosas sépticas es la capacidad que tiene de ser incorporadas a un sistema centralizado (si es de implementarse).

Dado el escenario actual que tiene las obras de recolección y tratamiento de aguas servidas en sectores rurales, se considera en el análisis de alternativas viables de tratamiento considerando como base mínima los sistemas en base a fosas sépticas, considerando que actualmente es una de las tecnologías más implementadas.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede establecer que, para definir la viabilidad de las alternativas de disposición de los efluentes de una fosa séptica (vertido, reencauzamiento, tratamiento secundario, desinfección, etc.) en el entorno, se debe tomar en consideración los siguientes aspectos:

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

4.2.2. Sistemas Rurales Centralizados.

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

Las alternativas de tratamiento de aguas servidas de tipo centralizado pueden definirse en dos áreas, constituidas por los tratamientos de tipo biológico y fisicoquímico. En cuanto a los sistemas

biológicos, estos pueden clasificarse en tratamiento biológico de tipo convencional o no convencional, esto de acuerdo con el siguiente esquema¹⁸:

- Biológicos.
 - Sistemas no convencionales.
 - Lagunas de estabilización facultativas.
 - Lagunas anaerobias.
 - Wetlands.
 - Sistemas convencionales.
 - Cultivo fijo.
 - Biofiltros o filtros percoladores.
 - Biodiscos o contactores biológicos rotatorios.
 - Cultivo suspendido.
 - Aeración extendida.
 - A media carga.
 - Convencionales.
 - Lagunas airadas.
 - A mezcla completa.
 - Multicelulares.
 - Facultativas.
- Fisicoquímico.

El tratamiento fisicoquímico a diferencia del tratamiento biológico, no realiza el mejoramiento de la calidad del efluente por medio de un proceso biológico. El mejoramiento es realizado fundamentalmente por reacción física y química sobre la base de adición de reactivos específicos.

El sistema responde básicamente al comportamiento de las aguas a ciertos componentes unitarios o conjuntos de tratamiento físico (sedimentación, flotación, filtración, etc.) y a reacciones estequiométricas ante la adición de ciertos reactivos específicos (coagulantes, polielectrolitos, polímeros, etc.). Este tipo de sistema no es usualmente utilizado para el tratamiento de aguas servidas

¹⁸ Información disponible en el sitio web de SUBDERE, Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales (http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/articles-80176_archivo_fuente.pdf).

domésticas, a menos que la calidad del efluente no sea muy restrictiva, dado que la eficiencia de remoción de parámetros de interés no cumple con las calidades establecidas, por ejemplo, en el DS90/2000 para la descarga a cuerpos de agua sin la capacidad de dilución.

En cuanto a los sistemas de tratamiento biológico, los de tipo no convencional son en general sistemas naturales (lagunas facultativas, aeróbicas o anaeróbicas), que, además de necesitar grandes áreas de terreno, la mayoría de ellas no cuenta con variables operativas que permitan manejar el sistema. El hecho de no tener dichas variables hace que este tipo de tratamiento no asegure la calidad exigida por la normativa vigente (DS90/00) en forma estable, donde cualquier desestabilización del sistema la calidad del efluente puede deteriorarse por largos periodos de tiempo.

En cambio, los sistemas de tratamiento biológico de tipo convencional, son en general sistemas mecanizados, que requieren áreas significativamente menores y cuentan con variables operativas que permiten controlar el sistema. Este tipo de sistema tiene la capacidad de remover los parámetros de interés hasta los márgenes que permitan entregar el efluente con la calidad exigida por la normativa vigente (DS90/00 o DS46/02) en forma estable si están bien operadas.

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

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

Dado el actual estado de las obras en sectores rurales, han aparecido tecnologías innovadoras en el país, las que pueden resumirse del siguiente modo:

- Lombrifiltros.
- Humedales en sus distintas versiones.
 - Biotreat.
 - Lecho verde vertical de juncos.

- Filtro vegetal con fibra de coco (tipo Ecoflo).

Actualmente existen cerca de 90 plantas del tipo Lombrifiltro (Sistema Toha) en Chile, considerando que los costos de inversión y operación son más convenientes que las otras tecnologías, esto sumado a su simplicidad operativa la convierte en una opción adecuada para el sector rural.

4.3. Alternativas de Tratamiento de Aguas Servidas para el Sector Rural.

4.3.1. Tratamiento Preliminar.

La función principal del tratamiento preliminar o también llamado pretratamiento, es realizar un filtro al afluente, con el fin de eliminar cualquier elemento que pueda entorpecer la etapa siguiente. Como por ejemplo sólidos gruesos, aceites, grasas, arenas y otros elementos flotantes o sedimentables, de tal forma que el agua residual pueda ser tratada eficientemente, que como resultado tenga un efluente que pueda ser reutilizado o vertida sin riesgo alguno¹⁹.

Los sólidos gruesos, ramas, plásticos y cualquier otro elemento que pueda tapar las tuberías o producir daños a estas son regularmente removidos mediante un sistema de barras o rejilla. Estos sistemas pueden incluir más de un tamaño de tamiz y a su vez, manuales o automáticas. En plantas pequeñas es regular que existan un tamiz y de limpiado manual (diario), pero en plantas de mayor envergadura pueden existir hasta 3 tamaños de tamices y con frecuencia con limpieza automática. En Chile, el 64% de las plantas de tratamiento tiene algún tipo de pretratamiento, siendo este el más común. La mayoría de las plantas que no cuentan con esta tecnología, pertenecen a pequeñas poblaciones (Baraño, 2004).

Los sólidos finos o arenas son removidas con un desarenador, el objetivo es evitar la abrasión de las tuberías y piezas especiales. El desarenador puede ser aireado, con el fin de lavar la arena retirando todo el material orgánico presente, este proceso debe contar con una estabilización (sedimentación primaria o secundaria) para ayudar a la sedimentación. El 45 % de las plantas en Chile cuentan con este tipo de sistema de tratamiento.

¹⁹ Información disponible en el sitio web de Cyclus ID (<http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/pretratamiento/>).

Cuando se espera un volumen apreciable de sólidos duros, se debe agregar un mecanismo de trituración posterior a desarenador, con el fin de desmenuzarlos para la protección de las estaciones de bombeo u otras unidades de la planta que requieran protección.

El desgrasador es un pretratamiento muy ocupada para la remoción de aceites y grasas, las que pueden colmatar tuberías y equipos. El mecanismo que produce la remoción de estos es regularmente la flotación, este puede ser independiente o estar inverso en el desarenador aprovechando una posible aireación que facilite la remoción. El 23% de las plantas de tratamiento ocupa este sistema, siendo dentro de los tratamientos preliminares el menos ocupado.

4.3.2. Tecnologías de Tratamiento de Aguas Servidas Aplicables a Sistemas Particulares.

Las tecnologías más implementadas en sectores rurales descentralizados o particulares corresponden básicamente a las mencionadas en el numeral 4.2.1. En la tabla nº12 se muestra el detalle de las alternativas de tratamiento de aguas residuales, las distintas tecnologías están sujetas a condiciones técnicas y económicas.

TIPO DE TRATAMIENTO	ALTERNATIVA
Primario	Fosa Sépticas.
	Tanques Imhoff.
Primario Avanzado	Fosa Séptica - Cámara de Filtración.
	Fosa Séptica – Reactor de Cultivo Fijo.
Secundario	Tratamiento Biológico Aeróbico.
	Tratamiento Aeróbico / Anaeróbico.
	Filtro de Arena de Flujo Intermitente.
	Filtro de Grava con Recirculación.
	Lagunas.
	Humedales Artificiales.
Avanzado	Tratamiento en el Suelo.
	Filtros de Lecho Empacado, Intermitentes y con Recirculación.
	Filtración Rápida.
	Desinfección

Tabla 12: Alternativas Típicas de Tratamiento de Aguas Residuales en Sistemas Pequeños Descentralizados (Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitarios para Zonas Rurales).

En zonas rurales que cuentan con tratamiento particular prevalecen los sistemas individuales de disposición de aguas residuales en el entorno inmediato, involucrando la mayoría de ellos algunas variaciones de disposición subsuperficial (drenes de infiltración, pozo absorbente, etc.).

Como se observa en el cuadro anterior, una de las tecnologías con mayor difusión en sistemas pequeños y descentralizados lo constituyen las fosas sépticas, por lo que a continuación se definirán las principales características, consideraciones técnicas y criterios de diseño.

i Fosas Sépticas.

Las fosas sépticas están diseñadas para recibir las descargas de aguas servidas desde residencias particulares u otras instalaciones que no cuenten con red de alcantarillado. Estos pueden ser tanques prefabricados o contruidos in situ, los cuales funcionan como reactor combinado tanto de sedimentación y desgrasado como de almacenamiento de lodos. Los lodos almacenados en este sistema son digeridos por procesos anaeróbicos sin mezcla ni calentamiento.

➤ Características.

Como se mencionó en el numeral 4.2.1., la fosa séptica corresponde a un tratamiento primario, el cual alcanza un nivel de remoción entre 75-80 % en términos de sólidos suspendidos y entre 10-25% en términos de DBO. El cuanto al proceso que tiene lugar en la componente, los sólidos sedimentables que se encuentran en el afluente forman una capa de lodo en el fondo de la fosa séptica. Las grasas, aceites y partículas ligeras tienden a acumularse en la superficie donde forman una capa de espuma flotante. El efluente resultado de este proceso puede destinarse en campos de infiltración (si la población aportante es menor a 100 habitantes) o ser sometida a un tratamiento complementario.

Dentro de la fosa séptica, además de presentarse componentes de tratamiento físico (sedimentación y desgrasado) se observa un proceso biológico, donde la materia orgánica depositada en el fondo se expone a una descomposición anaeróbica facultativa. El proceso de descomposición genera compuestos y gases más estables como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico. El lodo resultado de estos procesos está constituido por elementos con una muy baja velocidad de descomposición (lignina e hilachas provenientes del lavado de prendas) generando en definitiva una acumulación.

En las fosas sépticas es común la formación de gases como el sulfuro de hidrógeno, este tipo de gas presenta un olor muy fuerte y característico, pero no es común el desprendimiento de estos olores al entorno inmediato. La eliminación de estos olores se realiza por la combinación de estos gases con los metales presentes en el medio, lo que originan sulfuros metálicos insolubles que se acumulan en los sólidos que sedimentan. Las burbujas (gas) producidas por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente en el fondo genera un aumento de la capa superior de espuma, esto producido por el ascenso de pequeñas partículas en conjunto con los gases. La acumulación de lodo y espuma disminuye de gran manera la capacidad volumétrica efectiva del estanque, lo que hace fundamental realizar la extracción periódica del contenido del tanque conforme a un programa predeterminado.

Uno de los problemas más importantes en la operación de este sistema es el arrastre de sólidos, aceites y grasas, lo que produce un descenso rápido de la capacidad de asimilación de la carga hidráulica de los campos de vertido del efluente, dando origen a zonas húmedas en los sectores de las zanjas de infiltración, ocasionando acumulación del afluente sin asimilación. Un método efectivo para reducir la cantidad de sólidos presentes en el efluente, consiste en la instalación de un filtro o tamiz, el cual deberá poseer una gran área para evitar su colmatación rápida y de ser necesario, el tamiz deberá ser retirado para labores de limpieza.

➤ **Consideraciones Técnicas.**

Se debe considerar que el uso de fosas sépticas herméticas y el tamizado del efluente son dos características muy importantes en la versión moderna de la Fosa Séptica (Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales, SUBDERE).

Las principales consideraciones técnicas que se deben tener en cuenta para la construcción, instalación y puesta en marcha son las siguientes.

- **Configuración:**

La configuración clásica de una fosa séptica cuenta con dos cámaras donde la primera cámara ocupa dos terceras partes del volumen total del estanque. En el primer compartimiento tiene lugar la sedimentación y en el segundo la digestión²⁰. En la

²⁰ Información disponible en la página web de Remosa (<https://www.remosa.net/es/productos/depuracion-de-aguas-residuales-2/index.htm>)

actualidad los proveedores ofrecen variaciones de la fosa séptica, sumando un tercer compartimiento enfocado en la clarificación o filtración del efluente.

○ **Integridad Estructural.**

El correcto funcionamiento de una fosa séptica, depende directamente de su integridad estructural. En el caso de una fosa construida in situ, la integridad estructural dependerá del tipo de refuerzo de acero, de la composición de la mezcla de concreto y de su método constructivo, los cuales deberán cumplir las exigencias y normas establecidas.

En el caso de las fosas prefabricadas, estas tienen un estándar y diseño definido, en la ilustración 5 se detallan algunas de las consideraciones de diseño que aseguran su integridad estructural y operacional.



Ilustración 5: Esquema Básico Fosa Séptica Prefabricada (Infraplast, Catalogo General).

○ **Impermeabilización.**

Independientemente de la materialidad de la fosa séptica, esta debe poseer resistencia estructural y ser impermeable para evitar fugas del contenido, en especial cuando existen

etapas posteriores de tratamiento como filtros lecho empacado intermitente y con recirculación o se utilicen alcantarillas a presión.

El ingreso de aguas subterráneas a la fosa séptica sin impermeabilización genera las siguientes consecuencias:

- Interrupción del proceso de digestión anaeróbica que se desarrolla dentro de la fosa séptica.
- Sobrecarga hidráulica de los sistemas de disposición en campos de infiltración, provocando la acumulación del efluente en la superficie del suelo.
- Sobrecarga hidráulica significativa en los procesos de tratamiento subsiguientes.

Para comprobar que la fosa séptica se encuentra adecuadamente impermeabilizada (necesario para su correcto funcionamiento, daño al medio ambiente y tratamiento posteriores) es necesario realizar “Pruebas de Permeabilidad e Integridad estructural”. Las pruebas hidrostáticas se realizan en el lugar de emplazamiento (instaladas), llenando con agua y aguardando por 24 horas. Si al cabo de 24 horas no existen fugas, se puede aceptar preliminarmente. Pero en el caso de las fosas de concreto, dado que este absorbe una cantidad de agua, es conveniente volver a llenar y esperar por 24 horas, de modo de verificar las pérdidas. Si las pérdidas son del orden de los 4 litros (1 galón) de agua, la fosa no es hidráulicamente adecuada y no se acepta su funcionamiento.

➤ **Criterios de Diseño.**

Para el diseño de las fosas sépticas se han desarrollado varias relaciones empíricas para estimar su volumen, llegando a una conclusión por varios autores de un tamaño mínimo de 2.8 m³. Pese a esas estimaciones, el volumen dependerá directamente del caudal del afluente al sistema, el cual estará compuesto por aguas servidas, aguas de infiltración y aguas lluvias, aporte de RILES, etc.

No obstante, más que aceptar los valores mínimos o recomendados, el diseño de la fosa séptica debe considerarse fundamentalmente como criterio de diseño el periodo de retención de masa líquida, que es generalmente 1 día. En la tabla n°13 se encuentran los principales criterios a utilizar y sus valores comúnmente adoptados.

Parámetro de Diseño	Unidad	Valor
Numero de compartimientos		2
Periodo de retención masa liquida	días	1
Coef. reducción volumen lodo digerido		0.25
Contribución Lodo	l/hab/día	1
Periodo almacenamiento lodo	días	365
Coef. reducción volumen lodo en digestión		0.5
Periodo digestión	días	60

Tabla 13: Criterios de Diseño para el Dimensionamiento de una Fosa Séptica (Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitarios para Zonas Rurales).

Con las variables anteriormente expuestas se puede obtener un volumen mínimo de diseño, pero se debe considerar que las variaciones diarias y horarias de algunos parámetros obligaran considerar un volumen adicional. Adicionalmente, determinados criterios de diseño adoptados pueden tener variaciones producto de las características de la población a servir (contribución de lodo, etc.) y de las aguas residuales que generen (coef. reducción del lodo digerido y del lodo en digestión, etc.).

Considerando lo anterior, se recomienda adoptar un 20% de volumen adicional, con el fin de poder suplir las variaciones de la mayoría de los parámetros. Todos estos dimensionamientos deberán considerar lo establecido en el DS 236/26 (Reglamento de Alcantarillas Particulares).

➤ **Condiciones de Vertido.**

El vertido del efluente tratado obedece a ciertas condiciones dictadas por el nivel de la napa subterránea, ciertamente el vertido puede ser a través de cámaras filtrantes (drenes), cámaras de contacto o cámaras absorbentes (pozo absorbente).

En el caso de este estudio, los efluentes son descargados por medio de zanjas de drenaje, las cuales dependen de gran manera dentro de otros parámetros del nivel de la napa freática. A continuación, se entregarán las componentes unitarias sujetas a tres condiciones de profundidad de napa (Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales, SUBDERE).

Napa Freática a más de 2 metros de cota de terreno:

- Fosa Séptica Vertical de 2.000 litros mínimo.
- Drenes de infiltración (mínimo 25 metros con K_5 de 36 lts/m²/día).

Napa Freática entre 1 y 2 metros de cota de terreno:

- Fosa Séptica Vertical de 2.000 litros mínimo.
- Cámara de Decantación de 1.000 litros.
- Cloración.
- Drenes de repartición (mínimo 25 metros con K_5 de 36 lts/m²/día).

Napa Freática a menos de 1 metros de cota de terreno:

- Fosa Séptica Vertical de 2.000 litros mínimo.
- Cámara de Decantación de 1.000 litros.
- Cloración.
- Elevación.
- Sistema de disposición.
- Drenes de infiltración (mínimo 25 metros con K_5 de 36 lts/m²/día).
- Red de Riego.

4.3.3. Tecnologías de Tratamiento de Aguas Servidas Aplicables a Sistemas Centralizados Rurales.

Las tecnologías más utilizadas en sistemas centralizados aplicables a localidades semidispersas o aglomeradas son básicamente las mencionadas en el numeral 4.2.2. Donde las alternativas de tratamiento que cumplen con los estándares necesarios son las de tipo convencional, y no convencional, excluyendo totalmente las de tipo primario químicamente asistido.

4.3.3.1. Sistemas de Tratamiento Del Tipo no Convencional.

Como se mencionó anteriormente, las alternativas de tratamiento del tipo no convencional son en general sistemas naturales, sin variables operativas que permitan controlar el sistema en el caso de una desestabilización de los parámetros (temperatura, calidad del afluente, etc.) y con la necesidad de grandes áreas de terreno para su implementación. Básicamente, estos sistemas no son utilizados cuando se debe cumplir con la calidad del efluente exigida por la normativa vigente (DS 90/2000 y DS 46/2002), por lo anterior, este tipo de sistema no es relevante para este estudio.

4.3.3.2. Sistemas de Tratamiento del Tipo Convencional.

Las alternativas de tratamiento de aguas servidas de tipo convencional son en general sistemas mecanizados, que cuentan con variables operativas que permiten controlar la calidad del efluente vertido de forma estable, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente, en especial el DS 90/00. A diferencia de las del tipo no convencional, este tipo de tratamiento requiere áreas de terreno significativamente menores, lo que permite una mejor aplicabilidad a soluciones más ajustadas.

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

- Lodos Activados.
- Lechos Bacterianos.
- Filtros Biológicos (Biofiltros).
- Contactores Biológicos Rotativos (Biodiscos).
- Lagunas Aireadas.
- Cultivo Mixto.
- Lombrifiltro (Sistema Toha).

Todas las tecnologías mencionadas poseen un excelente comportamiento frente a la remoción de contaminantes y operatividad de los sistemas. Pero tecnologías como los Lodos Activados y las Lagunas Aireadas no son aplicables, dado que las poblaciones en estudio no tienen la envergadura necesaria para cumplir los requerimientos de afluentes (caudal). Tampoco son aplicables tecnologías como Biofiltros, Lodos Activados Compacto, Contactores Biológicos Rotativos, Lechos Bacterianos y los de Cultivo Mixto. Esto producto de su alto costo de inversión y operación, además de la especialización requerida para operar y mantener dichos sistemas.

Como se menciona en el numeral 4.2.2., la tecnología de Lombrifiltro se encuentra presente en más de 90 plantas a lo largo de Chile, esto producto a que posee grandes ventajas tanto de diseño, mantención y operación, en comparación a las tecnologías anteriores. A continuación, se entregarán antecedentes generales, consideraciones constructivas, características de diseño y las principales ventajas y desventajas del Lombrifiltro.

➤ **Lombrifiltro.**

En términos generales, el Lombrifiltro corresponde a una adaptación del sistema tradicional de Lombricultura, definido como el conjunto de operaciones relacionadas con la cría, producción de lombrices y tratamiento de residuos orgánicos por medio de estas, para su reciclaje en forma de abonos y proteína.

El Lombrifiltro este compuesto fundamentalmente por 3 capas y lombrices del tipo *Eisenia Foetida*, este tipo de lombriz además de adaptarse óptimamente al cautiverio, posee características muy útiles. Este tipo de lombriz es una especie Eurifoga, la cual puede alimentarse de los más diversos desechos, especialmente los de tipo orgánico, caracterizándose por su gran voracidad. El nivel de

comida que ingieren este tipo de lombriz equivale al 100% de su peso corporal, del cual un 60% se expele transformándolo en humus, siendo el 40% restante en síntesis celular, respiración y otros procesos vitales. Además de las propiedades mencionadas, otra característica que hace posible este sistema de tratamiento, es la gran tolerancia a la aglomeración, pudiendo cohabitar entre 4.000 a 50.000 individuos por metro cuadrado, esto se hace fundamental dado el nivel de reproducción que poseen estas criaturas (cada 90 días se duplica su población) (AGLOFLOR, Manual Lombricultura).

La lombriz *Eisenia Foetida* no sufre de ningún tipo de enfermedad, no transmite enfermedad alguna, tiene la capacidad de vivir de 15 a 20 años en un criadero, siendo un animal con una gran capacidad de adaptación. Estudios de la Lombricultura afirman que el único y verdadero peligro para estas lombrices es el hombre, en efecto, solo el mal manejo reviste un peligro.

El proceso de tratamiento se inicia con una separación primaria de los sólidos gruesos, para lo cual se contemplan cámaras de reja manuales en el caso de plantas de menos tamaño y autolimpiantes en plantas de mayor magnitud. El efluente ya tamizado pasa por un tanque de homogenización, desde donde se impulsa para ser dispersados por aspersión sobre la superficie del lombrifiltro, en donde se produce un proceso de absorción de las partículas disueltas en el líquido. Estas partículas quedan retenidas en las capas filtrantes donde posteriormente son digeridas por las lombrices y la microbiología existente en el sistema.

Desde que el agua es esparcida sobre el filtro y sale del sistema transcurren aproximadamente 40 minutos. Este lapso es corto para que no se generen olores (el agua servida no alcanza a perder oxígeno suficiente para su descomposición) (Salazar, 2005).

Luego, el efluente del lombrifiltro es derivado a una cámara de desinfección, la cual puede ser por luz ultravioleta o cloración, en donde se logra la eliminación de las bacterias patógenas, con lo cual se cumple la normativa vigente de emisión.

El esquema típico de esta tecnología obedece al siguiente detalle según información recopilada del lombrifiltro y Sistema Toha²¹:

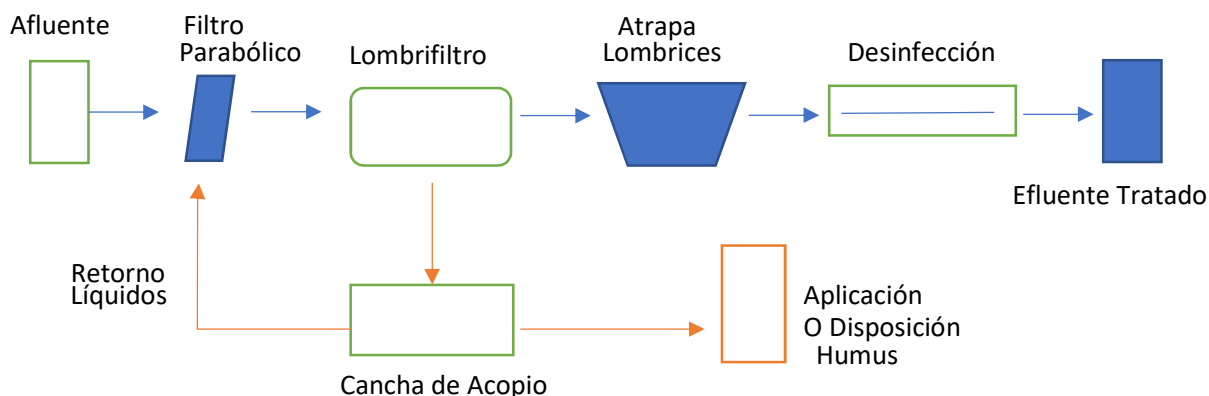


Ilustración 6: Esquema Sistema Lombrifiltro.

La aplicación y disposición de humus es uno de los aspectos más relevantes de esta tecnología, dado que equivale al 60% del alimento consumido por la lombriz y tiene la funcionalidad de abono orgánico sumamente importante. El humus tiene un aspecto a tierra suave, granulado e inodoro, con altos contenidos de nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y microelementos en cantidades cinco veces mayores a las de un buen terreno fértil. El humus al estar presente en el suelo actúa entregando ciertas características que mejoran aspectos físicos y químicos, dentro de ellas podemos mencionar las siguientes (AGROFLOR, Manual Lombricultura):

- Es una fuente nutricional y energética de los microorganismos edáficos.
- Regulador de la nutrición vegetal.
- Favorece la formación de agregados estables.
- Aumenta la capacidad de retención de humedad.
- Mejora y regula la velocidad de infiltración del agua.
- Ayuda a tamponar (disolución amortiguadora) los cambios de pH.
- Optimizar la acción de los fertilizantes al mejorar la eficiencia de recuperación y acción residual de estos.
- Favorece el normal desarrollo de las cadenas tróficas.
- Reduce substancialmente las necesidades de agua de los cultivos.

²¹ Información disponible en el sitio web de SistemaToha.cl (<http://sistematoha.cl/newSistematoha/>)

Lo más importante de los humos es la acción integrada de todos sus elementos físicos como químicos y allí sin duda no existe nada sobre la tierra que lo iguale. Se ha tratado de copiar y producir algunos elementos que lo constituyen, por ejemplo, los ácidos huminicos, pero no se ha logrado un producto artificial igualar al humus en su efecto global (AGROFLOR, Manual Lombricultura).

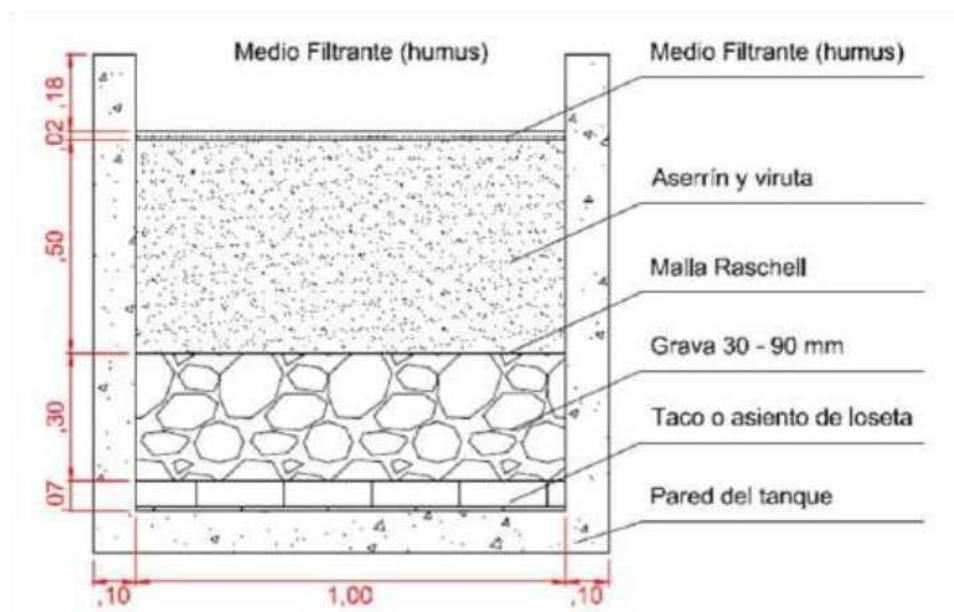


Ilustración 7: Esquema Capas del Lombrifiltro.

Como se observa en la ilustración 7, el lombrifiltro está constituido básicamente de un medio filtrante y un soporte. El medio filtrante es una capa de humus de espesor teórico de 2 cm (depende de la cantidad de lombrices) de profundidad, en el cual habitan los microorganismos y lombrices. En cuanto al soporte estará constituido por tres capas, la primera de aserrín o viruta, la segunda de ripio o grava y la tercera de bolones.

Las principales consideraciones constructivas del lombrifiltro son las siguientes:

- La primera capa de soporte también tiene la función de filtro, está constituida de aserrín o viruta de ulmo o tepa. Se debe preferir el aserrín de maderas blancas, las que se originan de maderas rojas contienen un alto porcentaje de taninos y lignina (el tanino es un veneno que puede matar a la lombriz) (Agroflor, Manual Lumbricultura).

- El espesor mínimo de la primera capa (aserrín) será por lo menos de 25 cm para lograr una franja operativa necesaria de la lombriz, además esta capa tiene como finalidad principal servir de alimento a las lombrices en el caso eventual que la carga contaminante del afluente no sea suficiente.
- La segunda y tercera capa están constituidas por ripio, grava y/o bolones, donde son organizadas de mayor a menor tamaño, estas capas están destinadas al drenaje y aireación del sistema. En las piedras también se forma una flora bacteriana que digiere la materia orgánica que fluye por ellas y no fue retenida en las capas superiores.
- Entre los estratos de aserrín y gravas se dispone una malla tipo Raschell de 50%, cuya función es servir como elemento de separación y retención para el estrato de aserrín y lombrices.
- El radier o fondo falso deberá ser construido de hormigón con refuerzos de acero, con una pendiente (aproximadamente del 1%) que permita fluir el afluente hacia la canaleta de evacuación.
- Se colocarán sobre el radier pastelones de hormigón vibrado colocados sobre topes de algún material inerte y resistente, separados unos 2 cm. Sobre estos se colocarán los bolones de diámetro mayor a 2 cm, con el fin de que no pasen sobre ellos.
- En el perímetro interno del lombrifiltro se instalarán tubos de PVC del 110 mm, estos serán colocados verticalmente cada 2 metros y perforados con orificios (10mm de diámetro) que permitirán airear el falso fondo y las capas superiores de soporte.

Esta tecnología cuenta con criterios y parámetros de diseño que son semejantes a los de los sistemas en base a cultivo fijo por filtros biológicos, operando conceptualmente como un filtro de baja carga hidráulica con un medio mucho más fino (colmatable), el que actúa como filtrante y como soporte de la biomasa. La tendencia a la colmatación es controlada por las propias lombrices, que debido a su movimiento por el medio mantienen la permeabilidad del mismo.

Considerando lo señalado, las principales características para el dimensionamiento y mantención del sistema de tratamiento son las siguientes:

- Los criterios de diseño corresponden a la tasa superficial y carga orgánica volumétrica, adoptándose la que satisfaga a ambos.

Criterio	Unidad	Valor Característico
Carga Volumétrica	kgDBO/m ³ /d	0,2 – 0,3
Tasa Superficial	m ³ /m ² /d	0,6 – 0,8
Altura Lecho	m	1,0

Tabla 14: Criterios de Diseño Lombrifiltro (Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitarios para Zonas Rurales).

- Las cargas hidráulicas son menores que las de cualquier filtro biológico.
- El sistema permite cargas orgánicas altas, pero es preferible cargarlo con concentraciones de sólidos no mayores a 700 – 1.000 mg/l, ya que podría tender a colmatar la superficie del lecho.
- Al ser un tratamiento biológico es sensible variaciones de carga orgánica y parámetros químicos del afluente. Las variaciones bruscas de carga orgánica no constituyen un peligro, pero las variaciones de parámetros químicos o la descarga de sustancia tóxicas (insumos de aseo con alto porcentaje de contaminantes y metales pesados) debe ser evitado.
- Las temperaturas de funcionamiento oscilan entre los 3 a 40°C, debiendo considerar que, aunque las temperaturas ambientales sean bajas, la temperatura al interior del filtro está alrededor de 10 – 15°C debido a los procesos de combustión interna producto de la digestión bacteriana (temperatura ideal para las lombrices es de 15 a 25°C) (AGROFLOR, Manual Lombricultura).
- Para el caso de este estudio el pretratamiento (cámara de rejillas, tanque de homogenización y filtro parabólico) puede realizarse con un sistema de fosa séptica, la cual deberá poseer una cámara de rejillas en la entrada y una bomba elevadora de aguas servidas. La fosa funcionará de tanque sedimentador y la bomba triturará la materia orgánica, entregando un líquido homogéneo.
- Los sistemas empleados de distribución del agua servida en el lombrifiltro son en general del tipo riego con aspersores tipo Wofler y diámetro de salida entre 6 y 8 mm para evitar la obstrucción. Se debe usar previamente un tamiz separador de sólidos como por ejemplo del tipo parabólico estático de 0,5 mm de separación.
- Extracción de sólidos retenidos en el canastillo, se recomienda realizar labores de limpieza 2 veces por semana, en el caso de ser necesario aumentar la frecuencia.
- Limpieza periódica de los regadores para garantizar en todo momento una uniformidad del riego en la superficie.

- La limpieza del lecho requiere dedicación (mano de obra), siendo entre las actividades requeridas el “horqueteo”. El horqueteo es una actividad que consta de abrir el lecho con horqueta para mantener un esponjamiento adecuado y permitir que los sólidos retenidos en la superficie se incorporen al lecho.
- Desmalezar el lecho al detectar el crecimiento de algún tipo de planta.
- Al interior del sistema se genera humus de lombriz y se desgrada la viruta, debiendo primero ser retirado y la viruta ser repuesta a determinadas frecuencias (alrededor de 4 meses).
- La experiencia local muestra que la reposición anual de viruta es del orden del 20% del volumen, la que se realiza en forma totalmente manual.
- El lombrifiltro presenta alta eficiencia de remoción en términos de los parámetros de interés y tiene aplicación práctica en pequeñas instalaciones dado su buen comportamiento. A continuación, se muestra los niveles de remoción de parámetros de interés³⁰:

Parámetro	% Remoción
DBO	95
Nitrógeno	60 – 80
Fosforo	60 – 70
Coliformes Fecales	99
Aceite y Grasas	80
Sólidos Totales	95
Sólidos Suspendidos Volátiles	93

Tabla 15: Eficiencia Remoción Lombrifiltro (Sistema Toha, Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitarios para Zonas Rurales).

Las eficiencias de remoción de nitrógeno total y fosforo total son altas y pueden asemejarse a las de un lodo activado. En el caso del nitrógeno, el sistema presenta nitrificación casi completa, entendible a la luz de que, en su calidad de organismos vivos, las lombrices y la población microbiana presentes también requieren nutrientes para su metabolismo.



Ilustración 8: Lombrifiltro Pueblo Seco, San Ignacio, VIII Región (Sistema Toha).

En la ilustración 8 se muestra las instalaciones de un lombrifiltro, el cual está diseñado para tratar las aguas servidas de una población cercana a las 400 personas y un caudal cercano a los 60 m³/día. El efluente resultado de este tratamiento cumple con las normativas de emisión y es drenado a un cuerpo de agua superficial.

Las principales ventajas de este sistema de tratamiento son las siguientes:

- Bajos costos de operación.
- Mantención muy simple.
- Remoción de los principales parámetros orgánicos superiores al 90%.
- Los lodos producidos se constituyen en un subproducto que puede reutilizarse como mejorador de suelos o abono agrícola.
- Se necesita poco espacio para su implementación (el agua residual de 5 personas requiere solo 1 m² de biofiltro para su tratamiento).
- Diseño modular.
- El lecho filtrante no se impermeabiliza (las lombrices con su movimiento crean túneles que aseguran en todo momento una alta permeabilidad del filtro).
- No genera olores molestos.

Las principales desventajas de este sistema de tratamiento son las siguientes:

- Requerimiento de mayor superficie en tanto el sistema requiera mayor capacidad.

- No está en condiciones de recibir Riles con metales tóxicos o pesados.
- En climas extremadamente fríos puede afectar en la proliferación de las lombrices del lecho.
- Necesidad de incorporar viruta de madera para no alterar las bondades del tratamiento.

CAPITULO V: Comunidades en Estudio.

5 Población en Estudio.

Las comunidades en estudio corresponden a localidades semidispersas o aglomeradas, que actualmente cuentan con soluciones de recolección y tratamiento de aguas servidas en condiciones precarias. Las comunidades en estudio corresponden a la Villa el Futuro y Población el Carmen, ubicadas en la comuna de Las Cabras, sexta región, de las cuales se describirá el proceso de recolección, tratamiento y disposición final de aguas servidas que realiza la comunidad y el modo en que este afecta en la actualidad la salud de las personas, la producción agrícola, el entorno inmediato, etc. La información entregada en capítulos anteriores nos permitirá revelar la magnitud de impacto en los actores definidos y constituirá la base para proponer una solución integral de tratamiento de las aguas residuales domiciliarias que afectan negativamente a la comunidad.

5.1. Antecedentes Villa el Futuro del Carmen.

El loteo “El Futuro” está ubicada en el kilómetro tres de la ruta H-790, perteneciente a la comuna de Las Cabras, provincia de Cachapoal, sexta región. Esta villa cuenta con certificado de recepción (n°96) con fecha del 26 de mayo del 2008, y está constituida por 30 viviendas de categoría social. El loteo como tal este compuesto por terrenos de alrededor de 370 m² (14.8 m x 25m) y se estima una población circulante de al menos 150 personas (índice habitacional del sector rural 5 personas por vivienda).

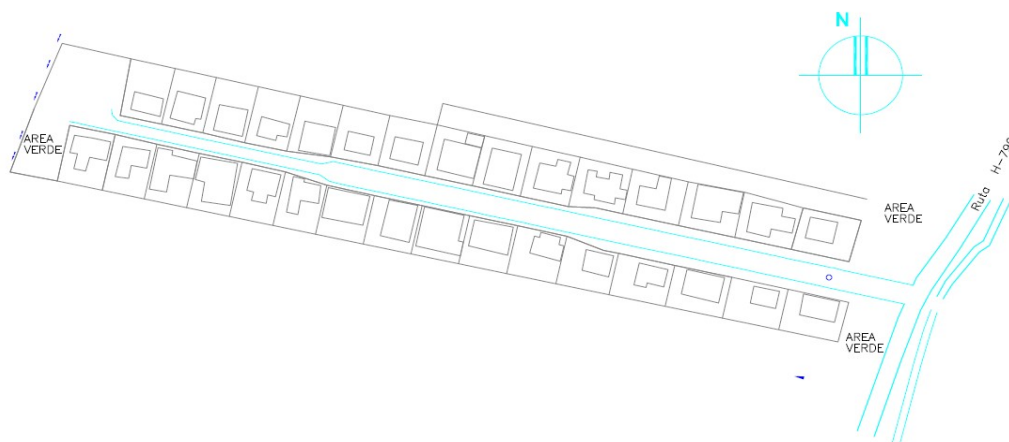


Ilustración 9: Detalle Loteo Villa el Futuro (Elaboración Propia).

La villa está situada entre previos agrícolas y en el sector poniente específicamente por un canal de regadío que lo separa de un parronal (producción de uva de exportación). Además, en el trasado original se proyectó tres áreas verdes que actualmente se están utilizando como sitios vacíos.

La principal actividad económica del sector rural lo compone la agricultura, específicamente en este sector el cultivo de viñedos y parronales, por lo que se estima que la mayoría de la población residente de la Villa el Futuro recibe ingresos por trabajos en esta área.

Actualmente esta población se encuentra en condiciones precarias de saneamiento debido al mal funcionamiento de su sistema de tratamiento y disposición final de sus aguas servidas, y sus habitantes no tienen la capacidad económica ni técnica para poder solucionar esta problemática. En la actualidad la municipalidad de la comuna de Las Cabras se encuentra proyectando una posible solución para mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta linda localidad.



Ilustración 10: Villa el Futuro (Fotografía Referencial).



Ilustración 11: Viviendas con Solución Particular de Alcantarillado (Fotografía Referencial).

5.1.1. Tipo de Sistema de Recolección y Tratamiento de Aguas Servidas.

La Villa el Futuro en la actualidad no cuenta con ningún tipo de tratamiento de aguas residuales colectivo, sino que cada vivienda posee alcantarillado particular mediante fosa séptica (tratamiento primario) y zanja de drenaje (disposición final). Este tipo de proyecto de alcantarillado particular cuenta con la aprobación del Secretario Regional Ministerial de Salud de la Sexta Región, resolución n°2294 (anexo A) que considera entre otros puntos lo siguiente:

- Se deja establecido que el proyecto de alcantarillado particular aprobado contempla, fosa séptica prefabricada, con una capacidad de 2,35 m³/día, para un total de 6 personas y disposición final en zanja de drenaje.
- Se deja establecido como responsable de la mantención y operación de los sistemas de tratamiento que se regularizan, al propietario identificado en la resolución.
- Los cálculos del sistema que se aprueba por esta resolución, son de responsabilidad del proyectista.

Lo anterior mencionado entrega responsabilidades al proyectista y al dueño de la vivienda, tanto para el diseño, mantención y operación de dichos sistemas. En cuanto al diseño de esta solución particular, a continuación, se entregará el detalle de la memoria de cálculo, planos, consideraciones

de diseño y mantención (anexo A) establecidas por el proyectista para el correcto funcionamiento de este sistema.

i Memoria de Calculo.

➤ **Cálculo de Fosa:**

- N° de personas = 6
- Dotación (viviendas sociales) = 150 lts/hab/día.
- Caudal (Q) = 900 lts/día.
- N° de compartimientos = 1
 - *Se considera el 20% + aporte de lodos (180 lts/día).
 - *Se considera tiempo de retención de 24 horas (1 día).

➤ **Volumen Fosa (efectivo).**

- Volumen Total = 2500 lts.
- Volumen Útil = 2350 lts.
- Diámetro = 1.3 m.
- Altura = 1.4 m.
- Largo = 2.5 m.
 - *Material polietileno de alta densidad.
 - *Se considera tiempo de retención de 24 horas.

➤ **Cálculo de Drenes.**

- Tiempo de prueba = 7 minutos.
- Índice de absorción = 70 lts/m²/día.
- Superficie necesaria $(900/70) = 12.85 \text{ m}^2$.
- Largo del Dren (teórico) = 16.07 m.
 - *Se considera un dren de 18 metros en total.

ii Planos.

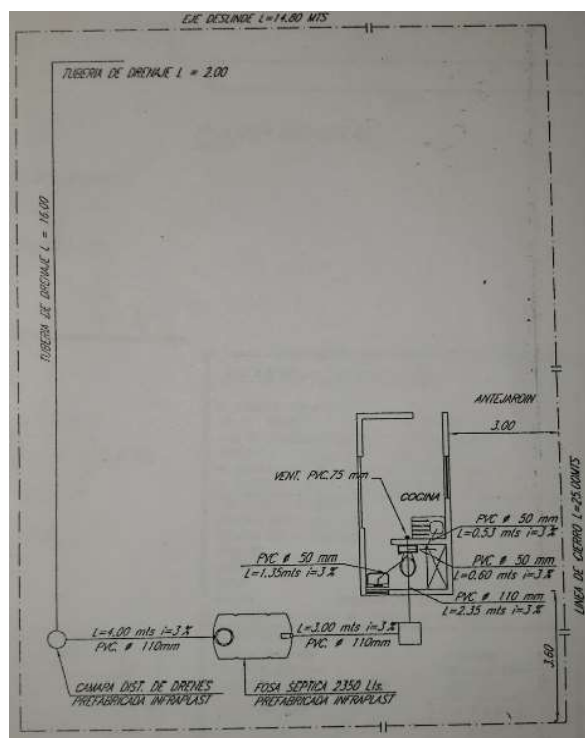


Ilustración 12: Planta Solución Alcantarillado (Anexo A).

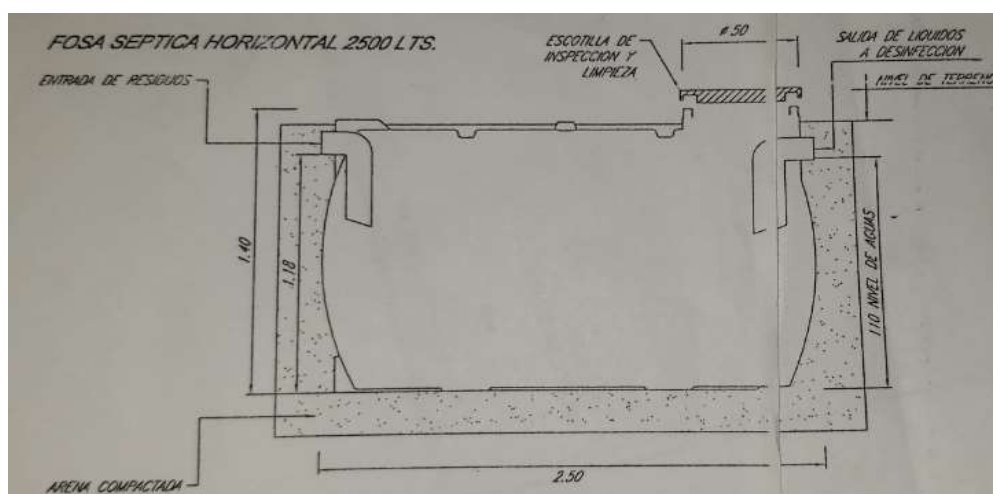


Ilustración 13: Elevación Lateral Fosa Séptica 2.500 litros (Anexo A).

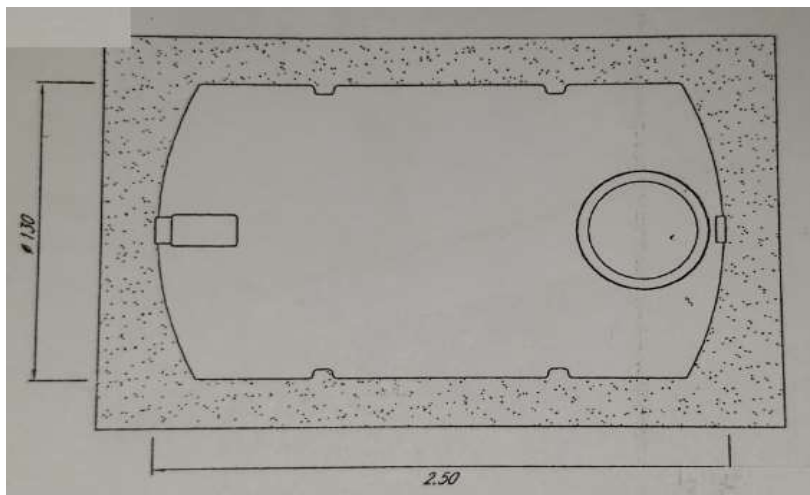


Ilustración 14: Planta General Fosa Séptica (Anexo A).

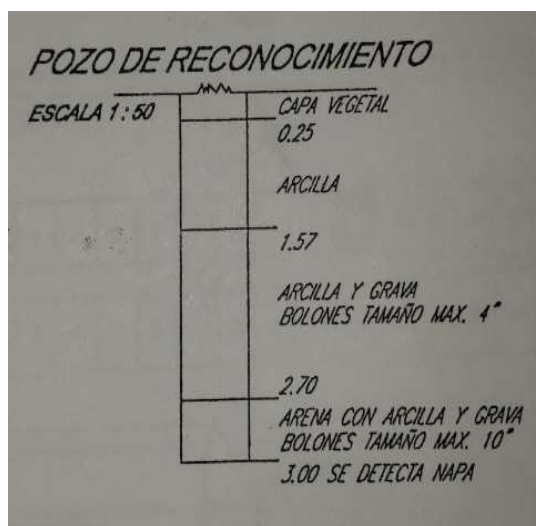


Ilustración 15: Pozo de Reconocimiento (Anexo A).

CUADRO DE U.E.H.

ARTEF.	CANT.	lts/min	TOTAL
WC	1	3	3
Lo	1	1	1
BLL	1	2	2
Lp	1	3	3
TOTALES	4		9

Ilustración 16: Calculo de Unidades Equivalencia Hidráulica (Anexo A).

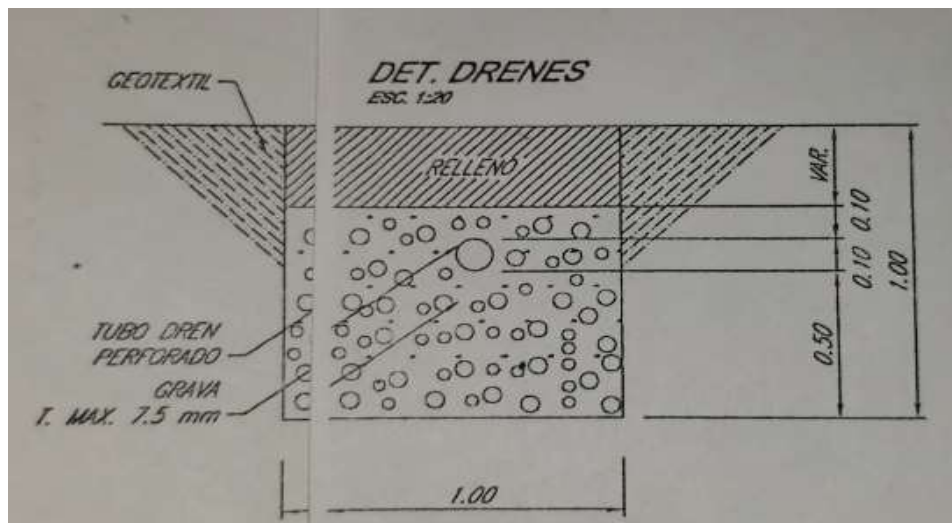


Ilustración 17: Detalle Drenes (Anexo A).

iii Consideraciones de Diseño y Mantenimiento.

➤ Instalación Fosa:

- Sobre superficie de arena compacta de 20 cm.
- Llenar con agua antes de llenar los costados.
- La tapa queda a la vista.

➤ Notas:

- La fosa séptica debe limpiarse cada 2 años.
- La solución que muestra el plano solo tiene carácter informativo por lo que será responsabilidad del contratista, antes de iniciar la colocación de las cañerías hacer un replanteo de las cotas, por lo tanto, la solución definitiva se deberá dar en terreno siguiendo el criterio planteado en el proyecto.
- Cualquier modificación al proyecto deberá ser aprobado por el ITO, arquitectura y proyectista.
- La profundidad de la nata es de 3.00 m.

5.1.2. Comprobación de Variables de Diseño.

Como se mencionó en el numeral anterior, los cálculos que fueron aprobados son de total responsabilidad del proyectista, es por lo anterior que es necesario replantear el sistema de tratamiento, teniendo especial rigurosidad de verificar los criterios y parámetros con los cuales fueron diseñados. Entre los parámetros a verificar se encuentra la cota de la napa freática, índice de absorción, cálculo de volumen útil y geometría de la fosa séptica (cumpla la DS 236/26), cálculo de drenes, dotación, etc. Además, se entregarán antecedentes para el correcto diseño de estos sistemas de tratamiento y el detalle de consideraciones que cambiaron desde el diseño de estos sistemas.

Para el correcto dimensionamiento de las fosas sépticas, existen fórmulas aplicables para este estudio que relacionan el número de personas servidas, el periodo de retención y el espacio adicional para la acumulación de lodos. A continuación, se entregarán las tablas y formulas a utilizar para recalcular el volumen y geometría de la fosa séptica, además de entregar antecedentes para el diseño de los lechos de drenaje (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).

i Volumen Fosa Séptica:

$$Vf = N * ((D * T) + (100 * Lf))$$

✓ Donde:

- Vf = Volumen de la fosa.
- N = Número de Habitantes Servidos.
- D = Dotación de agua, tabla n°16.
- T = Periodo retención en días, tabla n°17.
- Lf = Contribución de lodos, tabla n°16.

ii Caudal:

$$Q = N * D$$

✓ Donde:

- N = Número de Habitantes Servidos.
- D = Dotación de agua, tabla n°16.
- Q = Caudal.

iii Ancho Fosa Séptica:

$$A = \sqrt{Vf/2h}$$

✓ Donde:

- A = Ancho de la fosa en metros.
- Vf = Volumen de la fosa en m³.
- H = Altura de la fosa en metros, tabla n°18.

iv Longitud de Fosa Séptica:

$$L = 2A$$

✓ Donde:

- L = Largo de la fosa en metros.
- A = Ancho de la fosa en metros.

v Longitud del Drenaje:

$$L = (N * D) / (A * K5)$$

✓ Donde:

- L = Longitud del drenaje.
- N = Número de habitantes servidos.
- D = Dotación de agua, tabla n°16.
- A° = Ancho zanja.
- K5 = Coeficiente de absorción, tabla n°19.

vi **Tablas:**

Tipo de Edificio	Unidad	Dotación (D)	Contribución de Lodos (Lf)
Ocupantes Permanentes			
Hospitales	Lts/Lecho/Día	250	0,45
Departamentos	Lts/Hab/Día	150	0,27
Residencias	Lts/Hab/Día	150	0,27
Escuelas (Internados)	Lts/Hab/Día	150	0,27
Casas Populares Rurales	Lts/Hab/Día	120	0,216
Hoteles sin Incluir Cocina y Lavandería	Lts/Hab/Día	120	0,216
Alojamiento Provisorio	Lts/Hab/Día	80	0,144
Ocupantes Transitorios			
Fabricas (Desechos Domésticos)	Lts/Operario/Día	70	0,126
Escuelas	Lts/Hab/Día	50	0,09
Edificios Públicos y Comerciales	Lts/Hab/Día	50	0,09
Restaurantes	Lts/Colación/Día	25	0,045
Cines y Teatros	Lts/Butaca/Día	2	0,0036

Tabla 16: Contribución de Lodos Según Dotación de Agua (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).

Caudal en Lts/Día	Periodo de Retención (T) Día
0000 a 6.000	1,00
6.001 a 7.000	0,88
7.001 a 8.000	0,80
8.001 a 9.000	0,75
9.001 a 10.000	0,70
10.001 a 11.000	0,66
11.001 a 12.000	0,62
12.001 a 13.000	0,58
13.001 a 14.000	0,54
Mayor a 14.000	0,50

Tabla 17: Periodo de Retención en Días, Según Caudal en lts/día (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).

Caudal (Lts/Día)	Profundidad Útil, (H) en Metros
000 a 750	1,00
751 a 2.250	1,20
2.251 a 3.000	1,40
3.001 a 4.500	1,75
4.501 a 6.000	2,10
6.001 a 7.000	2,50
Mayor a 7.000	2,54

Tabla 18: Profundidad de las Fosas Sépticas (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).

Tiempo en Minutos	K5 en lts/m²/día.
0	170
2,5	135
5	100
7,5	80
10	70
12,5	60
15	55
17,5	48
20	44
25	36
30	33
35	29
40	26
45	25
50	25
55	25
60 o mas	25

Tabla 19: Coeficiente de Absorción del Terreno K5, para Cañerías Filtrantes (Drenes) (Pacheco Castro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular).

1 Cálculo Volumen Fosa Séptica.

Para realizar el correcto cálculo de la fosa lo primero es definir las variables:

- Número de personas (N) = 6.
- Dotación según tabla n°16 (D) = 150 lts/hab/día.
- Contribución de lodos según tabla n°16 (Lf) = 0.27 lts/hab/día.

- ✓ Se estimo considerar el tipo de edificio como “Residencia”, se descartó “Casas populares rurales” dado que las viviendas cuentan con agua potable rural (APR) lo que incide en un mayor consumo de agua y por consiguiente una mayor dotación.

Luego de definir las variables, es necesario obtener el caudal estimativo para poder definir el periodo de retención apropiado:

- ✓ Si remplazamos de la fórmula de Caudal (Q) se obtiene lo siguiente.

$$Q = 6 * 150 \left(\frac{\text{lbs}}{\text{hab}} \right)$$

- ✓ Donde Q es igual a 900 lbs/hab/día, lo que según la tabla n°17 se encuentra en la primera fila, lo que nos entrega un periodo de retención (T) de 1 día.

Ya con el número de habitantes, la dotación, contribución de lodos y el periodo de retención, podemos obtener el volumen de la fosa:

- ✓ Si remplazamos en la fórmula de Volumen Fosa (Vf) se obtiene lo siguiente.

$$Vf = 6 * ((150 * 1) + (100 * 0,270))$$

$$Vf = 1.062 \text{ lbs.}$$

$$Vf = 1,062 \text{ m}^3$$

- ✓ Se considera un aumento del volumen de un 20%, este aumento se debe a posibles variaciones de las características de la población a servir y de las aguas residuales que se generen.

$$\text{Volumen Minimo} = 1,062 \text{ m}^3 * 1.2$$

$$\text{Volumen Minimo} = 1,2744 \text{ m}^3$$

Ya obtenido el volumen mínimo de la fosa séptica, es necesario calcular la geometría de esta, dado que además de poseer un volumen mínimo, esta debe cumplir ciertos criterios geométricos que la permitan cumplir con la normativa y por consiguiente tener un funcionamiento óptimo. Para realizar este cálculo es necesario obtener la altura (H) de la tabla n°18.

- Altura Útil Fosa = 1.2 metros.

- ✓ Se considero esta altura dado que el caudal obtenido anteriormente es de 900 Lts/Día.

Contando con todas las variables, es necesario partir calculando el Ancho de la fosa séptica:

- ✓ Si remplazamos en la fórmula de Ancho de Fosa Séptica (A) se obtiene lo siguiente.

$$A = \sqrt{(1,2744)/(2 * 1.2)}$$

$$A = 0,73 \text{ metros.}$$

Dado que la fosa séptica en estudio posee un solo compartimiento, el largo de ella puede ser estimado con la formula anteriormente entregada.

- ✓ Si remplazamos en la fórmula de Longitud de Fosa (L) se obtiene lo siguiente.

$$L = 2 * 0,73$$

$$L = 1.46 \text{ metros.}$$

Ya obtenidos la longitud de la fosa y el ancho, solo queda definir la altura total, la que deberá ser la altura útil más 25 centímetros como mínimo de claro libre Esta consideración es indicada por normativa (DS 236/26), la que tiene como finalidad entregar un espacio para contener gases y materiales flotantes.

- ✓ Bajo la consideración anterior, la geometría de la fosa séptica debería tener como valores mínimos los siguientes.

$$L = 1,46 \text{ metros.}$$

$$A = 0,73 \text{ metros.}$$

$$H = 1,45 \text{ metros.}$$

2 Cálculo de Lechos de Infiltración o Drenajes.

Para el correcto cálculo de la longitud de los drenes, es necesario definir el ancho del dren y el coeficiente de absorción K5. En cuanto al ancho de la zanja, esta se encuentra por proyecto y es de 0,8 metros (A), pero en relación a K5, este se tomó en terreno a cota de sello de dren en dos instancias. La primera toma K5 fue efectuada en el mes de enero del 2018 y la segunda en agosto del 2018, obteniendo los siguientes valores:

Muestra	Tiempo Medio a 2,5 cm. (minutos)
Enero 2018	
1	13.3
2	15
3	16.6
4	18.0
Agosto 2018	
1	21.3
2	24.5
3	27.6
4	30.3

Tabla 20: Calculo Tiempo Promedio Absorción a 2,5 cm.

- ✓ De la tabla anterior podemos obtener un tiempo promedio en enero de 15,73 minutos y en agosto de 25.1 minutos.
- ✓ Para este diseño se considerará el valor más desfavorable, el cual corresponde al obtenido en el mes de Agosto (invierno).
- ✓ $K5 = 55 \text{ lts/m}^2/\text{día}$ (tabla n°29).
- ✓ Si remplazamos en la fórmula de la Longitud del Drenaje se obtiene lo siguiente.

$$L = (6 * 150) / (0.8 * 55)$$
$$L = 20,45 \text{ metros.}$$

3 Consideraciones.

Dentro del diseño existen consideraciones que permiten dar factibilidad y un buen funcionamiento operativo de dichos sistemas, en el caso de este diseño se consideraron las siguientes:

- Profundidad de Napa = 3 metros bajo cota de terreno.
- Retiro de Lodos de la Fosa cada 2 años.

Como se observa en la tabla n°20, el tiempo de absorción varía según el mes que se toma, esto debido a la variación de la profundidad de la napa. En los meses de verano la napa efectivamente se encuentra a lo menos 3 metros bajo cota de terreno, pero en los meses de invierno esta condición se ve afectada, incluso llegando a encontrarse a un poco más de 1 metro bajo cota de terreno. esta condición hace que el diseño de los drenes no constituya una correcta solución para el vertimiento de los efluentes tratados sépticamente.

Todo sistema de tratamiento para que funcione óptimamente necesita la debida mantención, en el caso de la fosa séptica necesita de limpieza (retiro de lodos) a lo menos cada dos años. Esta mantención es esencial, pero en el caso de este estudio la mayoría de las viviendas (30 viviendas) no cumplen con este criterio, incluso desde su construcción no se les ha efectuado la correcta mantención.

5.1.3. Análisis Posibles Causas del Mal Funcionamiento del Sistema.

Para realizar un correcto análisis del mal funcionamiento de estos sistemas particulares de tratamiento, es necesario identificar las posibles causas y los problemas que estos originan. Para el caso de este estudio se analizarán los problemas originados por las condiciones de borde de los sistemas, por el diseño, el uso y la gestión del mantenimiento específicamente.

1 Condiciones de Borde.

- Índice de Absorción:

El índice de absorción o coeficiente de absorción (K5) indica la capacidad de absorción que posee el suelo por metro cuadrado en un determinado tiempo, específicamente para sistemas de infiltración (drenes). En el diseño se consideró este valor como una constante, pero dado los resultados obtenidos al realizar el ensayo en terreno en dos épocas del año distintas, se puede entender a esta condición como una variable.

La disminución de este parámetro conlleva a un aumento en la superficie necesaria para absorber el caudal diseñado y si a esto le sumamos que los espacios en el terreno son reducidos, se termina saturando el suelo y perdiendo por completo la capacidad de dilución de los contaminantes que este pudiese tener.

Básicamente los problemas que se generan son los siguientes:

- Mal diseño del sistema de infiltración.
- Saturación de los suelos produciendo olores indeseables (con mayor frecuencia en los meses de verano).
- Baja calidad de vida para la población.
- Saturación volumétrica de la fosa séptica provocada por la gran diferencia entre el caudal de ingreso y el caudal de salida (caudal de ingreso mucho mayor al caudal de salida).
- Contaminación medioambiental.
- Contaminación de fuentes de agua para el consumo humano y agrícola.

- Cota Napa Freática:

La profundidad de la napa permite seleccionar el método a utilizar para disponer el efluente del sistema de tratamiento. Para este caso, el sistema de tratamiento es primario (Séptico), por lo que el efluente posee una carga contaminante (patógenos, nitrógeno amoniacal, grasas y aceites, etc.) y un porcentaje de sólidos suspendidos considerable.

En el diseño se consideró una profundidad de napa mínima de 3 metros y se ingresó como una constante, pero basado en la variación del coeficiente de absorción, se puede entender a esta condición como variable. La profundidad disminuye en los meses de invierno llegando a ser menor a 1 metro (profundidad sello de dren), esta variación es producida por el aumento de las precipitaciones en los meses de invierno y la crecida de los caudales de agua. Ambos factores generan una saturación hídrica del suelo, que pueden generar un colapso de los drenes, llegando a incorporar agua a la fosa séptica.

Básicamente los problemas que se generan son los siguientes:

- Contaminaciones a los acuíferos subterráneos con bacterias patógenas responsables de una gran cantidad de enfermedades.
- Saturación de los suelos produciendo olores indeseables (con mayor frecuencia en los meses de verano).
- Esta población cuenta con APR (agua potable rural), por lo que la infiltración del efluente está provocando una contaminación en sus fuentes de agua.

- Contaminación de las fuentes de agua para la agricultura.
- Baja la calidad de vida de la población.
- Aumenta el caudal de ingreso a la fosa, generando un lavado de los lodos (aumento de los sólidos suspendidos colmatando el dren).

- Número de usuarios:

El número de usuarios del sistema permite obtener el caudal de diseño de la fosa séptica y de los drenes de infiltración. En el diseño se ingresó un valor de 6 personas, el cual se encuentra acorde dado que la densidad habitacional se encuentra entre 3 a 5 personas (CODAM, 2003 a 2016) respectivamente. Aunque se consideró un valor mayor a las medias estadísticas, se puede considerar un posible problema, originado principalmente en los hogares donde conviven dos o más grupos familiares. Para ese caso el número de habitantes se puede doblar, lo que genera un mayor caudal, cambiando completamente la envergadura del sistema de tratamiento.

Para el caso de este estudio no se considerará como una de las causas de su mal funcionamiento, solo se dejará el precedente de su importancia para el buen funcionamiento de cualquier sistema de tratamiento.

- Dotación:

La dotación es el caudal diario de aguas servidas generado por habitante, este caudal presenta variaciones dependiendo del uso o sector al cual se le asigne (residencia, hospitales, hoteles, etc.). La dotación nos permite calcular el caudal de diseño del sistema de tratamiento y disposición final de las aguas residuales, para el caso de este diseño se consideró un caudal de 150 lts/hab/día. El valor asignado para esta variable se encuentra acorde a los requerimientos asociados al tipo de vivienda, una variación significativa de este parámetro cambiaría drásticamente la envergadura del sistema de tratamiento.

- Contribución de Lodo:

Este parámetro se define como los litros de lodo diario aportado por habitante (lts/hab/día.), este aporte es en relación a la dotación diaria. Este parámetro es fundamental para el diseño volumétrica de la fosa séptica, tomando en cuenta que el lodo es retirado

cada dos años, al aumentar la tasa de aporte de lodo (cambio en la carga del afluente) el volumen de la fosa debería aumentar para cumplir la condición de mantención.

En el diseño se consideró el aporte de lodos y un 20% de sobredimensionamiento para el sistema, además el volumen de la fosa implementada es mayor al volumen mínimo. Si consideramos lo anterior, este parámetro no debería ser causante de problemas en su funcionamiento, pero si la carga contaminante del afluente es mayor (desechos sólidos como pañales, fibras sintéticas, papel higiénico, etc.), y la gestión del mantenimiento no es adecuada, cambiaría drásticamente la envergadura del sistema de tratamiento.

Básicamente los problemas que se generan son los siguientes:

- Disminución del volumen útil de la fosa séptica, generando arrastre de sólidos, aceites y grasas, lo que produce un descenso rápido de la capacidad de asimilación de la carga hidráulica de los campos de vertido del efluente.
- Se generan malos olores debido a una mayor concentración de sólidos en fosa séptica.
- Disminución del periodo de retención, generando efluentes con menor calidad de vertido.
- Contaminación de las fuentes de agua para la agricultura.
- Baja la calidad de vida de la población.
- Colmatación del sistema de infiltración, pérdida de absorción del efluente.

2 Diseño.

- Geometría Fosa Séptica:

Dentro del diseño de la fosa séptica, además de calcular el volumen útil mínimo que debe poseer, es necesario satisfacer algunos criterios geométricos enfocados a optimizar su funcionamiento. Dentro de estos parámetros geométricos se encuentra la Profundidad Útil (H), esta depende directamente del caudal de diseño. Para el diseño se consideró una altura de nivel de aguas de 1,10 metros, pero como se muestra en la tabla n°29 para el caudal de diseño la altura debería ser de 1,20 metros.

El Reglamento General de Alcantarillados Particulares (DS 236/26) entrega otro criterio geométrico aplicable en el diseño de la fosa séptica, el artículo 26 indica lo siguiente, “Entre la cara inferior de la cubierta de la fosa y el nivel máximo del agua, deberá dejarse un claro libre a lo menos de 25 centímetros, para contener los gases y las materias flotantes que puedan acumularse”. Tomando en referencia lo anterior, la altura total de la fosa séptica debería ser como mínimo 1,45 metros.

Ambos criterios no se cumplen en la geometría de la fosa proyectada, pero si tomamos en cuenta que la fosa proyectada tiene un volumen útil mucho mayor a volumen mínimo de diseño, esta variable no debería considerarse como un problema. Aun así, es necesario considerar la acumulación de lodos, esta condición genera una disminución considerable del volumen útil de la fosa séptica, lo que genera una disminución de la profundidad útil y por consiguiente una disminución del claro libre para la acumulación de gases y materias flotantes.

Básicamente los problemas que se originan son los siguientes:

- Arrastre de sólidos, aceites y grasas, lo que produce un descenso rápido de la capacidad de asimilación de la carga hidráulica de los campos de vertido del efluente.
- La disminución en la capacidad de asimilación origina zonas húmedas en los sectores de las zanjas de infiltración, ocasionando acumulación del afluente sin asimilación.
- Contaminación de las fuentes de agua para la agricultura.
- Baja la calidad de vida de la población.
- Saturación de los suelos produciendo olores indeseables (con mayor frecuencia en los meses de verano).
- Colmatación del sistema de infiltración, pérdida de absorción del efluente.
- Necesidad de retiro de lodos con mayor regularidad.

- Drenes:

Los drenes tienen como función principal verter aguas residuales por medio de infiltración subterránea, ocupando la capacidad de dilución y asimilación del suelo frente a los desechos del efluente. Para el diseño de este elemento es fundamental conocer el

caudal de diseño, el índice de absorción y la profundidad de la napa freática. El índice de absorción y el caudal de diseño condicionan el área requerida para la infiltración, y por consiguiente el largo requerido (tomando un ancho fijo). Para el caso de este diseño se proyectaron drenes de 18 metros, al verificar las variables se identificó que el largo de los drenes no era adecuado, por lo que la infiltración del efluente no es eficiente.

Aún más importante que lo anterior mencionado, la profundidad de la napa nos indica la factibilidad de elección del sistema de disposición final del efluente. Tomando en cuenta lo anterior y dado que la profundidad de la napa varía hasta menos de 1 metro de profundidad, se puede concluir que la solución proyectada (drenes) no es la más adecuada.

La problemática de este sistema no está dada por el mal diseño del sistema, tampoco tiene relación con el índice de absorción y la falta de área para la infiltración de las aguas servidas. En realidad, la causante de los problemas radica en la mala elección del sistema de disposición final de las aguas servidas, esta tecnología frente a estas variaciones en ningún caso tendrá un buen funcionamiento.

Básicamente los problemas que se originan son los siguientes:

- Saturación de los drenes por no contar con la superficie de absorción correcta.
- Saturación de los drenes con aguas provenientes de la capa freática.
- Nula capacidad de infiltración del caudal de salida (efluente) de la fosa séptica.
- La disminución en la capacidad de asimilación origina zonas húmedas en los sectores de las zanjas de infiltración, ocasionando acumulación del afluente sin asimilación
- Saturación de los suelos produciendo olores indeseables (con mayor frecuencia en los meses de verano).
- Mal funcionamiento de todo el sistema de tratamiento.

3 Uso.

- Carga del Afluente:

Para el caso de este estudio, el afluente corresponde a la descarga de aguas servidas estrictamente domiciliarias, las cuales poseen estimativamente la composición establecida en la tabla n°8. Si tomamos en cuenta que el sistema de tratamiento implementado es de tipo primario, el nivel de remoción de parámetros de interés (DBO, sólidos suspendidos, grasas, etc.) es considerablemente baja. Si a esta condición se le agrega la baja eficiencia actual del sistema, genera un efluente con una composición similar a la del afluente, generando un daño ambiental severo.

En la tabla n°8 se entregan un detalle de los contaminantes y su valor característico (cantidad estimativa) que están presentes en el agua residual común, pero no cuantifica algunos tipos de desechos que son vertidos. Dentro de ellos se encuentran los desechos sólidos como pañales, papel higiénico, hilachas de tejidos sintéticos, plásticos, desechos químicos, etc. Son estos contaminantes los responsables de taponar los conductos, entorpeciendo los procesos posteriores, además de generar un mayor aporte de lodos, los cuales tienen una composición mucho más complicada desde el punto de vista físico y químico. Es importante tener la consideración que ese tipo de contaminantes es perjudicial para cualquier tipo de tratamiento que se estime implementar, es por ello que es fundamental establecer un pretratamiento que puede retirar y generar un afluente con una composición acorde a la tabla n°8.

Básicamente los problemas que se originan son los siguientes:

- Mayor generación de lodos, lo que produce una disminución considerable de la capacidad volumétrica del sistema.
- Entorpecimiento de procesos posteriores como lechos de infiltración o la misma entrada a la fosa séptica.
- Generación de un efluente con una carga contaminante que no cumple con la calidad de diseño.
- Contaminación del suelo y la napa freática con compuestos químicos o organismos de alto nivel contaminante para la salud humana.
- Contaminación de los cursos de agua destinados a la agricultura.

- Genera una mayor cantidad de sólidos suspendidos colmatando los sistemas posteriores.
- Necesidad de mantenimiento en un menor periodo de tiempo.
- Generación de lodos con alta composición contaminante.
- Se generan malos olores producto de la composición.

- Cambio Ocupación de Suelo:

El diseño proyectado cuenta con los espacios necesarios para la implementación del sistema de tratamiento y disposición final, como se observa en la ilustración 9. El diseño considera espacios para la construcción de los distintos elementos del sistema como, cámara de inspección (antes de la fosa), cámara repartidora de drenes, colocación de la fosa séptica (con escotilla de inspección y limpieza) y la tubería de drenaje. Como se aprecia en la ilustración 12 (Planta Solución Alcantarillado), los terrenos cuentan con una superficie de alrededor de 370 m², lo que genera la necesidad de una buena distribución de todos los elementos. Además, si consideramos que la villa está constituida por 30 viviendas, las cuales se encuentran adosadas y cada una de ellas cuenta con la misma solución sanitaria, se puede considerar que el área total de la villa se encuentra saturada por el vertimiento de los desechos casi sin tratamiento.

Además de lo anterior, es necesario considerar el cambio en la ocupación de suelo que tienen gran parte de las viviendas de la villa. Las soluciones fueron diseñadas con una ocupación de suelo que les permite operar de forma correcta, pero si tomamos en cuenta que la mayoría de las viviendas han sido sometidas a ampliaciones (estacionamientos, dormitorios, bodegas, etc.) que incluso llegaron a tapar los elementos del sistema. En gran parte de las viviendas las ampliaciones cubrieron los drenes y las cámaras de inspección lo que hace imposible realizar una mantención ni un control adecuado para cuidar la correcta operación de dichos sistemas.

Básicamente los problemas que se originan son los siguientes:

- Imposibilidad de realizar la mantención y limpieza de los sistemas.
- Aumentar la saturación hídrica de los suelos, dado que no existe la evaporación de los desechos.

- Mayor proliferación de enfermedades por generación de humedad en las viviendas.
- Imposibilidad de generar cambios estructurales en los sistemas.
- La contaminación de los suelos y la napa subterránea de forma crítica, esto producto de la gran cantidad de vertido de contaminantes al suelo por las 30 viviendas y el escaso espacio para ello.
- Baja calidad de vida para los habitantes.
- Contaminación de los cuerpos de agua para uso humano y agricultura.



Ilustración 18: Cambio de Ocupación de Suelo (Ampliaciones).

4 Gestión del Mantenimiento.

- Retiro de Lodos:

El retiro de los lodos es una consideración fundamental para el correcto funcionamiento del sistema, dado que permite mantener la capacidad volumétrica útil de la fosa y con ello genera que el sistema tenga un comportamiento óptimo a lo largo del tiempo (duración del sistema séptico de a lo menos 20 años). Para el caso de este estudio

se proyectó una limpieza con un periodo de 2 años, la que permitirá al sistema funcionar de manera óptima.

Estos sistemas de tratamiento se encuentran en funcionamiento desde su recepción el 26 de mayo del 2018, por lo que llevan en funcionamiento alrededor de 11 años. Bajo esta consideración, se deberían haber realizado a lo menos 5 limpiezas de las fosas. Pero tomando en cuenta lo mencionado anteriormente (Cambio Ocupación de Suelo), la mayoría de los sistemas no tiene las mantenciones adecuadas, incluso llegando a no realizar ninguna desde la fecha de recepción. Esto complica el estado actual de los sistemas, llegando incluso a perder completo la capacidad volumétrica de la fosa, perdiendo el periodo de retención de diseño (1 día) y liberando los desechos a través de los drenes sin ningún tipo de tratamiento.

Básicamente los problemas que se originan son los siguientes:

- Disminución o perdida por completo de la capacidad volumétrica de la fosa séptica.
- Perdida del periodo de retención de diseño (1 día).
- Infiltración directa de los contaminantes al suelo y napa subterránea.
- Perdida de la componente de tratamiento (fosa séptica) del sistema.
- Arrastre de sólidos, aceites y grasas, lo que produce un descenso rápido de la capacidad de asimilación de la carga hidráulica de los campos de vertido del efluente.
- La disminución en la capacidad de asimilación origina zonas húmedas en los sectores de las zanjas de infiltración, ocasionando acumulación del afluente sin asimilación.
- Contaminación de las fuentes de agua para la agricultura.
- Baja la calidad de vida de la población.
- Saturación de los suelos produciendo olores indeseables (con mayor frecuencia en los meses de verano).
- Colmatación del sistema de infiltración, perdida de absorción del efluente.

5.1.4. Acciones para Mejorar el Funcionamiento del Sistema.

El sistema de tratamiento implementado en las 30 viviendas de la Villa el Futuro corresponde a un sistema séptico, que tiene alrededor de 11 años de operación. Estos tipos de sistemas tiene una vida útil de alrededor de 20 años, bajo esta condición estos sistemas pueden seguir operando sin ningún problema. Para poder seguir operado el sistema sería necesario tomar medidas para satisfacer las condiciones de borde de los sistemas, el diseño, el uso y la gestión del mantenimiento. Todas estas medidas tienen como única constante, confiar en la correcta ejecución de las obras efectuadas por el contratista que cumplan con lo estipulado en el proyecto.

Las medidas a tomar para mejorar el actual funcionamiento de los sistemas son las siguientes:

- Realizar un chequeo de todas las cámaras del sistema (inspección, repartición de drenes y entrada a la fosa) con el fin de ubicar las tapas y verificar el correcto funcionamiento.
- Realizar el retiro del lodo de las fosas sépticas.
- Verificar la integridad y hermeticidad de la fosa (verificar posibles daños producto de exceso de lodo).
- Generar un listado de los desperdicios que no deben ser arrojados a los sistemas de tratamiento y entregarlos a la población.
- Generar en la población la necesidad de cuidar el agua, con ello disminuimos la dotación y con ello el caudal.
- Colocar un sistema de pretratamiento (rejas) en la primera cámara para evitar el paso de solidos de mayor tamaño.
- Colocar un tamiz en la salida de la fosa o un sistema que permita la sedimentación, esto lograra clarificar el efluente para el proceso de infiltración.
- Si es posible medir la capacidad de absorción de los drenes.
- Si es posible realizar una extensión de los drenes para cumplir lo estipulado en el nuevo diseño.
- Realizar un catastro de las zonas más húmedas producto de la infiltración y realizar una metodología para solucionar el problema.

Pese a lograr mejorar el sistema, es necesario dejar claro que esta solución no es la más apropiada para la población, dado el crecimiento del sector rural se hace necesario un sistema centralizado de tratamiento. Los tratamientos particulares entregan una solución parche y generan en este caso una concentración de puntos contaminantes, esto porque el nivel de tratamiento que poseen los sistemas sépticos no cumple con la normativa vigente de emisión y actualmente estos sistemas tiene fecha de caducidad (vida útil de 20 años).

5.2. Antecedentes Población el Carmen.

La población “El Carmen” está ubicada en el kilómetro 53 de la Ruta 66, perteneciente a la comuna de Lasa Cabras, provincia de Cachapoal, sexta región. Este loteo cuenta con certificado de recepción (n°73) con fecha del 04 de junio del 1986, y está constituida por 43 viviendas de categoría social. El loteo como tal está compuesto por terrenos que varían desde los 180 a 210 m² y se estima una densidad de habitantes de 158,64 hab/Ha y una población circulante de 215 personas ((índice habitacional del sector rural 5 personas por vivienda).

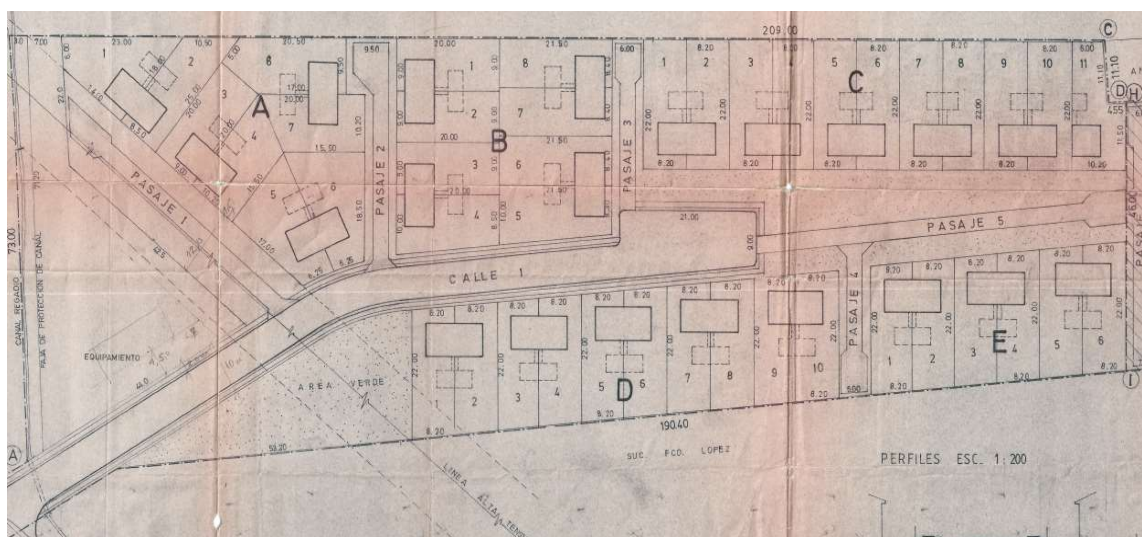


Ilustración 19: Detalle Loteo Población el Carmen (Anexo A).

La población se encuentra situada por previos agrícolas, casas habitacionales privadas y al sector oriente con un canal de regadío. En el trazado original se definieron los siguientes usos de suelo:

Uso de Suelo	Superficie M ²
Habitacional (lotes)	7.858,02
Equipamiento	1.208,30
Áreas Verdes	1.632,60
Calles y Pasajes	3.085,50
Franja Protección Canal	216,30
Total, Polígono ABCDHIA	14.000,72

Tabla 21: Detalle Superficie General (Anexo A).

La principal actividad económica del sector rural lo compone la agricultura, específicamente en este sector el cultivo de viñedos y parronales, por lo que se estima que la mayoría de la población residente en la Población el Carmen recibe ingresos por trabajos en esta área.

Actualmente esta población se encuentra en condiciones precarias de saneamiento debido al mal funcionamiento de su sistema de tratamiento y disposición final de sus aguas servidas, y sus habitantes no tienen la capacidad económica ni técnica para poder solucionar esta problemática. En la actualidad la municipalidad de la comuna de Las Cabras se encuentra proyectando una posible solución para mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta linda localidad.

5.2.1. Tipo de Sistema de Recolección y Tratamiento de las Aguas Servidas.

La Población el Carmen cuenta con sistema de recolección y tratamiento de sus aguas servidas, este consta de colectores de Rocalit y una fosa séptica diseñada para satisfacer las necesidades de las 43 viviendas. Este sistema de tratamiento se encuentra operativo desde la fecha de recepción el año 1986, por lo que lleva en funcionamiento alrededor de 33 años. En cuanto al proyecto del sistema de tratamiento, no se cuentan con los respaldos del diseño de la fosa séptica y menos las consideraciones que fueron tomadas por el proyectista. Tampoco se puede medir el volumen de la fosa, dado que se encuentra enterrada y solo se puede acceder a ella por dos conductos que se encuentran ubicados a un costado de la Calle (ilustración 20), en una superficie supuestamente destinada a Área Verde.



Ilustración 20: Conductos de Inspección Fosa Séptica Población el Carmen.

En la actualidad el sistema de tratamiento está operando con un caudal (Q) mayor que el considerado en el diseño, esto debido a que el sistema de recolección de aguas servidas cuenta con 48 conexiones. Además del aumento del caudal cercano a un 11%, el sistema de recolección se encuentra en pésimas condiciones, los colectores de rocalit presentan varias filtraciones (la mayoría generada por los nuevos empalmes) provocando la expulsión de las aguas residuales a un costado de la calle.



Ilustración 21: Aguas Residuales Expulsadas a la Calle.

En la ilustración 22 se muestra el detalle de las 48 viviendas que utilizan el sistema de tratamiento y como vario la configuración del uso de suelo.

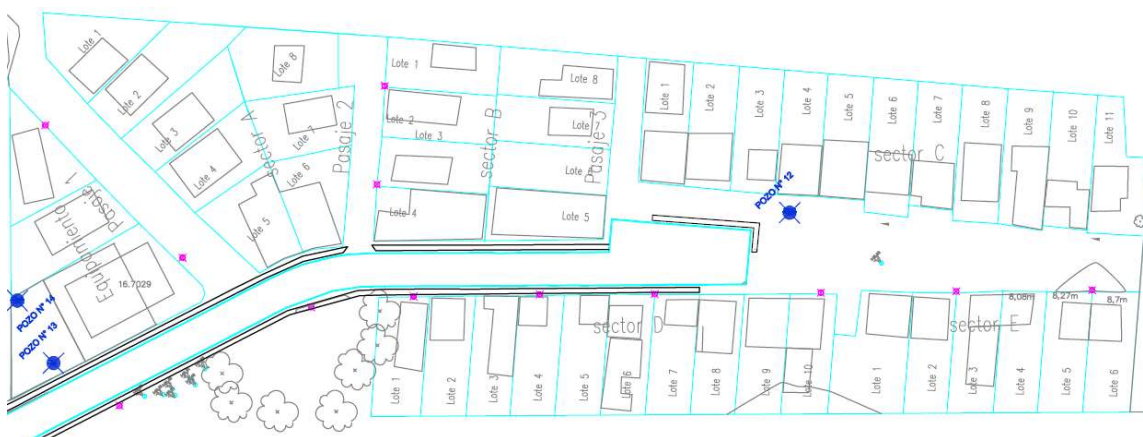


Ilustración 22: Detalle Configuración Población el Carmen.

En cuanto a la disposición de los efluentes provenientes de la fosa séptica, estos son vertidos a través de zanjas de infiltración (drenes). Tampoco se tiene información sobre el diseño de los drenes de infiltración, solo se puede registrar las dos cámaras repartidoras y ver la existencia de las tuberías.

5.2.2. Análisis de las Posibles Causas del Mal Funcionamiento del Sistema.

Para el caso de esta población no se realizó una comprobación de las variables de diseño, esto producto netamente del desconocimiento de las consideraciones de diseño como la cantidad de compartimiento de la fosa, volumen útil y dimensiones de los drenes. Estas consideraciones son esenciales para dimensionar un sistema de tratamiento, al no contar con ellas realizar un análisis no sería representativo.

Para realizar un correcto análisis del mal funcionamiento de este sistema centralizado de tratamiento, es necesario identificar las posibles causas y los problemas que estos originan. Para el caso se este estudio se analizarán los problemas originados por el uso y la gestión del mantenimiento específicamente.

1 Uso.

- Carga del Afluente:

Para el caso de este estudio, el afluente corresponde a la descarga de aguas servidas estrictamente domiciliarias, las cuales poseen estimativamente la composición establecida en la tabla n°8. Si tomamos en cuenta que el sistema de tratamiento implementado es de tipo primario, el nivel de remoción de parámetros de interés (DBO, sólidos suspendidos, grasas, etc.) es considerablemente baja. Si a esta condición se le agrega la baja eficiencia actual del sistema, genera un efluente con una composición similar a la del afluente, generando un daño ambiental severo.

En la tabla n°8 se entregan un detalle de los contaminantes y su valor característico (cantidad estimativa) que están presentes en el agua residual común, pero no cuantifica algunos tipos de desechos que son vertidos. Dentro de ellos se encuentran los desechos sólidos como pañales, papel higiénico, hilachas de tejidos sintéticos, plásticos, desechos químicos, etc. Son estos contaminantes los responsables de tapar los conductos, entorpeciendo los procesos posteriores, además de generar un mayor aporte de lodos, los cuales tienen una composición mucho más complicada desde el punto de vista físico y químico. Es importante tener la consideración que ese tipo de contaminantes es perjudicial para cualquier tipo de tratamiento que se estime implementar, es por ello que es fundamental establecer un pretratamiento que puede retirar y generar un afluente con una composición acorde a la tabla n°8.

Básicamente los problemas que se originan son los siguientes:

- Mayor generación de lodos, lo que produce una disminución considerable de la capacidad volumétrica del sistema.
- Entorpecimiento en la red de recolección, lechos de infiltración o la misma entrada a la fosa séptica por sólidos de mayor tamaño.
- Generación de un efluente con una carga contaminante que no cumple con la calidad de diseño.
- Contaminación del suelo y la napa freática con compuestos químicos u organismos de alto nivel contaminante para la salud humana.
- Contaminación de los cursos de agua destinados a la agricultura.

- Genera una mayor cantidad de sólidos suspendidos colmatando los sistemas posteriores.
- Necesidad de mantenimiento en un menor periodo de tiempo.
- Generación de lodos con altas composición contaminante.
- Se generan malos olores producto de la composición.

- Número de Usuarios del Sistema:

Todo sistema de tratamiento es diseñado bajo condiciones establecidas y se debería tomar las consideraciones necesarias para suplir un cambio en ellas. La cantidad de usuarios es una de las consideraciones más importantes para el proyecto, esto producto que nos entrega el caudal de diseño. Es común diseñar el sistema tomando en cuenta el crecimiento demográfico de la población y con ello estimar un porcentaje que permita soportar ese crecimiento durante la vida útil del sistema. En el caso anterior por ejemplo el proyectista tomo un 20% de sobredimensionamiento, con ello suplir lo anteriormente mencionado.

Tomando en cuenta lo anterior y teniendo en consideración que la cantidad de usuarios tuvo un alza cercana al 11% (de 43 a 48 conexiones), se puede estimar que el caudal tuvo una variación semejante. Esto conlleva a una saturación de la fosa y el sistema de disposición final (drenes), si a esto le sumamos la posibilidad que el diseño no tomara la consideración de sobredimensionamiento o que dado que el sistema tiene 33 años de operación dicha consideración quedaría fuera de parámetros.

Básicamente los problemas que se originan son los siguientes:

- Saturación del sistema de tratamiento y disposición de aguas servidas.
- Saturación de los sistemas de recolección de aguas servidas.
- Lavado de lodos generando arrastres contaminantes.
- Disminución del periodo de retención de las aguas residuales en la fosa séptica.
- Arrastre de sólidos, aceites y grasas, lo que produce un descenso rápido de la capacidad de asimilación de la carga hidráulica de los campos de vertido del efluente.

- La disminución en la capacidad de asimilación origina zonas húmedas en los sectores de las zanjas de infiltración, ocasionando acumulación del afluente sin asimilación.
- Contaminación de las fuentes de agua para la agricultura.
- Baja la calidad de vida de la población.
- Saturación de los suelos produciendo olores indeseables (con mayor frecuencia en los meses de verano).
- Colmatación del sistema de infiltración, pérdida de absorción del efluente.
- Necesidad de retiro de lodos con mayor regularidad.

2 Gestión del Mantenimiento.

- Vida Útil del Sistema:

Dentro de la gestión del mantenimiento es importante mencionar la limpieza de la red de recolección de aguas servidas, el retiro de los lodos de la fosa séptica y la comprobación de estado del sistema de infiltración. Los puntos mencionados anteriormente son importantes para una operación eficiente del sistema, pero las consideraciones mencionadas anteriormente obedecen a otro parámetro dentro del mismo diseño y que es representativo de la tecnología implementada.

La vida útil para este tipo de sistema séptico se encuentra alrededor de los 20 años, esta condición deja completamente fuera a la población en estudio. Esto debido a que el sistema implementado en la Población el Carmen lleva operando más de 33 años, lo que genera que esta solución de saneamiento este completamente fuera de parámetros.

Actualmente el sistema se encuentra con un caudal de operación mucho mayor al que se puede haber proyectado, puede poseer daños estructurales producto del tiempo de operación tanto del sistema de recolección, tratamiento y disposición final. Pero aún más importante, aunque el sistema tenga un funcionamiento óptimo, la calidad del efluente no cumple con ninguna normativa (DS 90/00), esto producto a que se diseñó bajo otras consideraciones de emisión.

Básicamente los problemas que se originan son los siguientes:

- Vertido de efluentes que no cumplen con la calidad establecida en la normativa vigente (DS 90/00).
- Sistema poco confiable producto de su baja integridad estructural.
- Imposibilidad de implementar mejoras dado que la tecnología cumplió su vida útil.
- Disminución de la capacidad volumétrica de la fosa séptica.
- Parámetros o consideraciones de diseño obsoletas y no aplicables al sistema.
- Todas las componentes del sistema presentan un mal funcionamiento producto de su tiempo en operación.
- Contaminación de las fuentes de agua para la agricultura y el uso humano.
- Baja la calidad de vida de la población.
- Saturación de los suelos produciendo olores indeseables (con mayor frecuencia en los meses de verano).
- Colmatación del sistema de infiltración, pérdida de absorción del efluente.

5.2.3. Acciones para Mejorar el Funcionamiento del Sistema.

El sistema de tratamiento y recolección implementado en las 48 viviendas de la Población el Carmen corresponde a un sistema séptico, que tiene alrededor de 33 años en operación. Este tipo de sistema tiene una vida útil estimada de 20 años, bajo esta condición y pese a todas las medidas que se pudieran implementar para mejorar su funcionamiento, este sistema se encuentra obsoleto. El sistema no cumple con la envergadura necesaria para realizar un tratamiento óptimo y tampoco con la calidad de emisión del efluente.

La acción más apropiada para mejorar el actual estado sanitario de los habitantes de esta población, es realizar un cambio total en la estructura del sistema. Esto implica la necesidad de cambiar los actuales colectores de rocalit por colectores de prefabricados de hormigón, cambiar la tecnología de tratamiento por uno que cumpla con las normativas de emisión y las necesidades de la población, y por último dependiendo de la tecnología seleccionada establecer el método para disponer de los efluentes sin provocar problemas medioambientales.

CAPITULO VI: Análisis y Conclusiones.

6 Análisis de las Posibles Soluciones a Implementar.

Para poder definir las posibles alternativas de tratamiento a implementar, es necesario tener claro el escenario en el cual estarán operando, y sobre todo las normativas que estos deben cumplir para asegurar la operatividad y eficiencia del sistema. En el sector rural, el escenario más usual de descarga de aguas servidas tratadas que deben cumplir con la normativa de emisión vigente (DS 90/00) lo constituyen la descarga a cuerpos fluviales de agua sin capacidad de dilución (tabla n°8), la que exige entre otros parámetros la remoción de nitrógeno (nitrógeno Kjeldahl total), factor limitante en la aplicabilidad de algunas tecnologías.

En este punto se definirán las alternativas de tratamiento que pueden dar cuenta de las condiciones de borde requeridas para el cumplimiento de la normativa aplicable. Para una visualización más integrada de la selección de las alternativas, se presenta a continuación un diagrama de decisión que permite seleccionar las tecnologías más adecuadas en función de los requerimientos de la normativa de emisión aplicable para este estudio (cuerpos de agua sin capacidad de dilución de contaminantes).

Para el caso de este estudio, las condiciones de borde están dadas por la tabla n°8, las que corresponden a la descarga a cuerpos de agua fluviales sin capacidad de dilución. Dentro de la normativa vigente (DS 90/00) esta consideración es la más restrictiva en cuanto a la calidad del efluente. Este escenario se constituye claramente en una limitante de las tecnologías a aplicar, para este caso las tecnologías que tiene el mejor comportamiento frente a estos parámetros restrictivos (ilustración 23) son los Lodos Activados por Aireación Extendida (compacto) y los Filtros Biológicos (lombrifiltro), dejando fuera a las Lagunas Aireadas por lo descrito en el numeral 4 .

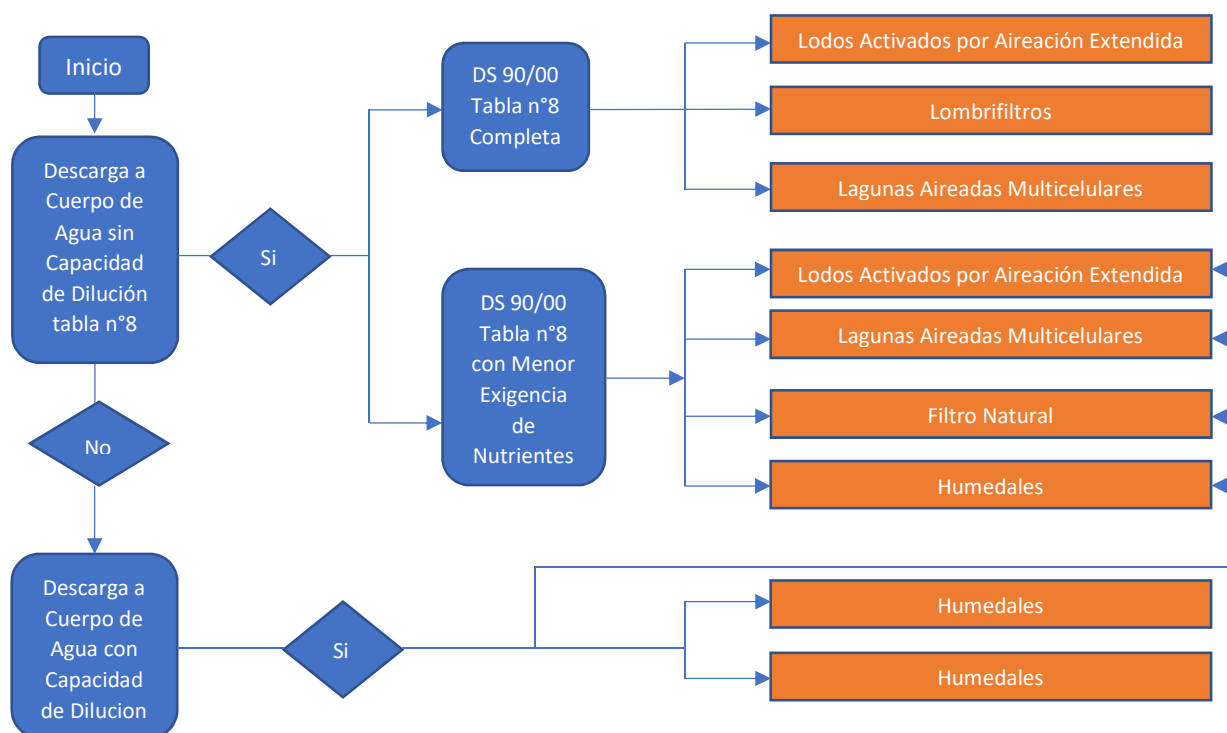


Ilustración 23: Diagrama de Decisión de Selección de Tecnología de Tratamiento de Aguas Servidas (DS 90/00).

Sus características pueden resumirse del siguiente modo:

- **Lodos Activados por Aireación Extendida.**

Cumple con los parámetros críticos establecidos por la normativa en forma independiente de la calidad del afluente y sin necesidad de incorporar componentes adicionales o variables que tornen la solución inviable técnica o ambientalmente.

- **Lombrifiltro.**

Tiene la capacidad de remover los principales parámetros de interés (tabla n°15), incluido el nitrógeno y es aplicable exitosamente en pequeñas comunidades, cuya eficiencia de remoción de los parámetros de interés es relativamente alta.

Las tecnologías anteriormente detalladas son las que poseen un mejor comportamiento en relación a la remoción de parámetros de interés y cumplen a cabalidad con lo estipulado en la

normativa vigente (tabla n°8). Ya definidas las tecnologías, es necesario realizar un análisis económico, ambiental, técnico y de gestión del mantenimiento de cada una de ellas, con el fin de escoger la alternativa más idónea para cada población en estudio.

6.1.1. Análisis Económico.

Para realizar un análisis económico correcto de las dos tecnologías seleccionadas en el numeral anterior, es necesario analizar los costos de inversión (construcción y terreno) y operación de cada una de ellas.

1 Costos de Inversión.

➤ Inversión Plantas:

Los costos de inversión para las plantas se enfocan netamente al diseño (ingeniería), construcción (costo directo, gastos generales y utilidades), inspección técnica de las obras y el montaje y puesta en marcha de los equipos. Cabe mencionar que además de los costos de construcción del sistema de tratamiento y disposición final, se considera la implementación de componentes unitarias comunes en todo tipo de planta (tratamiento preliminar, desinfección y deshidratación de lodos).

Bases de Cálculo		Costos de Inversión [M\$]	
Población (hab)	Caudal Medio (lts/s)	Lodos Activados (comp.)	Lombrifiltro
250	0,35	252.191	69.087
500	0,69	270.934	79.430

Tabla 22: Costos Referenciales de Inversión Plantas (SUBDERE, 2018).

*Caudal medio Villa el Futuro de 0,312 lts/s.

*Caudal medio Población el Carmen de 0.5 lts/s.

*Se tomo la tecnología de Lodos Activados, pero en su versión compacta.

- ✓ En cuanto a los costos, las tecnologías de Lodos Activados Compactos y Lagunas se exponen como tecnologías más caras, teniendo un costo referencial a menos 3 veces superior al Lombrifiltro.
- ✓ En cuanto a los costos, la tecnología más competitiva corresponde al Lombrifiltro, que posee un costo referencial por habitante de \$276.348 para una población de 250 habitantes y de \$158.860 para una población de 500 habitantes.

- ✓ Tanto para la tecnología de Lodos Activados y Lombrifiltro se observa que los costos por habitante son inversamente proporcionales a la envergadura del sistema. Mientras mayor sea la población a servir, los costos tienden a disminuir considerablemente.

➤ **Inversión Terrenos:**

Tomando en cuenta que en muchos sectores del área rural probablemente no se pueda contar con el suficiente terreno para el emplazamiento de la planta, es necesario tomar en cuenta los costos referidos en este ítem para tener una valorización más clara de cada tecnología. Estos costos se relacionan directamente con cada tecnología, dado que cada tipo de tratamiento tiene sus condiciones de área para su implementación y correcto funcionamiento.

Población (hab)	250	500
Costos de Terreno [M\$]		
L. Activ. Comp.	38.053	41.821
Lombrifiltro.	15.166	18.908

Tabla 23: Costos de Inversión Terreno Plantas (SUBDERE, 2018)

*Solo se considera el terreno para la instalación de la planta de tratamiento, no se considera los espacios necesarios para el tratamiento de lodos.

- ✓ El Lombrifiltro se expone como la tecnología más competitiva por su bajo requerimiento de área. Esta ventaja es generada básicamente por su tipo de cultivo (cultivo fijo), lo que genera una mejor aplicabilidad y la posibilidad de un diseño modular. La característica modular de este sistema le brinda la capacidad de adaptarse fácilmente al crecimiento de la población, solo es necesario la implementación de un nuevo módulo para satisfacer el incremento en el caudal.
- ✓ El costo per cápita en el caso del Lombrifiltro varía entre \$60.664 a \$37.816 (para 250 y 500 habitantes) y para los Lodos Activados Compactos varía entre \$152.212 a \$83.642 (para 250 y 500 habitantes). De lo anterior se puede inferir que los costos por habitantes varían inversamente proporcionales a la envergadura del sistema.
- ✓ La tabla n°23 solo considera el área necesaria para la instalación de la planta, no considera los espacios necesarios para el tratamiento de los lodos. Esta condición brinda al Lombrifiltro de otra ventaja importante, dado que es la única tecnología que genera un lodo reutilizable (humus), por lo que no requiere de procesos engorrosos para su estabilización.

2 Costos de Operación.

➤ Referenciales de Operación:

Los costos de operación dependen estrictamente de la tecnología adoptada y para efectos de este análisis comparativo pueden englobarse en cualquiera de estos ítems comunes a cualquiera de ellas.

- Productos químicos.
- Energía eléctrica.
- Materiales y repuestos.
- Servicios de laboratorio.
- Transporte y disposición de lodos.
- Servicios de operación y mantención (control procesos, mantenimiento de la obra civil y mantenimiento de los sistemas de desinfección).

Ya dados los parámetros para generar un análisis comparativo de cada tecnología, en la tabla n°24 se exponen los costos de operación referenciales de cada tecnología.

Población	L. Activado Compacto	Lombrifiltro
habitantes	M\$/año	M\$/año
250	15.983	7.908
500	16.641	8.720

Tabla 24: Costos Referenciales de Operación Plantas (SUBDERE, 2018).

- ✓ La tecnología de Lodos Activados Compacto tiene costos de operación per cápita de \$33.282 (para 500 habitantes) respectivamente.
- ✓ El lombrifiltro se expone como la tecnología más competitiva en el ámbito operacional, teniendo un costo per cápita de \$31.632 a \$17.440 (para 250 a 500 habitantes) respectivamente. Esta condición está dada por la simpleza y el bajo nivel técnico necesario para su operación.
- ✓ Los costos per cápita de la tecnología de Lodos Activados y Lombrifiltro tiene el mismo comportamiento mostrado en los puntos anteriores, los costos de operación son inversamente proporcionales a la cantidad de habitantes servidos.

- ✓ Se estima que el Lombrifiltro tiene un costo de operación de un 50% menor que las otras tecnologías.

➤ **Personal y/u Operarios:**

Otro punto relativamente importante es el costo de la mano de obra requerida para la operación de los sistemas, esta varía según la complejidad y envergadura de cada sistema en estudio.

Población (hab)	250	500
Costos de Personal [M\$/año]		
L. Activ. Comp.	6.591	6.591
Lombrifiltro.	2.513	2.513

Tabla 25: Costos de Personal y Operarios de las Plantas (SUBDERE, 2018)

- ✓ El Lombrifiltro se expone como la tecnología más competitiva por su bajo requerimiento de personal para su operación, teniendo un costo per cápita que varía desde \$10.052 a \$5.026 (para 250 a 500 habitantes) respectivamente. Este bajo valor en comparación a las otras dos tecnologías se debe básicamente a la envergadura del sistema (reactor de tratamiento mucho más pequeños que las otras tecnologías), el grado de complejidad para su operación (el horqueto y retiro del humus son las dos partidas más relevantes) y el grado de especialización de los operarios.

Al realizar un análisis de lo anterior expuesto, se puede inferir que la tecnología más adecuada para las localidades en estudio es el Lombrifiltro. Esto considerando para este punto todos los costos económicos para su implementación y más importante aún, los costos necesarios para operar y mantener este sistema de tratamiento funcionando óptimamente en el tiempo. Esto es fundamental, dado que los habitantes de las poblaciones en estudio no tienen una capacidad económica exuberante, por lo que es importante entregarle una solución acorde a esta condición.

6.1.2. Análisis Ambiental.

Para el caso de este estudio, el análisis ambiental está enfocado en los productos generados por las distintas tecnologías al realizar el tratamiento de las aguas servidas. Tomando como consideración principal el grado de reutilización de estos productos, esto relacionado directamente con el efluente y la generación de lodos.

1 Análisis Ambiental Efluente.

Como se mencionó en el numeral 6.1 de este estudio, las tecnologías de Lodos Activados y el Lombrifiltro cumplen con los criterios de emisión expuestos en la tabla n°8 de la normativa de regulación de emisión de contaminantes (DS 90/00). Los criterios expuestos en la normativa son aplicables a las condiciones establecidas en las dos localidades en estudio.

Para analizar su impacto ambiental tomaremos un estándar de reutilización de estas aguas, considerando como destino final (disposición final del efluente) la reincorporación de este caudal a los canales de regadío aledaños a cada localidad (numeral 5.1 y 5.2 del presente estudio). Esta condición es la más adecuada, considerando que la actividad económica predominante en el sector es la agricultura y el problema de estrés hídrico que está sufriendo.

Dado que las tres tecnologías producen un efluente con una calidad parecida, es necesario analizar la posibilidad de reutilización con relación a la NCh 1.333. Esta norma establece los requisitos de calidad de agua para sus diferentes usos, dentro de los cuales se definen los siguiente:

- Estética.
- Riego.
- Recreación.
- Con contacto directo.
- Sin contacto directo.
- Vida acuática.

El requerimiento en términos de parámetros normados en la calidad de agua para riego puede resumirse del siguiente modo.

Parámetro	N Ch 1333.
	(mg/l)
pH	5,5 – 9,0
Conductividad Especifica	1.500 y 3.000
Salinidad	-
Bicarbonato	-
Coliformes totales	-
Coliformes fecales	1.000
DBO5	-
Oxígeno disuelto	-
Sólidos disueltos totales	1.000 y 2.000
Aluminio	5
Amoníaco	-
Arsénico	0,1
Bario	4
Berilio	0,1
Boro	0,75
Cadmio	0,01
Cianuro	0,2
Cobre	0,2
Cobalto	0,05
Cromo total	0,1
Estaño	-
Hierro	5
Litio	2,5
Litio (cítricos)	0,075
Manganeso	0,2
Mercurio	0,001
Molibdeno	0,01
Níquel	0,2
Plata	0,2
Plomo	5
Zinc	2
Flúor	-
Fluoruro	1
Cloruro	200
Nitrógeno	-
Nitrato	-
Nitrito	-
Selenio	0,02
Sodio	35%
Sulfato	250

Parámetro	N Ch 1333.
Vanadio	0,1
Compuestos fenólicos	-

Tabla 26: Detalle Parámetros Norma de Calidad de Agua para Riego (NCh 1.333).

Si realizamos una comparación entre los criterios de la tabla n°8 y la tabla n°26, la última es más restrictiva, pero el efluente debería cumplir con la mayoría de los parámetros. Los parámetros que no se consideran o no se cumplen corresponden en su mayoría a minerales como la plata, molibdeno, bario, etc. Que para el caso de este análisis no deberían aplicar, debido a que el afluente a tratar es netamente domiciliario, por lo que la carga de estos elementos es menor e incluso son hasta despreciables.

Considerando lo anterior, las tres tecnologías en análisis cumplirían con la condición de reutilización de sus efluentes, por lo que la elección de la tecnología bajo el estándar ambiental dependería netamente al grado de utilización de los lodos.

2 Análisis Ambiental Lodos.

Antes de realizar el análisis ambiental de las tres tecnologías, es necesario tener claro el contexto y la normativa de calidad. El manejo de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas servidas es un tema sumamente relevante desde el punto de vista ambiental. Es por lo anterior, que se cuenta con el “Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas” (DS 04/2009), el que tiene como objetivo poder visualizar las alternativas de tratamiento de los lodos generados y su viabilidad en el sector rural.

Este reglamento define dos tipos de lodos que pueden ser reutilizados, los lodos Clase A y los lodos Clase B. Los lodos Clase A no tiene restricciones sanitarias para su aplicación en el suelo, mientras que los lodos Clase B tiene restricciones para su aplicación, las cuales dependen del tipo y la localización del suelo o cultivo.

Tomando en cuenta lo anterior, a continuación, se detallará el tipo de lodo generado por las tecnologías en análisis según el reglamento vigente (DS 04/2009):

➤ **Lodos Activados Compacto.**

Los desechos sólidos generados en este tipo de sistema de tratamiento corresponden a lodos estabilizados, este lodo se caracteriza por poseer una reducción del potencial de vectores sanitarios (organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos). La generación de este tipo de lodo se logra por el “Tiempo de Residencia”, o para el caso de esta tecnología la “Edad del Lodo”. Dado que para este tipo de tecnología el tiempo de retención del lodo en la unidad biológica (edad del lodo) varía entre 20 a 30 días, el reglamento clasifica a este tipo de lodo como estabilizado.

Este tipo de lodo no puede ser dispuesto directamente como relleno sanitario, sino que debe contar con el debido manejo para lograr alcanzar la clasificación de lodo Clase A o Clase B. Es factible lograr la clasificación, pero esto conlleva a un mayor gasto de tiempo, mano de obra y una mayor superficie para realizar la reducción de los vectores.

➤ **Lombrifiltro.**

Como se menciona en el numeral 4.3.3.2, una de las ventajas de este sistema de tratamiento es la generación de humus de lombriz como desecho sólido. Este humus o lodo para este caso, es una de las principales características de la Lombricultura, que es el inicio de esta tecnología. Gracias a esta característica inusual para un sistema de tratamiento, los lodos pueden ser catalogados sin problemas como Clase A, sin la necesidad de implementar un plan de manejo.

A pesar de que todas las tecnologías cumplen con la generación de desechos reutilizables medioambientalmente, el reglamento dentro de su estructura (Excepciones al Manejo Sanitario de Lodos) libera de las obligaciones de depuración y manejo de los lodos a plantas de una envergadura menor a 2.500 habitantes. Esto generaría un problema en la operación de la tecnología de Lodos Activados, al no existir esta exigencia, económicamente no se fundamenta su implementación, con lo que se generarían lodos altamente contaminantes.

Al realizar un análisis de lo anterior expuesto, se puede inferir que la tecnología que tiene un mejor comportamiento medioambiental es el Lombrifiltro. Esto principalmente por una de las principales características de la tecnología, la que se debe al sustento operativo del reactor biológico.

6.1.3. Análisis Técnico.

En el siguiente punto analizaremos técnicamente las tecnologías de tratamiento seleccionadas, tomando en consideración las características de las poblaciones en estudio. Para este análisis se considerará la aplicabilidad de cada tecnología a las características de las poblaciones, considerando los plazos característicos, envergadura de cada solución y su adaptabilidad en el tiempo.

1 Lodos Activados Compacto.

➤ Plazo:

La tecnología de lodos activados compactos, es la variante de esta tecnología más rápida para su implementación, en la actualidad existen proveedores de esta tecnología como Infraplast, que ofrecen plantas modulares “AQUABLOCK” desde 6 a 500 habitantes. Esta ventaja técnica propone a esta tecnología como una solución eficaz y de igual forma eficiente.

➤ Envergadura:

Técnicamente la tecnología de lodos activados tiene un gran requerimiento de área para su implementación (tanque de aireación, sedimentación secundaria, tratamiento de lodos, desinfección), pero esta característica es obviada por la variante en estudio (compactos). La modulación de este sistema lo convierte en una tecnología aplicable en sectores rurales, donde las superficies disponibles en ocasiones son muy reducidas.

Estas características de esta variante de la tecnología, la convierten en una opción sumamente adaptable a las distintas envergaduras y a condiciones restrictivas de espacio, características importantes de las poblaciones en estudio.

➤ Adaptabilidad:

La adaptabilidad es la capacidad del sistema de soportar variaciones en condiciones como la carga contaminante y caudal de entrada, para este punto las variaciones son producidas por el crecimiento en el tiempo de las poblaciones. Técnicamente esta tecnología se diseña para un cierto requerimiento, si dentro del diseño no se aplica la consideración de

sobredimensionamiento por vida útil, el sistema no tiene la capacidad de adaptarse o generar variaciones que permitan seguir operando óptimamente.

Bajo este análisis esta tecnología no cuenta con una capacidad importante de adaptabilidad, pero dada su rápida implementación, una solución puede ser instalar una planta que complemente las cargas solicitadas.

2 Lombrifiltro.

➤ Plazo:

Esta tecnología técnicamente tiene una implementación que depende básicamente del tiempo de construcción del reactor, el que posee un diseño sumamente básico. La complejidad del sistema es otorgada por la instalación del equipamiento específico, como por ejemplo la instalación del equipo de aspersores. En cuanto a la puesta en marcha de este sistema, una de las ventajas de la tecnología es su fácil y rápida partida, dado que el proceso depende del estado del filtro biológico (prioritariamente las lombrices).

➤ Envergadura:

Como se mencionó en el numeral 4.3.3.2, una de las ventajas de este sistema es su bajo requerimiento de superficie para su implementación, dado que requiere 1 metro cuadrado para tratar las aguas residuales de 5 personas. Otro punto importante es la capacidad de adaptarse a pequeñas poblaciones, no existe una limitante técnica que regule el área mínima para implementar, por lo que tiene un comportamiento adecuada para las poblaciones en estudio. Siendo conservadores, el requerimiento de área aproximada para la implementación de un reactor de esta tecnología estarían en el rango de 50 a 80 m² para la Población el Carmen y de 36 a 60 m².

➤ Adaptabilidad:

Como se mencionó en el numeral 4.3.3.2, entre las ventajas de este sistema se encuentra la capacidad de trabajar con cargas orgánicas bajas (más que cualquier otra tecnología) y el diseño modular. Técnicamente la capacidad de trabajar con cargas bajas

brinda una ventaja operativa, dado que el sistema no pierde eficiencia o se generan problemas en su funcionamiento al disminuir este parámetro.

En cuanto al diseño modular, en el caso de aumentos de caudal o carga de las aguas servidas, no existe ningún problema en la implementación de un módulo extra. No existe restricción en el diseño del módulo extra, por lo que es posible implementar una solución óptima, y en el caso de disminuir las cargas, la ventaja anterior nombrada le brinda una característica fundamental.

Tomando en cuenta lo anterior, la tecnología que presenta las mejores características técnicas que se adoptan a las poblaciones en estudio es el Lombrifiltro. Esta tecnología cuenta con características que permiten tener una implementación rápida, con un dimensionamiento acorde a los espacios que cuentan las poblaciones y una capacidad de adaptabilidad sumamente alta en el escenario rural.

6.1.4. Análisis de la Gestión del Mantenimiento.

En el siguiente punto analizaremos los sistemas de tratamiento seleccionados en relación a la gestión operativa y de mantenimiento. Enfatizando que estas acciones serán realizadas por los mismos habitantes de las comunidades, dejando solo las labores especializadas (ensayos de laboratorio) para personal externo. Esta consideración es fundamental para que el sistema tenga una operación eficiente en el tiempo.

1 Lodos Activados Compacto.

Una de las desventajas de esta tecnología es el control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio. El alto nivel de control que se debe tener en esta tecnología, además de aumentar los costos, genera una dependencia de personal externo. Es común en las localidades que, al transcurrir el tiempo se pierda la rigurosidad en el cuidado de los procesos, esto es intensificado si asumimos el costo que estos conllevan.

Otra complejidad en este sistema es el requerimiento de oxígeno, lo que conlleva a una mantención constante de los equipos, que tiene un grado de complejidad relativamente alto para los habitantes de las comunidades. La necesidad de personal con un grado mayor de

especialización coloca a esta tecnología como una solución poco aplicable a las localidades en estudio.

2 Lombrifiltro.

Esta tecnología se caracteriza por la simpleza en su mantención y operación, y más aún si nos enfocamos en la población que la realizara. La mantención de tecnología depende básicamente de la limpieza de los filtros, horqueto del medio biológico, el retiro el humus de lombriz, la reposición de aserrín y por último la mantención de los aspersores. Las mantenciones son bastante simples y se asemejan a los trabajos agrícolas presentes en la zona, por ejemplo, la mantención de los aspersores se asemeja a las realizadas en el riego de los cultivos. Dentro de estas la que presenta una posible dificultad es la reposición de aserrín al reactor biológico, esto producto a que el aserrín debe ser de maderas blancas para no contaminar el medio. Esta dificultad en el caso de las poblaciones en estudio no representa un problema, dado que estas poblaciones se encuentran a pocos kilómetros de predios madereros que cumplen con la madera necesaria.

La tecnología que presenta las mejor características bajo este análisis es el Lombrifiltro, dado que las labores para realizar su mantención y operación se adaptan a los trabajos agrícolas. Esta característica transforma a esta tecnología como la más idónea para satisfacer las necesidades de las poblaciones y no representar un futuro problema por su compleja mantención.

6.2. Matriz de Elección.

Del numeral anterior (6.1) se infiere que la tecnología más idónea para satisfacer las necesidades de la Villa El Futuro y Población el Carmen, corresponde al Lombrifiltro. Esta tecnología se considera la más competitiva bajo el análisis económico, ambiental, técnico y de la gestión de su mantenimiento. Estos resultados más que nada fueron entregados por su excelente adaptación al sector rural y todas sus características (envergadura, habitantes, caudal, carga contaminante, etc.).

Para visualizar si la tecnología propuesta por este estudio se puede considerar como una mejora para el actual estado de las dos poblaciones, se realizará una matriz de elección para cada una

de ellas. Esta matriz comparará bajo ciertos criterios el sistema que se encuentra operando y el sistema propuesto por este estudio.

6.2.1. Matriz Elección Villa el Futuro.

En la siguiente matriz se comparará el sistema actual (séptico) con la tecnología propuesta por este estudio, la cual corresponde al Lombrifiltro. El análisis se realizará bajo condiciones económicas, ambientales, técnicas, plazo y prevención de riesgos. Para compararlas se le asignarán valores que varían de 1 a 3, donde 1 es “no cumple”, 2 es “cumple” y 3 es “ventajoso”. La propuesta será considerada como mejora si posee un promedio mayor al sistema actual.

Etapas	Económico		Ambiental		Técnico		Plazo		Prev. De Riesgos	
	Act.	Prop.	Act.	Prop.	Act.	Prop.	Act.	Prop.	Act.	Prop.
Análisis Normativo	1	3	1	3	1	3	3	3	2	3
Análisis de la Implementación y Construcción de la Solución.	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2
Análisis de la Gestión del Mantenimiento	3	3	1	3	2	3	2	2	2	2
Análisis del Crecimiento o Adaptabilidad	1	3	1	3	1	3	1	3	2	2
Análisis Tecnología Implementada en el País.	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2
Análisis Consideraciones Particulares de la Población.	2	3	1	3	2	2	2	2	2	2
Promedio.	2	3	1,3	2,8	1,8	2,8	2,3	2,6	2	2,1

Tabla 27: Matriz Elección Villa el Futuro.

➤ **Análisis Matricial Tecnología Actual:**

- ✓ El sistema que actualmente se encuentra operativo posee un comportamiento normal, ósea “cumple” si se analiza en cuanto a lo económico, teniendo como puntos de no cumplimiento la parte normativa y de adaptabilidad. Los valores entregados en este análisis consideraron que, para poder dar cumplimiento con los puntos mencionados se debería realizar una inversión, la que conllevaría a un mayor costo económico para la población. Dentro de los puntos altos se consideró la gestión del mantenimiento y su implementación en el país. Esto producto de su simpleza de mantención, la que no conlleva a su correcta operación y lo implementada que se encuentra la tecnología en nuestro país.
- ✓ Ambientalmente es sistema actual tiene un comportamiento que se describiría según la matriz como “no cumplimiento”. Esto básicamente por el no cumplimiento de las normativas de emisión, la baja adaptabilidad en el tiempo si se presentan variaciones, considerando la nula mantención que se ha realizado durante su operación, lo que conlleva a no considerarla como una tecnología que cumple con las características de la población. Solo teniendo como un cumplimiento “normal” su actual implementación en el país más que nada por el hecho de su fácil implementación.
- ✓ Técnicamente se le asignó un valor casi “normal”, a pesar de lo anteriormente mencionado la característica entregada por su alta implementación en el país se considera aun como una alternativa. Pero técnicamente considerando la baja capacidad de remoción de parámetros de interés, se considera que esta tecnología “no cumple” el con las normativas y menos es considerable como un sistema adaptable al crecimiento.
- ✓ En cuanto al plazo, la matriz asigna a esta tecnología como una solución que “cumple” para ser implementada en este tipo de población, dado que normativamente aún se considera como una solución, posee una rápida implementación, esto generado básicamente por su gran grado de implementación en el país.
- ✓ En cuanto a la prevención de riesgos, un análisis necesario para cualquier proceso constructivo, se considera a esta tecnología como que “cumple”. Esto dado que,

bajo ningún punto de análisis esta tecnología presenta un riesgo para los actores involucrados en su construcción, operación o cualquier labor que se realice.

➤ **Análisis Matricial Tecnología Propuesta:**

- ✓ La tecnología propuesta bajo el análisis económico, la matriz le asigna un valor que se puede definir como “ventajoso”, dado que los costos inmersos en esta tecnología dan cumplimiento a los puntos en análisis. Esto más que nada producto de la gran adaptabilidad de esta tecnología a la población en estudio.
- ✓ En cuanto al análisis ambiental, la matriz le asigna un valor de “cumplimiento ventajoso”. Esto considerando como el punto de análisis con menor cumplimiento, los impactos producto de la construcción de este sistema.
- ✓ Técnicamente la matriz le asigna un valor de “cumplimiento ventajoso”, esto generado básicamente por el cumplimiento en la remoción de parámetros de interés y su alta adaptabilidad a la población en estudio. Lo que convierten a esta solución una alternativa técnicamente ventajosa para cualquier población con las características de Villa el Futuro.
- ✓ En cuanto al plazo, la matriz le entrega un valor de “cumplimiento ventajoso”, esto producto de su rápida implementación, puesta en marcha y su baja necesidad de mantención. Esas características generan que esta tecnología sea eficaz para todos los análisis propuestos en la matriz.
- ✓ En cuanto a la prevención de riesgos, un análisis necesario para cualquier proceso constructivo, se considera a esta tecnología como que “cumple”. Esto dado que, bajo ningún punto de análisis esta tecnología presenta un riesgo para los actores involucrados en su construcción, operación o cualquier labor que se realice.

6.2.2. Matriz de Elección Población el Carmen.

En la siguiente matriz se comparará el sistema actual (séptico) con la tecnología propuesta por este estudio, la cual corresponde al Lombrifiltro. El análisis se realizará bajo condiciones económicas, ambientales, técnicas, plazo y prevención de riesgos. Para compararlas se le asignaran valores que varían de 1 a 3, donde 1 es “no cumple”, 2 es “cumple” y 3 es “ventajoso”. La propuesta será considerada como mejora si posee un promedio mayor al sistema actual.

Etapas	Económico		Ambiental		Técnico		Plazo		Prev. De Riesgos	
	Act.	Prop.	Act.	Prop.	Act.	Prop.	Act.	Prop.	Act.	Prop.
Análisis Normativo	1	3	1	3	1	3	1	3	2	3
Análisis de la Implementación y Construcción de la Solución.	2	3	1	3	1	3	1	3	2	2
Análisis de la Gestión del Mantenimiento	3	2	1	3	1	3	1	2	2	2
Análisis del Crecimiento o Adaptabilidad	1	3	1	3	1	3	1	3	2	2
Análisis Tecnología Implementada en el País.	2	2	1	3	1	3	1	3	2	2
Análisis Consideraciones Particulares de la Población.	1	2	1	3	1	3	1	2	2	2
Promedio.	1,6	2,5	1	3	1	3	1	2,6	2	2,1

Tabla 28: Matriz Elección Población el Carmen.

➤ Análisis Matricial Tecnología Actual:

- ✓ En relación al análisis económico, la matriz le asigna un valor de “no cumple”. Esto producto que, bajo el análisis normativo, de adaptabilidad y bajo las consideraciones de la población en estudio no cumple. Esto básicamente producido

por el costo asociado para la implementación de mejorar para cumplir esas variables.

- ✓ Ambientalmente la matriz le entrega un valor de “no cumple”, esto se genera básicamente por el tipo de tecnología (no cumple con las normativas de emisión) y el cumplimiento de la vida útil del sistema.
- ✓ Técnicamente la matriz le entrega un valor de “no cumple”, esto producto de que técnicamente este sistema se encuentra fuera de parámetros, especialmente el cumplimiento de su vida útil.
- ✓ En cuanto al plazo, la matriz le asigna un valor de “no cumple”, este valor es obtenido básicamente por el cumplimiento de su vida útil, cualquier punto de análisis quedara bajo esta condición.
- ✓ En cuanto a la prevención de riesgos, un análisis necesario para cualquier proceso constructivo, se considera a esta tecnología como que “cumple”. Esto dado que, bajo ningún punto de análisis esta tecnología presenta un riesgo para los actores involucrados en su construcción, operación o cualquier labor que se realice.

➤ **Análisis Matricial Tecnología Propuesta:**

- ✓ La matriz le entrega un valor de “cumplimiento ventajoso” a análisis económico de la tecnología propuesta. Esto básicamente producto de que los costos de implementación, mantención y operación son aptos para la población en estudio. Sin la necesidad de incurrir en gastos extras para cumplir con las condiciones analistas.
- ✓ Ambientalmente esta tecnología es “ventajosa” según el valor asignado por la matriz. Este valor es producto básicamente de su cumplimiento normativo y la capacidad de esta tecnología de adaptarse al tipo de población en estudio. Las condiciones anteriormente mencionadas le otorgan una implementación en el país óptima para el sector rural.
- ✓ Técnicamente la matriz le asigna un valor de “ventajoso”, esto producto de las características propias de esta tecnología y su aplicabilidad a la población en estudio.

- ✓ En cuanto al plazo, la matriz le asigna un valor de “cumplimiento ventajoso”, esto generado básicamente por su rápida implementación y la necesidad que tiene la población de un cambio en su sistema de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ En cuanto a la prevención de riesgos, un análisis necesario para cualquier proceso constructivo, se considera a esta tecnología como que “cumple”. Esto dado que, bajo ningún punto de análisis esta tecnología presenta un riesgo para los actores involucrados en su construcción, operación o cualquier labor que se realice.

6.3. Conclusiones.

Chile cuenta con normativas que regulan los sistemas de tratamiento implementados en el sector rural, pero no tiene la capacidad de mantener un control sobre soluciones particulares o de baja envergadura. Tampoco cuenta con políticas que busquen involucrar y enseñar a los habitantes sobre sus sistemas de tratamiento, como mantenerlos y operarlos adecuadamente. Existe una gran cantidad de localidades con condiciones similares a las de este estudio, donde la ley deja a los usuarios como responsables de su funcionamiento, sin entregarles las herramientas necesarias para realizar estas labores. Sin embargo, estos sistemas mal operados siguen funcionando, contaminando los cuerpos de agua, cultivos y generando condiciones insalubres para sus habitantes.

En base a las problemáticas vividas en la actualidad por las dos poblaciones en estudio y la información recopilada sobre las tecnologías que se presentan como una posible solución, se puede llegar a las siguientes conclusiones. En primer lugar, tomando el estado actual de la Villa el Futuro podemos concluir que, la mayoría de los problemas de funcionamiento del sistema y la alta cantidad de vectores sanitarios son causados por los habitantes, los cuales son los responsables de mantener y operar dichos sistemas. A pesar que se identificaron varias fallas de diseño y consideraciones de implementación de las soluciones particulares, es posible mejorar el actual estado sanitario solo tomando una serie de medidas que no conlleven a un mayor costo, si no que tienen una índole educativa para la población. Ciertamente la Villa el Futuro puede cambiar el estado actual de su saneamiento, pero esto sería considerado como una solución a corto plazo. En síntesis, esta población necesita un cambio a un sistema centralizado de recolección y tratamiento, que permita satisfacer sus condiciones económicas, culturales y medioambientales, pero sobre todo les permita organizarse como comunidad, lo que sería el primer paso para una operación perdurable de cualquier tecnología.

En segundo lugar, con relación a la Población el Carmen podemos concluir que, el problema de funcionamiento y la alta cantidad de vectores sanitarios son originados por el estado obsoleto del sistema. La vida útil por diseño de un sistema séptico es de 20 años, considerando esto, los 33 años en operación de este sistema lo definen sin dificultad como obsoleto. A pesar de todas las consideraciones que pudo haber tomado el proyectista, el incremento de la población sumado al desgaste del sistema por su prolongado uso, dejan fuera de parámetros a cualquier diseño y no permiten implementar mejoras como en el caso anterior. En síntesis, esta población necesita un mejoramiento al actual sistema de recolección y un cambio en su tecnología de tratamiento. La solución propuesta

para la población deberá satisfacer sus condiciones económicas, culturales y medioambientales, pero al igual que el caso anterior, la importancia de la organización comunitaria es la clave para la sustentabilidad de cualquier tecnología.

En Chile existe una gran variedad de tecnologías de tratamiento de aguas servidas que son aplicables al sector rural, algunas de ellas con estándares de funcionamiento de altísimo nivel. Pero las características particulares de las poblaciones en estudio, con relación a la calidad del producto final del tratamiento, la cantidad de habitantes, el caudal y las cargas contaminantes disminuyen el umbral de posibilidades. Sin embargo, aunque cumplan las condiciones mencionadas, la adaptabilidad sociocultural del sistema propuesto es la característica más relevante. Socioculturalmente la tecnología debe adaptarse a las poblaciones, generando que la operación y el mantenimiento sean tareas factibles de realizar por los habitantes, los responsables de su buen funcionamiento y perjudicados en el caso de no alcanzarlo. Este proceso es mucho más eficiente para lograr la sustentabilidad del sistema en el tiempo y disminuir el impacto ambiental causado por los productos de este.

La tecnología que presenta las características más idóneas tanto para la Población el Carmen y la Villa el Futuro es el Lombrifiltro. Este tipo de sistema convencional mezcla las características técnicas de un filtro biológico de cultivo fijo con las propiedades agrícolas de la Lombricultura. Esta tecnología actualmente se impone como una alternativa viable para poblaciones rurales de baja envergadura, donde la cantidad de habitantes es una restricción para otros sistemas. Las leyes actuales entregan recursos para la implementación este tipo de sistemas, por lo que los costos asociados a su mantención y operación representan el gasto más relevante para los habitantes. Bajo estas condiciones el este sistema posee los costos más bajos en relación a sus competidores.

El producto final del tratamiento y sus condiciones de vertido dependen de las normativas aplicables a la Población el Carmen y la Villa el Futuro. El lombrifiltro cumple con las normativas más restrictivas, llegando a generar un efluente que puede ser considerado como agua apta para riego. Esta condición permite tomar el agua residual contaminada y entregar un producto reutilizable, esta característica le brinda de propiedades sobresalientes en el área de aplicación, donde la mayor actividad económica es la agricultura y el estrés hídrico que está sufriendo este polo económico lo transforma más que en una ventaja sobre las otras tecnologías, la convierte en un sistema con un impacto ambiental mínimo. La normativa de emisión y tratamiento de lodos para el caso de la envergadura de estas soluciones no es aplicable, esto genera un problema medioambiental para la

mayoría de las tecnologías. Este es otro motivo fundamental para la elección del Lombrifiltro, la ausencia de control en el tratamiento de los lodos no genera una dificultad para esta tecnología, dado que todos los productos del sistema son catalogados como reutilizables sin causar un riesgo para la salud humana.

Socioculturalmente la adaptabilidad del Lombrifiltro es la característica que impuso a esta tecnología como la mejor solución a implementar, cumpliendo las condiciones de la Población el Carmen y la Villa el Futuro. La obtención de humus como desecho sólido, las características de su mantenciones y complejidad de operación son actividades que se adaptan a la perfección a los habitantes u operarios del sistema. Para estas personas es común la manipulación de sustancias solidas como el humus, como también lo es el horqueteo, mantención característica en esta tecnología. Lo anterior expuesto nos permite concluir que, el Lombrifiltro permitiría generar de forma fácil la organización de los habitantes, dado que el nivel es especialización para la operación del sistema es una característica intrínseca de los habitantes de estas poblaciones.

Referencias.

- 1 WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO) 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar nadie atrás. [en línea] Paris, UNESCO <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>> [consulta: 15 abril 2019].
- 2 WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas) 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales: El recurso desaprovechado. [en línea] Paris, UNESCO <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>> [consulta: 3 diciembre 2018].
- 3 Organización Mundial de la Salud, Agua. [en línea] <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>> [30 junio 2019].
- 4 FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2016. Uso del Agua [en línea] < http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/indexesp.stm> [30 junio 2019].
- 5 WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas) 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Cifras y Datos: Las aguas residuales el recurso desaprovechado. [en línea] Italia, UNESCO <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2015/08/wastewater_2017_cifras.pdf> [16 de abril].
- 6 SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Informe de Coberturas Sanitarias 2016. [en línea] Santiago, Gobierno de Chile < http://www.siss.gob.cl/586/articles-16607_recurso_1.pdf> [18 de abril 2018].
- 7 SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios), SISS explica alcances sobre nueva legislación aplicable a los servicios sanitarios rurales, 2017. [en línea] <<https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-16591.html>> [20 de abril 2018].
- 8 Salazar Miranda, Patricia Isabel. Sistema Toha: Una Alternativa Ecológica para el Tratamiento de Aguas Residuales en Sectores Rurales. Tesis (Constructor Civil). Valdivia. Universidad Austral de Chile, 2005. 117h.
- 9 Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. Madrid, Editorial McGraw-Hill, 1995. 1459 p.
- 10 Nemerow L, Aguas Residuales Industriales: Teorías, Aplicaciones y Tratamiento. Barcelona, Editorial Hermann Blume, 1977. 572 p.

- 11 Cisterna Osorio Pedro y Peña Daisy, Determinación de la Relación DQO/DBO5 en Aguas Residuales de Comunas con Población Menor a 25.000 habitantes en la VIII Región. [en línea] Octava Región < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>> [14 de junio 2018].

- 12 SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Tratamiento de Residuos Líquidos Lahuelco S.p.A. [en línea] < http://www.siss.gob.cl/586/articles-11944_lahuel.pdf> [16 de junio 2019].

- 13 Acciona, Causas y Consecuencias de la Contaminación del Agua. [en línea] <<https://www.sostenibilidad.com/agua/causas-consecuencias-contaminacion-agua/>> [13 marzo 2018].

- 14 SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas. [en línea] < <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-4373.html>> [16 de marzo 2018].

- 15 Wikilibros (Libros Libres para un Mundo Libre), Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento Físico-Químico. [en línea] <https://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico> [30 abril 2019].

- 16 Fernandez Antonio, Letón Pedro, Rosal Roberto, Dorado Miriam, Fernandez Susana, Sanz Juana, Informe de Vigilancia Tecnológica: Tratamiento avanzados de Aguas Residuales Industriales. [en línea] Madrid, Fundación para el conocimiento madri+d CEIM. <https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf> [22 enero 2019].

- 17 T.E. Cloete y N.Y.O Muyima, Microbial Community Analysis: The Key to the Design of Biological Wastewater Treatment Systems. [en línea] London, International Association on Water Quality. <https://books.google.cl/books?id=prWXYIo63QC&printsec=frontcover&dq=Microbial+Community+Analysis:+The+Key+to+the+Design+of+Biological+Wastewater+Treatment+Systems&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjNi5Oqo_HkAhVrI7kGHeS7BK0Q6AEIKzAA#v=onepage&q=Microbial%20Community%20Analysis%3A%20The%20Key%20to%20the%20Design%20of%20Biological%20Wastewater%20Treatment%20Systems&f=false> [15 enero 2019].

- 18 EPA (Environmental Protection Agency) 1993, Manual Control del Nitrógeno. [en línea] Washington, Office of Wastewater Enforcement and Compliance. <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30004MI0.PDF?Dockkey=30004MI0.PDF>> [22 de febrero 2019].

- 19 EPA (Environmental Protection Agency) 1999, Desinfección con Ozono. [en línea] Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, septiembre. 1999. EPA832-F-99-063. < <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1009DIK.PDF?Dockkey=P1009DIK.PDF> > [15 de febrero 2019].
- 20 EPA (Environmental Protection Agency) 1999, Desinfección con Cloro. [en línea] Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, septiembre. 1999. EPA832-F-99-062. < <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1009DIB.PDF?Dockkey=P1009DIB.PDF>> [15 de febrero 2019].
- 21 EPA (Environmental Protection Agency) 1999, Desinfección con luz ultravioleta. [en línea] Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, septiembre. 1999. EPA832-F-99-064. < <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs-99-064.pdf>> [15 de febrero 2019].
- 22 Biolight Tecnologías, Desinfección UV. [en línea] < <http://www.biolight.cl/productos/agua-potable-desinfeccion-uv-purificador-de-agua-tubo-ultravioleta-tratamiento-de-aguas-servidas-radiacion-uv-mutual-tratamiento-del-agua-tratamiento-de-riles.html>> [16 de febrero 2019].
- 23 Decreto Supremo N°90, Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 30 de mayo de 2000.
- 24 Decreto Supremo N°46, Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 8 de marzo de 2002.
- 25 División Desarrollo Regional, Departamento de Gestión de Inversión y Programa PIRDT. Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales. [en línea] Santiago, SUBDERE < http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/articles-80176_archivo_fuente.pdf> [12 noviembre 2018].
- 26 Cyclusid, Pretratamiento. [en línea] < <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/pretratamiento/>> [15 enero 2019].
- 27 Remosa, Depuración de Aguas Residuales. [en línea] < <https://www.remosa.net/es/productos/depuracion-de-aguas-residuales-2/index.htm>> [18 junio 2019].
- 28 Decreto Supremo N°236, Reglamento General de Alcantarillados Particulares Fosas Sépticas, Cámaras Filtrantes, Cámara de Contacto, Cámara Absorbente y Letrinas Domiciliarias. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago 30 de abril de 1926.

- 29 Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento y Reutilización. 4a.ed. USA, McGraw-Hill, 2003. 1819 p.
- 30 ECOPRENEUR Chile S.A., Manual de Operación y Mantenimiento Planta de Tratamiento Aguas Servidas Sierra Gorda. [en línea] < http://infota.siss.cl/concesiones/empresas/AguasdeAntofagasta/06%20Informaci%C3%B3n%20entregada%20por%20la%20empresa/01%20AGUAS%20ANTOFAGASTA/PTAS/ptas%20sierra%20gorda_1/Carpeta%201%20PEM/MOM%20206346%20RC%20SG.docx> [25 de junio 2019].
- 31 SUBDERE (Subsecretaria de Desarrollo Regional y administrativo), Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural. Chile, 2018. 371 p. N° A-288356.
- 32 AGROFLOR, Manual de Lombricultura. [en línea] Chile, AGROFLOR LOMBRICULTURA, < <http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>> [10 junio 2019].
- 33 Sistema Toha, Tecnología sustentable para el tratamiento de aguas residuales mediante un filtro biológico que utiliza lombrices. [en línea] < <https://sistematoha.cl/newSistematoha/>> [18 junio 2019].
- 34 Pacheco Castro, Patricio Alejandro, Manual para Diseñar Sistemas Tradicionales de Alcantarillado Particular. [en línea] < <https://es.slideshare.net/ppachecoc/sistemas-alcantarillado-particular>> [7 de julio 2019].

Anexo A

1 Resolución N°2892, Oficina de Acción Sanitaria San Vicente de Tagua Tagua, Calle N° 2, lote 5, Comité Villa el Futuro.


GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE SALUD
SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL
SIXTA REGION
DEPARTAMENTO ACCION SANITARIA
DR.NAF/DR.GCS/ARQ.MPA/DR.RTB/kmc

RESOLUCIÓN N° 2892

RANCAGUA, 16 MAYO 2007

VISTOS:

La solicitud presentada por **D. CAROLINA CARRASCO GODOY**, de profesión **ARQUITECTO**; responsable de toda la información proporcionada y representante del propietario para estos efectos; el D. S. N° 236/26 que aprueba el Reglamento de Alcantarillado Particulares, D. S. N° 50/03 del Ministerio de Obras Públicas, que aprueba el Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado; la Resolución N° 520/96 de la Contraloría General de la República y sus modificaciones; las facultades legales y reglamentarias que me concede el D. F. L. N° 725/68 que aprueba el Código Sanitario, el D. L. N° 2.763/79; la Ley N° 19.937/04 que crea la nueva Autoridad Sanitaria; el D. S. N° 61/06 del Ministerio de Salud y la Resolución Exenta N° 3228/06 de la Secretaría Regional Ministerial de Salud Sexta Región,

CONSIDERANDO:

Solicitud de autorización de funcionamiento de proyectos sanitarios e Informe emanado de la **Oficina de Acción Sanitaria San Vicente de T. T.**, el que da cuenta que el sistema construido, corresponde al proyecto aprobado mediante **Resolución N° 2295 fecha 17.04.07** cumpliendo con las exigencias técnicas y reglamentarias que regulan la materia y que permiten autorizar su explotación, dicto la siguiente:

RESOLUCIÓN:

1.- AUTORIZASE la explotación del sistema de Alcantarillado Particular, ubicado en **CALLE N° 2, LOTE 5, COMITÉ VILLA FUTURO**, de la comuna de **LAS CABRAS**, provincia de **CACHAPOAL**, propiedad de **D. RAMIRO DEL CARMEN NUÑEZ ROMERO**, RUT N° 11.528.083-K; de conformidad al proyecto aprobado por Resolución N° 2295 de fecha **17.04.07**.

2.- DÉJESE ESTABLECIDO como responsable por la correcta operación y mantención del sistema que se autoriza, al propietario identificado en numeral precedente.

ANOTESE Y COMUNIQUESE

POR ORDEN DEL SECRETARIO REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD VI REGION


DR. NELSON ADRIAN FLORES
JEFE DEPARTAMENTO ACCION SANITARIA
SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL
SALUD REGION DE O'HIGGINS

Distribución:

2 Resolución N°2294, Oficina de Acción Sanitaria San Vicente de Tagua Tagua, Pasaje N° 1, lote 27, Comité Villa el Futuro.


GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE SALUD
SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL
SEXTA REGION
DEPARTAMENTO ACCION SANITARIA
DR.GCS/ARQTO/MPA/vrgg

RESOLUCIÓN N° 2294

RANCAGUA, 17 ABR. 2007

VISTOS:

La solicitud de D. CAROLINA CARRASCO GODOY, de profesión ARQUITECTO, responsable de toda la información proporcionada y representante del propietario para estos efectos; el D.S. N° 236/26 que aprueba el Reglamento de Alcantarillados Particulares; D.S. N° 50/03 del Ministerio de Obras Públicas que aprueba el Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado; la Resolución N° 520/96 de la Contraloría General de la República y sus modificaciones; las facultades legales y reglamentarias que me concede el D.F.L. N° 725/68 que aprueba el Código Sanitario, el D.L. N° 2.763/79, la Ley N° 19.937/04 que crea la nueva Autoridad Sanitaria y el D.S. N° 61/06 del Ministerio de Salud, Resolución Exenta N° 3.228/06 de la Secretaría Regional Ministerial de Salud Sexta Región.

CONSIDERANDO:

Solicitud de aprobación de proyecto de alcantarillado particular y revisión realizada por la Unidad de Proyectos del Departamento de Acción Sanitaria, que da cuenta que el proyecto en cuestión, cumple con las exigencias técnicas y reglamentarias que regulan la materia, dicto la siguiente:

RESOLUCION:

1.- **APRUEBASE** el proyecto de Alcantarillado Particular, ubicado en PASAJE N° 1, LOTE 27, COMITÉ VILLA FUTURO, de la comuna de LAS CABRAS, provincia de CACHAPOAL, propiedad de D. MARISOL DEL CARMEN REYES RODRIGUEZ, RUT N° 11.528.098-8; de conformidad a los planos, especificaciones y normas que rigen la presentación del saneamiento de vivienda.

2.- **DEJASE ESTABLECIDO** que el proyecto de Alcantarillado particular aprobado, contempla: Sistema de Tratamiento consistente en **fosa séptica prefabricada**, con una capacidad de **2,35 m³/d**, para un total de 6 personas y disposición final en **zanja de drenaje**.

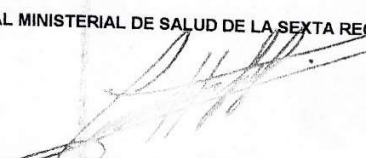
3.- **DEJASE ESTABLECIDO** que las instalaciones interiores del inmueble ya identificado, deben regirse a lo estrictamente señalado en el Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado, R.I.D.A.A. D.S. N° 50/03 MOP; siendo de exclusiva responsabilidad ante sus mandantes de su cumplimiento, las personas que las proyecten. Los cálculos del sistema que se aprueba por esta resolución, son de responsabilidad del proyectista.-

4.- **INSTRUYASE** al solicitante, que una vez construidas las obras, se deberá solicitar la respectiva autorización para su explotación, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 71 del Código Sanitario.-

5.- **DEJASE ESTABLECIDO** como responsable de la mantención de los sistemas de tratamiento que se regularizan, al propietario identificado en el número uno precedente.-

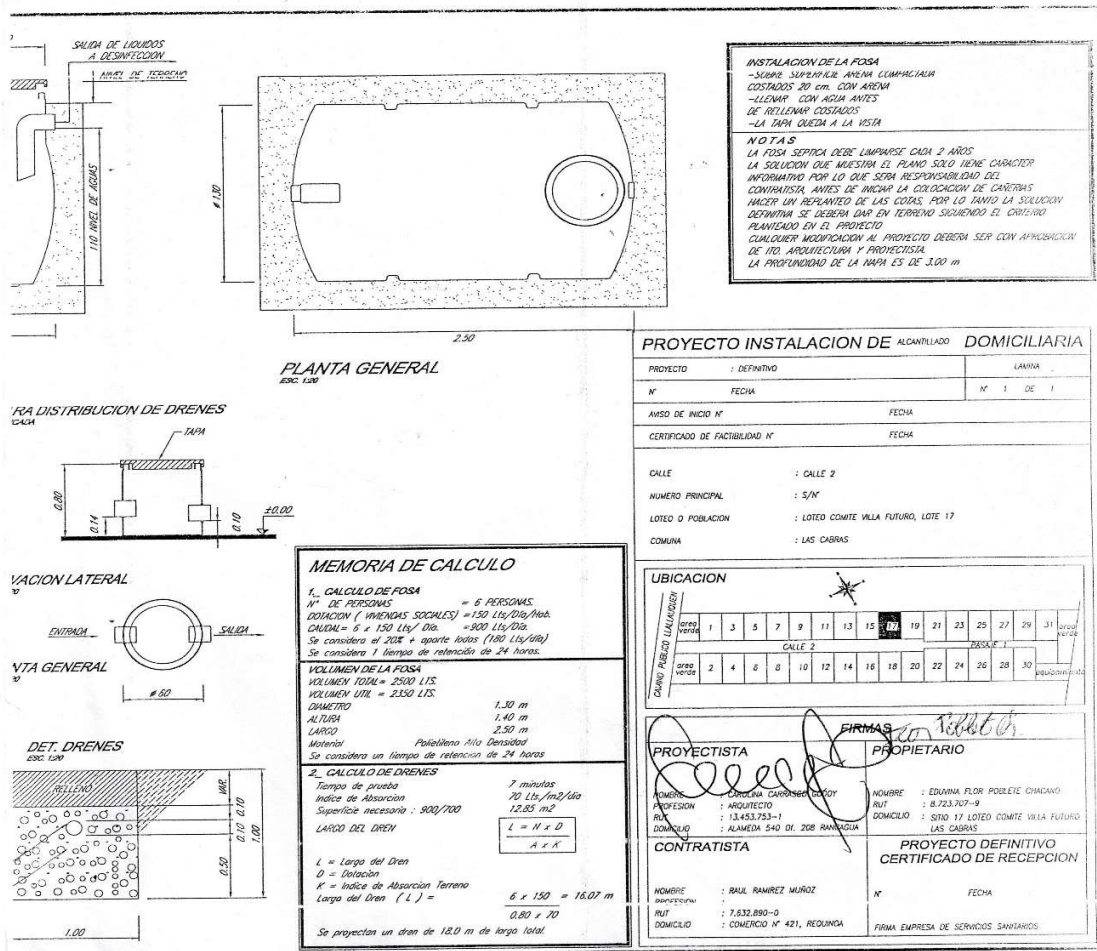
ANOTESE Y COMUNIQUESE

POR ORDEN DEL SECRETARIO REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD DE LA SEXTA REGION

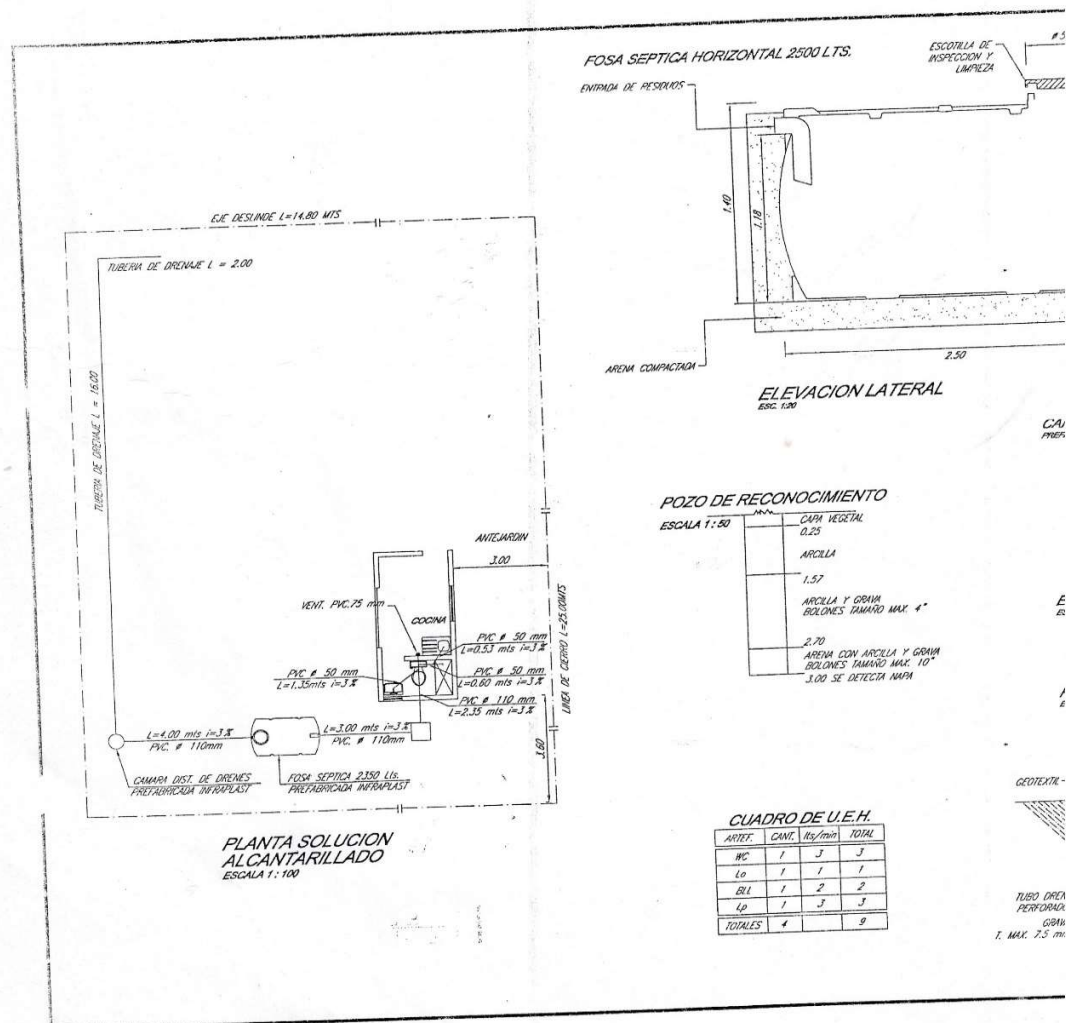

DR. NELSON ADRIAN FLORES
JEFE DEPARTAMENTO ACCION SANITARIA (S)
SEREMI SALUD SEXTA REGION

DISTRIBUCIÓN:
INTERESADO (2)
DEPARTAMENTO ACCION SANITARIA
OF. PARTES ACCION SANITARIA SAN VICENTE T.T.
OF. PARTES SEREMI

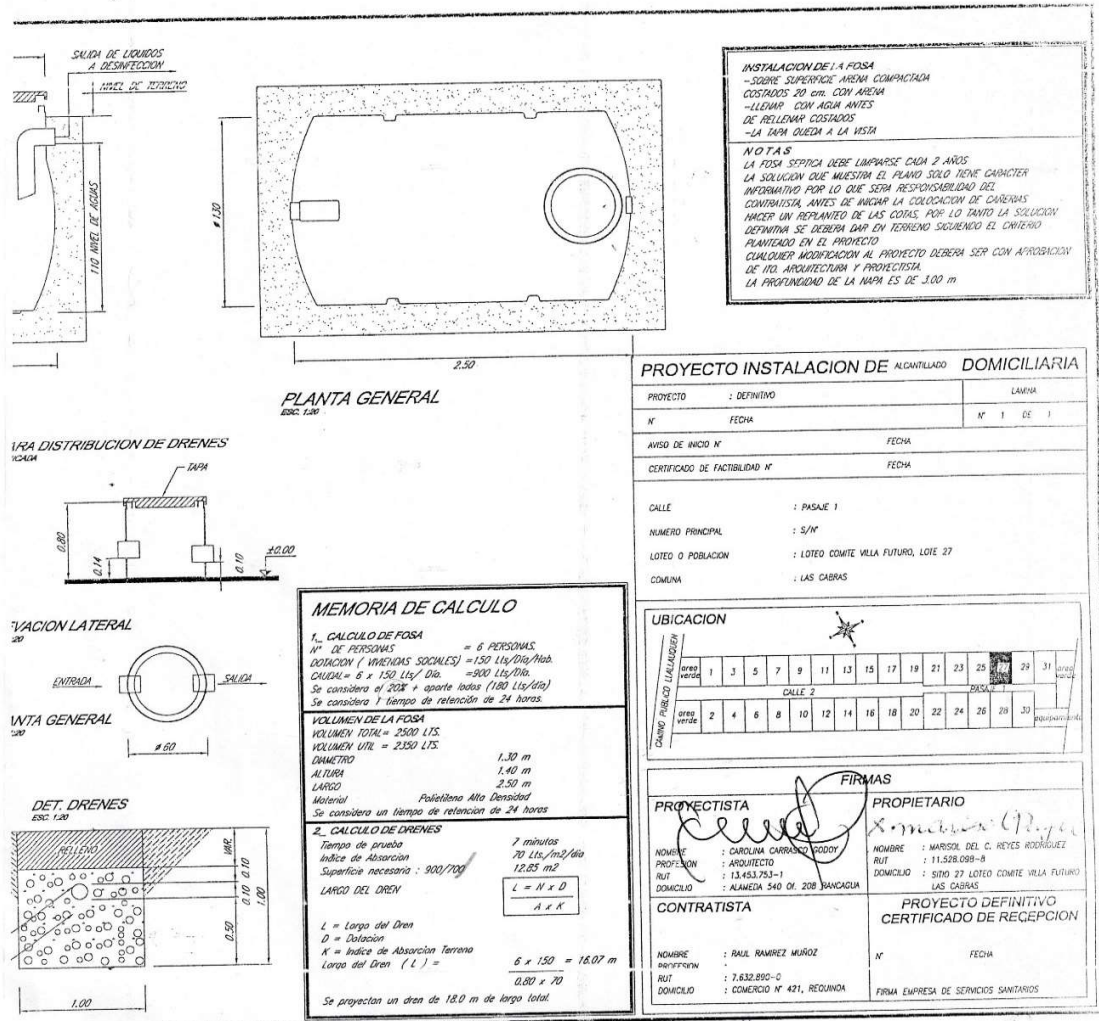
3 Proyecto Instalación de Alcantarillado Domiciliario, Lote 17, Villa el Futuro (parte a).



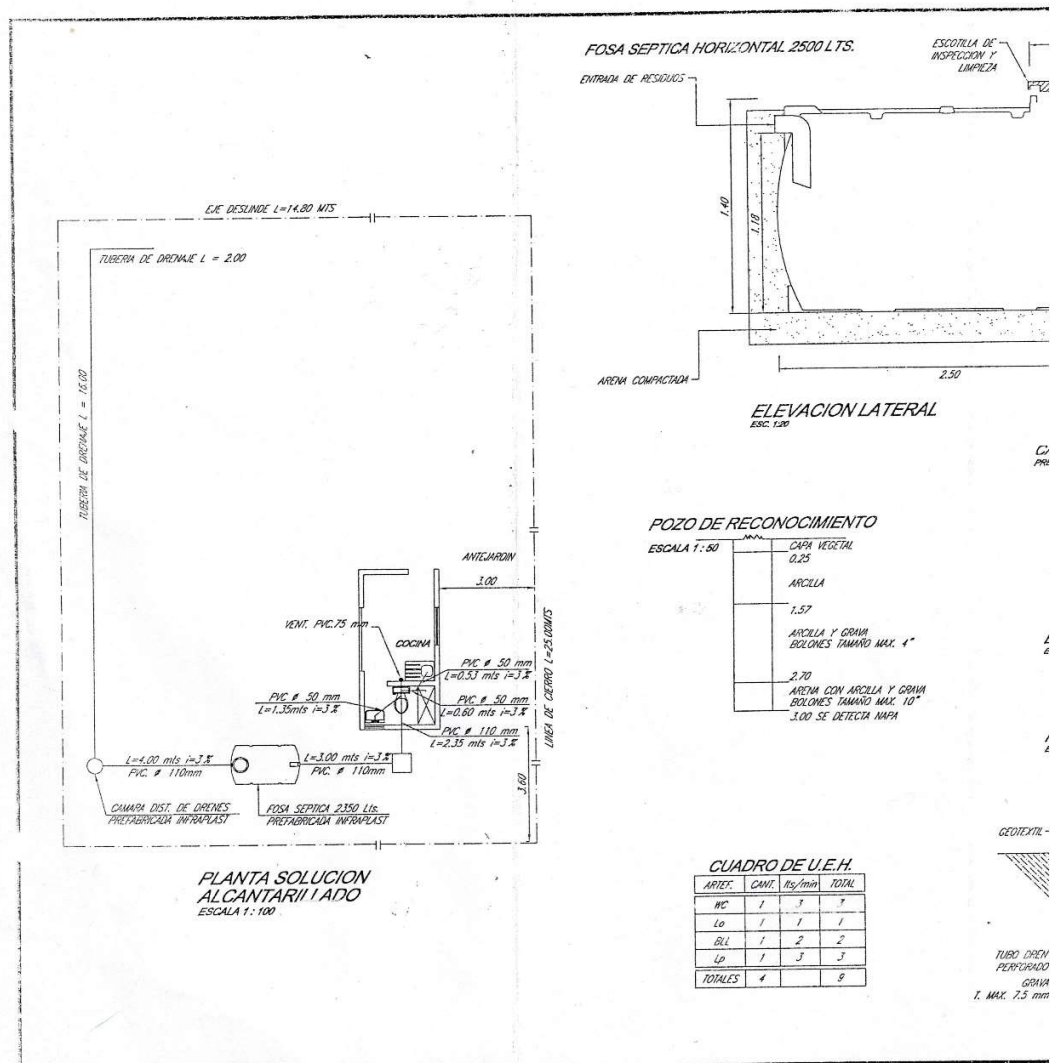
4 Proyecto Instalación de Alcantarillado Domiciliario, Lote 17, Villa el Futuro (parte b).



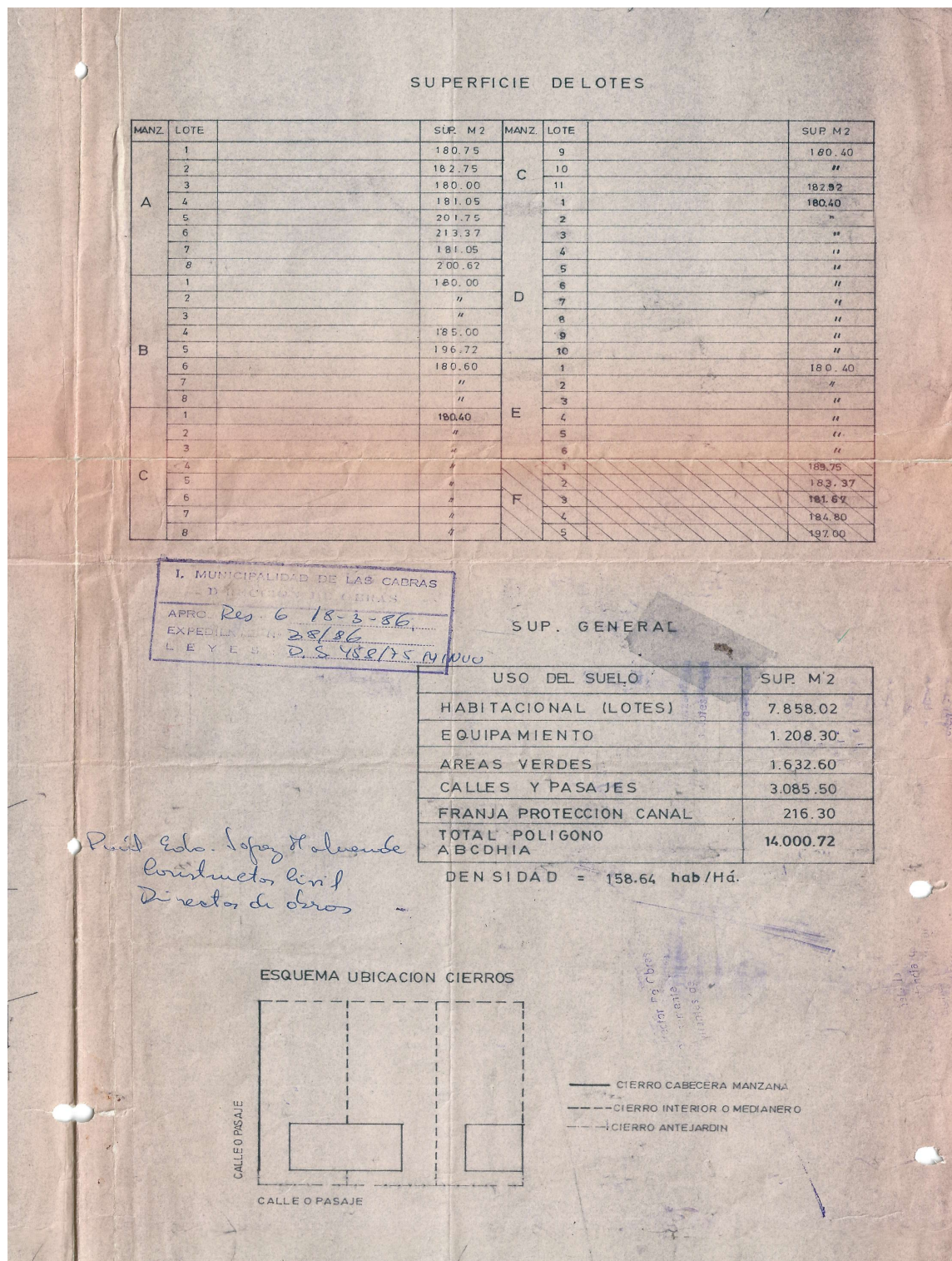
5 Proyecto Instalación de Alcantarillado Domiciliario, Lote 27, Villa él Futuro (parte a).



6 Proyecto Instalación de Alcantarillado Domiciliario, Lote 27, Villa el Futuro (parte b).



7 Plano Loteo Población el Carmen, Localidad el Carmen "43 Viviendas Básicas Comuna Las Cabras" (Superficie de Lotes, Superficie Lateral y Esquema Ubicación Cercos).



8 Plano Loteo Población el Carmen, Localidad el Carmen “43 Viviendas Básicas Comuna Las Cabras” (Rotulo).

43 VIVIENDAS BASICAS COMUNA LAS CABRAS	
UBICACION	POBLACION EL CARMEN LOCALIDAD EST. EL CARMEN
LAMINA	PLANO DE LOTEO ESC. 1: 500
ARQTO.	HUMBERTO PACCHI Z. I.C.A 3643 <i>FP</i>
CONSTRUYE	EMPRESA CONSTRUCTORA LAS NIEVES LTDA.

9 Plano Loteo Población el Carmen, Localidad el Carmen “43 Viviendas Básicas Comuna Las Cabras” (Planta General y Perfiles).



