

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL



**“SISTEMA TOHÁ; UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN
SECTORES RURALES”**

Tesis para optar al título de
Constructor Civil
Profesor Patrocinante
Gustavo Lacrampe H.

PATRICIA ISABEL SALAZAR MIRANDA

2005

DEDICATORIA.

Porque son lo mas preciado que Dios me ha regalado, se las dedico a ustedes, mi familia.

Madre, a ti en especial te dedico este logro por tu incondicional amor, comprensión y apoyo que me has brindado en todo este tiempo. Mucha gracias por tus sabios consejos, tu alegría, fuerza, optimismo, que me enseñaron a luchar y a salir adelante durante todos estos años de estudios.

Abuelita y tía Ofe, se la dedico a ustedes, que me han apoyado y alentado en todo momento. Agradecerles por su constante e incondicional preocupación y por haber soportado mis cambios de humor durante todo este tiempo.

A mi padre, porque a pesar de la distancia siempre me apoyó y alentó ha salir adelante, muchas gracias.

A mi abuelito y amiga Valentina, aunque no estén presentes, siempre formarán parte importante de mi vida, y sé que siempre estuvieron a mi lado y apoyándome cuando lo necesitaba, muchas gracias.

A mis tíos y tías, que siempre me han ayudado y animado, en especial al tío Jorge y tío Juan, que siempre han estado dispuestos a responder a mis consultas, les estoy muy agradecida a todos.

A ustedes, mi familia les dedico este día , en especial a ti mamita, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar quiero agradecerle a Dios, por entregarme sabiduría y entendimiento en la vida y así poder lograr mis metas.

También quiero agradecer a mis amigas y compañeras de estudio, Sandra, Yeka, Vero, Carolyn y Nary, porque siempre estuvieron dispuestas a escucharme y apoyarme. Con ustedes compartí mis alegrías y mis penas, jamás olvidaré las largas noches de estudios que a pesar del cansancio unas a otras nos alentábamos, y bueno los momentos en que nos juntábamos a compartir en donde las risas y locuras hicieron de esos momentos inolvidables. Siempre les estaré agradecida, las quiero mucho.

Finalmente, agradecer a mis amigos, Vanessa, Francisco y Rodrigo, por estar siempre conmigo y animarme siempre durante todo este tiempo.

RESUMEN.

Hoy en día, la solución mas utilizada para el tratamiento de las aguas residuales en sectores rurales es a través del Sistema Séptico. En esta tesis, se presenta una alternativa ecológica, que ya se ha demostrado ser eficaz y operativa en plantas de tratamiento de pequeña y mediana escala, llamado Sistema Tohá.

SUMMARY.

Nowadays, the used solution for the domestic wastewater treatment in rural sectors is through the Septic System. In this thesis, one appears an ecological alternative, that already have been demonstrated to be effective and operative in treatment plants of small and medium scale, call Tohá System.

INDICE.

	Página.
CAPITULO I.	1
1. INTRODUCCION.	1
1.1. OBJETIVOS.	3
CAPITULO II.	4
2. ASPECTOS GENERALES SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES.	4
2.1. DEFINICION Y ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	4
2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.	5
2.2.1. CARACTERISTICAS FISICAS.	6
2.2.2. CARACTERISTICAS QUIMICAS.	11
2.2.3. CARACTERISTICAS BIOLOGICAS.	17
2.2.4. CONSECUENCIAS PRODUCIDAS POR LA CONTAMINACION.	20
CAPITULO III.	22
3. ANTECEDENTES SOBRE EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.	22
3.1. GENERALIDADES.	22
3.2. MECANISMO DE REMOCIÓN ASOCIADO A LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA.	23
3.2.1. EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO.	24
3.2.1.1. REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA CARBONACEA.	28
3.2.1.2. REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES.	29
3.2.1.2.1. REMOCIÓN DE NITRÓGENO.	29

3.2.1.2.2.	REMOCIÓN BIOLÓGICA DE FÓSFORO.	33
3.3.	DESINFECCION.	34
3.3.1.	CLORACION.	35
3.3.2.	OZONO.	36
3.3.3.	RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.	37
CAPITULO IV.		40
4.	LEGISLACION VIGENTE.	40
4.1.	LEY 19.300 "LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE".	41
4.2.	CÓDIGO SANITARIO.	41
4.3.	CÓDIGO DE AGUAS.	42
4.4.	REGLAMENTO GENERAL DE ALCANTARILLADOS PARTICULARES.	42
4.5.	NORMA NCh 1333 "REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DIFERENTES USOS".	43
CAPITULO V.		44
5.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN SECTORES RURALES.	44
5.1.	GENERALIDADES.	44
5.2.	SISTEMAS SEPTICOS.	45
5.2.1.	FOSA SEPTICA.	47
5.2.1.1.	DESCRIPCION DEL PROCESO SÉPTICO.	48
5.2.2.	SISTEMA DE INFILTRACION.	50
5.2.2.1.	DESCRIPCION DEL PROCESO DE OXIDACION.	50
5.2.2.1.1.	POZO ABSORBENTE.	52

5.2.2.1.2. SISTEMA DE DRENES.	54
5.2.3. MANTENCION DEL SISTEMA SEPTICO.	56
5.2.4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA SEPTICO EN SECTORES RURALES.	58
CAPITULO VI.	60
6. SISTEMA TOHA.	60
6.1. ANTECEDENTES PRELIMINARES.	60
6.1.1. LA LOMBRICULTURA.	60
6.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA EISENIA FOETIDA.	61
6.1.3. PRINCIPALES CUALIDADES DE LA EISENIA FOETIDA.	64
6.1.4. CONDICIONES IDEALES Y DESFAVORABLES DE SU HÁBITAT.	65
6.1.5. EL HUMUS.	67
6.2 INICIOS DEL SISTEMA TOHÁ.	68
6.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA TOHÁ.	70
6.2.2. DESCRIPCION DEL SISTEMA TOHÁ.	74
6.2.3. DESCRIPCION DE LAS CAPAS DEL LOMBRIFILTRO.	76
6.2.4. MANTENCION DEL SISTEMA TOHA.	78
6.2.5. IMPLEMENTACION EN SECTORES RURALES.	79
6.2.6. CUADRO COMPARATIVO ENTRE SISTEMA SEPTICO Y SISTEMA TOHA.	81
CONCLUSIONES.	83
GLOSARIO	85
ANEXOS	95
BIBLIOGRAFIA.	105

INDICE DE FIGURAS.

	Página.
Figura 1. Clasificación de Sólidos Totales.	9
Figura 2. Bacteria (Escherichia coli.).	24
Figura 3. Protozoo (Vorticella.)	26
Figura 4. Hongo (Rhizopus stolonifer).	27
Figura 5. Alga (Euglena).	27
Figura 6.1. Fosa Séptica con Pozo Absorbente.	46
Figura 6.2. Fosa Séptica con Sistema de Drenes.	46
Figura 7. Fosa Séptica de 2 Compartimientos.	48
Figura 8.1. Pozo Absorbente.	53
Figura 8.2. Esquema de Infiltración a través de Pozo Absorbente.	54
Figura 9. Sistema de Drenes.	55
Figura 10. Eizenia Foetida.	61
Figura 11. Humus.	67
Figura 12. Esquema General del Sistema Tohá.	74
Figura 13. Capas del Lombrifiltro.	76

INDICE DE TABLAS.

	Página.
Tabla 1. Evolución de condiciones aeróbicas a anaerobias.	11
Tabla 2. Composición Típica del Agua Residual Doméstica.	20
Tabla 3. Clasificación de las bacterias según temperatura.	25
Tabla 4. Clasificación de las bacterias según fuentes de energía y carbono.	25
Tabla 5. Cuadro comparativo entre Sistema Séptico y Sistema Tohá.	82

INDICE DE ANEXOS.

	Página.
ANEXO I.	95
Tabla 1. Enfermedades Adquiridas por la Ingestión de Agua no Tratada.	96
Tabla 2. NORMA NCh 1333.Of78: Agua para riego.	98
Tabla 3. Sistemas Tohá instalados en Chile para tratamiento de aguas residuales y residuos industriales líquidos.	99
ANEXO II.	100
Figura 1. Planta Elevadora y Cámara de Rejas de una Residencia privada.	101
Figura 2. Sistema Tohá.	101
Figura 3. Sistema Tohá. (Sistema de distribución de agua con aspersores).	102
Figura 4. Sistema Tohá (Sistema de distribución de agua con dosificador de flujo).	102
Figura 5. Sistema Tohá , Colegio Campus Claret, Temuco.	103
Figura 6. Sistema Tohá , Parque Municipal de Maipú, Región Metropolitana.	103
Figura 7. Sistema Tohá , Residencia Privada, Región Metropolitana.	104
Figura 8. Sistema Tohá , Empresa Chilolac (Riles), Ancud.	104

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

La protección del medio ambiente se ha constituido, en todo el mundo, en un aspecto primordial del desarrollo global e integral de los países, formándose mayor conciencia de que debemos cuidarlo y protegerlo.

Dentro del ámbito de protección del medio ambiente, tiene un lugar destacado, sino el más, el referente a los recursos hídricos, sean estos mares, lagos, ríos, canales, napas subterráneas, etc. Su conservación, ausente de cualquier tipo de contaminación, permite asegurar la supervivencia de la población y de sus actividades productivas.

De esta manera surge el concepto de depuración o tratamiento de aguas residuales, a fin de minimizar el impacto que puedan causar en nuestro medio ambiente las constantes emanaciones y descargas producidas en él.

Actualmente existen en el mundo sistemas de tratamiento que han sido utilizados por mucho tiempo, denominados sistemas convencionales, donde sus características, ventajas y desventajas son muy conocidas, fruto de muchos años de estudio y seguimiento. Sin embargo las plantas de tratamiento convencionales son muy caras de construir, tienen altos costos de operación (especialmente eléctrica) y mantenimiento, requieren de personal calificado y generan subproductos indeseables (lodos).

Sin embargo para pequeñas localidades rurales, los métodos convencionales son impracticables debido a las características operacionales mencionadas (no se hace referencia a la eficiencia en la depuración de los sistemas), bajo este contexto surge la necesidad de buscar algún método alternativo al convencional, que lo haga

económicamente factible y auto sustentable su utilización para poder cumplir con las normas de emisión, protegiendo la salud de las personas y el medio ambiente.

En países como el nuestro son muchas las localidades rurales donde la implementación de tecnologías no convencionales haría factible su utilización; cabe destacar que en muchas de estas comunidades no existen sistemas de recolección de aguas servidas y la disposición final de las aguas se basa en la utilización de fosas sépticas o pozos negros, que en muchos casos, acarrea problemas de contaminación del medio ambiente (cursos de aguas o subsuelos), y en especial a la salud de los seres humanos (enfermedades gastrointestinales) por precariedad de saneamiento.

Atendiendo a lo señalado en los párrafos anteriores, el desarrollo de este tema pretende abordar específicamente, el uso del Sistema Séptico en los sectores rurales, planteándose como alternativa de reemplazo a este método, el “*Sistema Tohá*”, una tecnología de tratamiento no convencional que puede utilizarse en localidades rurales, dado por sus características: fácil de operar, no necesita de personal calificado, ecológica, economiza recursos, espacio físico, etc.

1.1. OBJETIVOS.

Objetivo General:

- Proponer un sistema ecológico para tratamientos de aguas residuales en sectores rurales en reemplazo del sistema séptico.

Objetivos Específicos:

- Proporcionar antecedentes generales sobre las aguas residuales y reconocer las consecuencias producidas por la contaminación de ésta en el medio ambiente.
- Comprender los mecanismos de depuración asociados al Sistema Tohá.
- Proporcionar antecedentes sobre los Sistemas Sépticos, en cuanto a eficiencia del tratamiento en la remoción de contaminantes, facilidades de operación y mantenimiento, etc. Esto con el fin de establecer las ventajas y desventajas del uso de este sistema.
- Recopilación de antecedentes de la lombriz *Eisenia Foetida*, que permitan contar con un marco teórico que ayude a evaluar la función de ésta en el Sistema Tohá.
- Proporcionar antecedentes sobre los Sistema Tohá, en cuanto a su operabilidad, mantenimiento, eficiencia en la remoción de contaminantes, etc.
- Determinar las ventajas y desventajas del Sistema Tohá aplicado en sectores rurales.

CAPITULO II.

2. ASPECTOS GENERALES SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES.

2.1. DEFINICION Y ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES .

Puede definirse agua residual, como el agua suministrada a una población que habiéndose aprovechado para diversos usos, ha quedado impurificada. La contaminación de las aguas es un término que está relacionado con el uso específico del agua y su origen puede ser, desde totalmente natural (aguas arsénicas en el norte de Chile) o producto de descarga de sistemas de alcantarillado doméstico o industrial. Hay muchas otras fuentes de contaminación de las aguas, tales como la contaminación del aire (lluvia ácida), determinadas prácticas agrícolas, aguas lluvias, etc.

El origen de las aguas residuales determina la composición y concentración de las sustancias presentes en ella. A continuación se detallan algunos aspectos generales del origen de las aguas residuales más comunes.

Las aguas residuales más comunes corresponden a:

➤ Aguas residuales domésticas.

Son las aguas de origen principalmente residencial y otros usos similares que en general son recolectados por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria). Contiene principalmente desechos humanos, animales y otros de tipo casero, además deben agregarse las aguas provenientes de infiltraciones subterráneas (Lacrampe, 1992).

➤ **Aguas residuales industriales.**

Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ella es bastante variable, dependiendo de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc). Así esta agua pueden variar desde aquellos con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, minería).

➤ **Aguas residuales pluviales.**

Proviene de escurrimientos superficiales de aguas lluvias, tales como los techos, pavimentos, y otras superficies naturales del terreno. La escorrentía generada por aguas lluvias es menos contaminada que las aguas residuales domésticas e industriales.

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Un agua residual puede caracterizarse por medio de sus constituyentes más comunes, los que dependerán del origen de esas aguas. A continuación se detallan las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales, describiendo la importancia de cada una de ellas en la calidad del agua. Además con la idea de tener una visión general de las magnitudes de las aguas residuales típicamente domésticas, se incluye una tabla donde se señala los valores típicos de éstos (Tabla nº 2).

2.2.1. CARACTERISTICAS FISICAS.

Dentro de éstas se pueden considerar las siguientes:

➤ **Partículas Sólidas.**

En un concepto general, los sólidos se definen como la materia que permanece como residuo después de someter a evaporación una muestra de agua a una temperatura entre 103 - 105 °C (Metcalf & Eddy, 1995).

Las características físicas del agua se ven modificadas según varíe su contenido total de sólidos, no soliendo superar normalmente las 1.000 ppm en las aguas residuales domésticas.

Sólidos Totales (ST): se definen como toda la materia que queda como residuo después de someter a evaporación una muestra de agua a temperaturas comprendidas entre 103-105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor (Metcalf & Eddy, 1995).

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

Sólidos Sedimentables (Ss): corresponden a los sólidos (de tamaño aprox. mayor a 10^{-2} mm.) que sedimentan en el fondo de un recipiente en forma de cono, llamado *Cono de Imhoff*, el cual puede ser de vidrio o plástico rígido, en donde se coloca un litro de muestra fresca y se deja en reposo durante un periodo de 60 minutos. Transcurrido este tiempo, se lee directamente en la gradación del cono, los mililitros de sólidos sedimentables, por litro de

muestra. Están constituidos aproximadamente de un 75% de sólidos orgánicos y 25% de inorgánicos (Dpto. de Sanidad del estado de Nueva York, 1964).

Los sólidos sedimentables constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

Sólidos Suspendidos (SS): por definición corresponden a la fracción de sólidos que es retenida por el filtro, y que posteriormente queda como residuo, después de someter a evaporación a temperaturas entre 103-105 °C.

Estos sólidos, de tamaño mayor a 10^{-3} mm., pueden separarse del agua servida por medios físicos o mecánicos como por ejemplo en la filtración. Están constituidos por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos.

Sólidos Disueltos (SD): por definición corresponden a la fracción de sólidos que no es retenida por el filtro y que posteriormente queda como residuo, después de someter a evaporación a temperaturas entre 103-105 °C. Determinar este parámetro nos da una estimación del contenido de sales disueltas presentes en la muestra (Metcalf & Eddy, 1995).

Los sólidos disueltos, están constituidos de sólidos en estado coloidal y estado disuelto, la fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 10^{-3} y 10^{-6} mm. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación, por lo general, se requiere una coagulación u oxidación biológica complementada con la sedimentación para eliminar la fracción coloidal.

Los sólidos disueltos contienen aproximadamente un 40% de materia orgánica y un 60 % de materia inorgánica.

Sólidos Fijos y Volátiles: se utiliza esta clasificación para determinar el contenido orgánico e inorgánico presente en una muestra. Al incinerar una muestra de agua a temperaturas del orden de los 550 °C, las cenizas resultantes corresponden a los sólidos inorgánicos (Fijos) y la fracción orgánica que se oxidará y desaparecerá en forma de gas, son los sólidos orgánicos (Volátiles) (Metcalf & Eddy, 1995).

Los sólidos orgánicos son en general los desechos orgánicos, producto de la vida animal y vegetal en donde también se incluyen compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinadas algunas con nitrógeno, azufre o fósforo. Están sujetos a degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos y además son combustibles.

Los sólidos inorgánicos, son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación, excepto los sulfatos los cuales bajo ciertas condiciones se descomponen en sustancias más simples por ejemplo sulfuros. A estos sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava y sales minerales. En general los sólidos inorgánicos no son combustibles.

En la Figura 1 se muestra la clasificación de los sólidos totales, según lo descrito previamente.

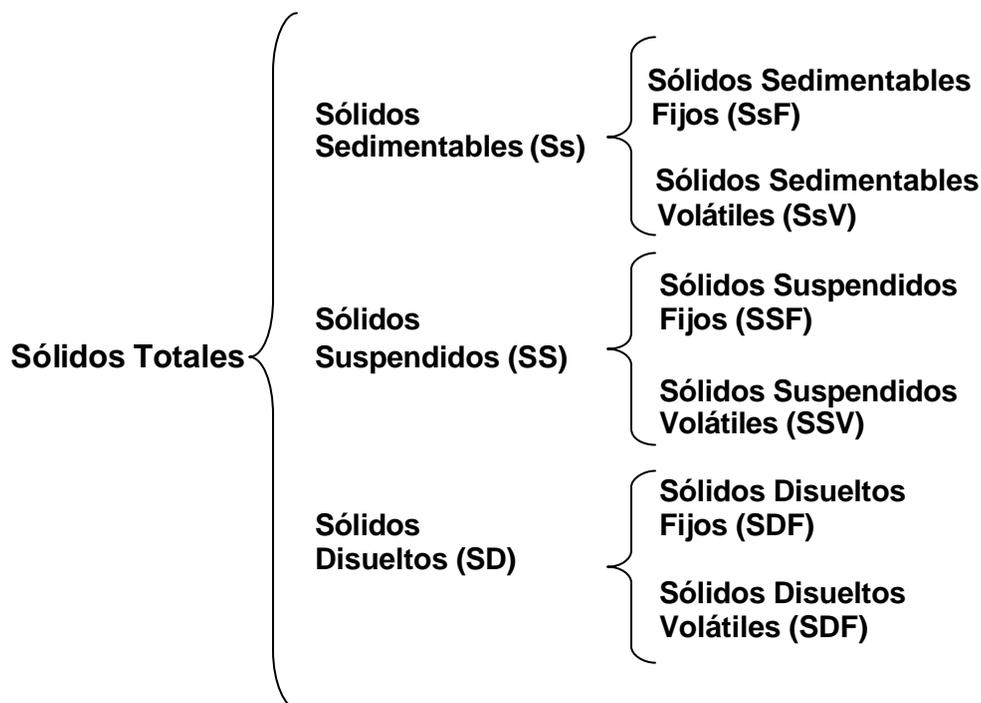


FIGURA 1. Clasificación de Sólidos Totales.

(Fuente: elaboración propia.)

➤ **Temperatura.**

La temperatura, tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se llevan a cabo en el agua, por ejemplo, en la solubilidad de los gases, el efecto de la viscosidad sobre la sedimentación y en las reacciones biológicas, que tienen una temperatura óptima para poder realizarse.

La actividad biológica es mayor a temperaturas más altas, hasta los 30°C aproximadamente. A medida que aumenta la temperatura disminuye la viscosidad, obteniendo como resultado una mayor sedimentación.

Al aumentar la temperatura del agua producto de la descarga de las aguas servidas, disminuye la solubilidad del oxígeno en ésta, lo que asociado al desarrollo bacteriano, ocasiona un agotamiento acelerado del oxígeno disuelto. El problema se agudiza cuando el flujo es lento y la temperatura ambiente alta.

➤ **Olor.**

La evacuación de las aguas residuales frescas, son prácticamente inodoras. Los olores a podrido tales como: el ácido sulfúrico, mercaptanos (olor a coles podridas), amoníaco y aminas (olor a pescado), indol, escatol, u otros productos de descomposición, indican claramente que las aguas están en estado de descomposición o aguas sépticas (Lacrampe, 1992).

➤ **Color.**

Generalmente, la coloración es indicadora de la composición y concentración de las aguas residuales, variando del gris al negro según la cantidad de materia orgánica que contenga. Las aguas residuales normales y muy frescas se caracterizan por su color gris. Ahora, si su color es negro o demasiado oscuro, podría indicar que están alteradas o son sépticas y con mayor razón si desprenden olores sépticos. Esto afecta a la difusión de la radiación en el medio (y por tanto a la fotosíntesis) a la vez que provoca una mayor absorción de energía solar, por lo que la temperatura puede aumentar ligeramente respecto a la esperable ¹.

➤ **Turbidez.**

La turbidez es debida a la existencia en el agua de materia en suspensión de pequeño tamaño: limos, arcillas, etc; y cuanto mayor es, mayor es la contaminación del agua ¹.

¹ Información disponible en la página web de la Universidad de Sevilla. Tecnología Ambiental (<http://www.us.es/grupotar/tar/ebliblioteca/documentacion/arus.htm>)

2.2.2. CARACTERISTICAS QUIMICAS.

Dentro de éstas se pueden considerar las siguientes:

➤ **Materia Orgánica.**

La materia orgánica es el factor característico de las aguas residuales domésticas debido a las proteínas, hidratos de carbono, aceites y grasas procedentes de excretas y residuos domésticos vertidos. Su característica principal y más importante es la reducción del contenido en oxígeno disuelto, lo que provoca:

- ✓ Desaparición de especies exigentes en oxígeno disuelto.
- ✓ Evolución de condiciones aeróbicas a anaerobias. Esto además afecta a la composición química del agua además de la biológica, pues según que tipo de poblaciones de seres vivos se encuentren en el agua, las reacciones biológicas darán productos diferentes, como se detalla a continuación:

TABLA Nº 1. Evolución de condiciones aeróbicas a anaerobias ².

ELEMENTO DE PARTIDA	PRODUCTOS	
	<u>CONDICIONES AEROBICAS</u>	<u>CONDICIONES ANAEROBIAS</u>
C	CO ₂	CH ₄
N	NH ₃ y HNO ₃	NH ₃ y aminas
S	H ₂ SO ₄	H ₂ S
P	H ₃ PO ₄	PH ₃ y compuestos de fósforo

² Información disponible en la página web de la Universidad de Sevilla. Tecnología Ambiental (<http://www.us.es/grupotar/tar/ebliblioteca/documentacion/arus.htm>)

Además, nótese que los productos que aparecen en condiciones anaerobias son causantes de olores. La materia orgánica también afecta a la transparencia y color del agua, así como otros muchos parámetros .

La forma habitual de evaluar el grado de contaminación por materia orgánica es a través de la medición del oxígeno necesario para conseguir la oxidación de la materia orgánica, bien por “vía biológica” (DBO) o por “vía química” (DQO), o mediante la medición del dióxido de carbono producido en la incineración y pirólisis de la materia orgánica (COT).

➤ **pH.**

Mide la concentración de iones hidrógeno en el agua, teniendo valores que van desde 0 (muy ácido) a 14 (muy alcalino), siendo $\text{pH} = 7$ el valor neutro. Si es bajo, indica la acidificación del medio, por el contrario, un pH elevado indica una baja concentración de estos iones, y por tanto, una alcalinización del medio.

El pH es un factor clave en el crecimiento de los microorganismos, siendo un estrecho rango el ideal para el crecimiento de éstos. El agua con una concentración adversa de ion de hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos y si la concentración no se altera antes de la evacuación, el efluente puede modificar la concentración de las aguas naturales.

➤ **Alcalinidad.**

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco ³. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio.

³ Información disponible en la página web de la Universidad de Chile.

(<http://www.tamarugo.cec.uchile.cl>.)

La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH.

Normalmente, el agua residual es bastante alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea y los materiales añadidos en los usos domésticos. La alcalinidad presente se expresa en términos de carbonato de calcio, CaCO_3 (Quezada, 2001).

➤ **Cloruro.**

Responsable por el sabor salobre en el 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/lit), aunque una concentración de hasta 1500 (mg/lit) es poco probable que sea dañina para consumidores en buen estado de salud (Quezada, 2001).

➤ **Compuestos Tóxicos.**

Es frecuente que en las aguas residuales domésticas aparezcan pequeñas cantidades de tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos, y que provienen de su uso como tales en la vida cotidiana (desinfectantes, insecticidas y biocidas en general) o por formar parte de sustancias vertidas o puestas en contacto con el agua, como suele ocurrir con ciertos metales y tóxicos inorgánicos. Estos metales y compuestos inorgánicos, son necesarios para el desarrollo de la vida, pero a partir de ciertas concentraciones pueden inhibirla ⁴.

⁴ Información disponible en la página web de la Universidad de Sevilla. Tecnología Ambiental (<http://www.us.es/grupotar/tar/ebliblioteca/documentacion/arus.htm>)

➤ **Nitrógeno Total.**

Es un elemento importante, ya que las reacciones biológicas solo pueden realizarse en presencia de suficiente nitrógeno. El contenido total en nitrógeno está compuesto por:

- i) *Nitrógeno Orgánico*: en forma de proteínas, aminoácidos y urea.
- ii) *Nitrógeno Amoniacal*: como sales de amoníaco o como amoníaco libre.
- iii) *Nitrógeno de Nitritos*: una etapa intermedia de oxidación que normalmente se presenta en grandes cantidades.
- iv) *Nitrógeno de Nitratos*: producto final de la oxidación de nitrógeno.

En el agua residual reciente, el nitrógeno se halla primariamente combinado en forma de materia proteínica y urea, aunque su paso a la forma amoniacal se produce enseguida. La edad de un agua residual puede medirse en función de la proporción de amoníaco presente. En medio aerobio, la acción de las bacterias puede oxidar el nitrógeno amoniacal a nitratos y nitritos.

Las concentraciones relativas de las diferentes formas del nitrógeno dan una indicación útil de la naturaleza y del tipo de contaminación. Es decir, si el agua contiene nitrógeno orgánico y amoniacal altos, con poco nitrógeno de Nitritos y Nitratos, se considera insegura debido a su reciente contaminación. Por otro lado si no contiene nitrógeno orgánico y algo de nitrógeno de nitrato, se considera insegura ya que la nitrificación ya ocurrió y su contaminación no podría ser reciente.

➤ **Fósforo Total.**

El fósforo es esencial en el crecimiento de organismos y puede ser el nutriente que limita la productividad primaria en un cuerpo de agua. Las descargas de aguas residuales (domésticas e industriales) o drenajes agrícolas ricos en fósforo pueden estimular el crecimiento de micro y macroorganismos fotosintéticos (principalmente algas) en cantidades excesivas, proceso denominado Eutrofización. Dadas las

razones anteriormente expuestas, existe actualmente mucho interés en controlar la cantidad de los compuestos de fósforo que entran a las aguas superficiales a través de los vertidos de aguas residuales domésticas, industriales y de las escorrentías naturales.

➤ **Oxígeno Disuelto.**

El oxígeno es poco soluble en el agua y es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Para mantener las formas superiores de vida su presencia es esencial.

Las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas con Oxígeno Disuelto (OD), pero la demanda de oxígeno de los desechos puede ser consumido rápidamente. Las fuentes de oxígeno disuelto son la aireación natural y la fotosíntesis, su concentración y solubilidad en el agua depende de factores como la temperatura, movimientos de curso receptor, salinidad etc.

La concentración de oxígeno en cursos de aguas que presentan baja concentración suele variar entre 7 a 10 mg/lit, concentraciones inferiores a 2 mg/lit puede tener serios efectos en la vida acuática superior (Quezada, 2001).

➤ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).**

La cantidad de oxígeno utilizada durante la descomposición de la materia orgánica es lo que se conoce como "***Demanda Bioquímica de Oxígeno***" (DBO). 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) (Ramalho R.S., 1996).

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 5 días a una temperatura de 20 °C (Metcalf & Eddy, 1995).

La oxidación se realiza en dos etapas: en la primera etapa se oxidan los compuestos carbonáceos y en la segunda, los compuestos nitrogenados. En los análisis rutinarios, la DBO se considera sólo la primera etapa, ya que experimentalmente en 5 días la DBO ejercida es 70% a 80% de la demanda total.

La DBO se calcula de la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y final. La DBO₅ suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas servidas domésticas e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas.

➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

La DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de Dicromato de Potasio, en una solución de Ácido Sulfúrico y convertirla en dióxido de carbono y agua, en consecuencia la DQO representaría la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar químicamente una muestra. (Ramalho R.S., 1996).

Las principales limitaciones de la DQO son: no revelar si la materia orgánica es o no biodegradable, no dar una idea del porcentaje de materia biológicamente activa que sería estabilizada en un flujo.

Las principales ventajas de la DQO son: el corto tiempo requerido para realizar el análisis (sólo 3 horas), y que ayuda localizar condiciones tóxicas y materias no biodegradables.

El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO₅, puesto que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. Es común utilizar como indicador de estabilidad la razón DQO/DBO; en aguas residuales domésticas esta razón se encuentra entre 1,8 – 2,2 y en efluentes muy estabilizados la relación puede llegar hasta valores cercanos a 10.

2.2.3. CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS.

El análisis bacteriológico de los abastecimientos de agua es el parámetro más sensible. Casi todos los desechos orgánicos contienen grandes cantidades de microorganismos: el agua servida contiene más de 10^6 col/ml, pero los números reales presentes regularmente no se determinan. Después del tratamiento convencional del agua servida, el efluente todavía contiene una gran cantidad de microorganismos, al igual que muchas de las aguas superficiales naturales. Los tipos y números de los diferentes grupos de microorganismos están relacionados con la calidad del agua y otros factores ambientales.

Una característica de la mayoría de las aguas residuales es que contienen una amplia variedad de microorganismos que forman sistema ecológico balanceado. Estos organismos microscópicos vivos pertenecen a dos tipos generales: bacterias y otros organismos vivos más complejos.

➤ **Bacterias.**

Éstas componen la mayor parte de los microorganismos presentes en las aguas residuales. Las bacterias para su desarrollo necesitan alimento como todos los organismos, éstas cuando se encuentran en las aguas residuales obtienen dicho alimento de las distintas sustancias presentes en el agua dando origen a compuestos más estables.

Existen diversos tipos de bacterias que pueden ser: parásitas (proviene de las materias excrementicias que se vierten a las aguas residuales) se les conoce como patógenas porque producen enfermedades (cólera, tifoidea, disentería, e infecciones de carácter intestinal); o saprófitas son las que se alimentan de materia orgánica muerta, degradando los sólidos orgánicos, estas no son de origen patógeno

y son de vital importancia en los procesos de tratamiento de las aguas residuales (Dpto. de Sanidad del Estado de Nueva York, 1964).

Tanto las bacterias parásitas como las saprófitas, necesitan de la presencia del oxígeno para su respiración, además de alimento. Un tipo de éstas lo obtienen del oxígeno disuelto del agua residual, estos organismos se conocen como **bacterias aerobias** y la degradación que realizan de los sólidos orgánicos se llama **descomposición aerobia**, oxidación o degradación. Este proceso (oxidación) se lleva a cabo en presencia de oxígeno disuelto, sin que se produzcan malos olores o condiciones desagradables.

Otros tipos de bacterias deben obtener el oxígeno contenido en los sólidos orgánicos e inorgánicos, produciendo al mismo tiempo la degradación de los sólidos (orgánicos e inorgánicos). A este tipo de microorganismos se le denomina **bacterias anaerobias** y al proceso de degradación **descomposición anaerobia** o putrefacción, es decir, es la descomposición en ausencia de oxígeno disuelto, que da origen a malos olores y condiciones desagradables.

Además, existe ciertos tipos de organismos aerobios que tiene la capacidad de adaptarse y sobrevivir sin oxígeno disuelto, a estos se les denomina **bacterias aerobias facultativas**; y otros que realizan el proceso contrario, es decir, algunas variedades de bacterias anaerobias pueden adaptarse y existir en presencia de oxígeno disuelto, a estas se les llama **bacterias anaerobias facultativas**.

➤ **Organismos Microscópicos.**

Existen en las aguas residuales, además de bacterias otros organismos vivos de tamaño microscópico, pero que representan una menor densidad dentro de la composición biológica de las aguas. Algunos son animales y otros vegetales. Todos provienen del suelo o de los desechos orgánicos que van a formar parte de las aguas servidas. Algunos son capaces de moverse y otros no. Todos requieren alimentos,

oxígeno y humedad. Pueden ser del tipo aerobio, anaerobio o facultativo, y participan también en la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales (Dpto. de Sanidad del Estado de Nueva York, 1964).

➤ **Organismos Macroscópicos.**

Además de los microorganismos presentes en las aguas residuales, también pueden existir organismos de mayor tamaño que forman parte en la descomposición de la materia orgánica, a éstos se le denomina **macroscópicos**, es decir, visible a simple vista. Se encuentran en su mayoría en aguas residuales densamente contaminadas (Dpto. de Sanidad del Estado de Nueva York, 1964).

➤ **Virus.**

Son microorganismos de origen patógeno causantes de enfermedades como la hepatitis y la poliomielitis. Estos más que participar en el proceso de la descomposición de las aguas residuales son indicadores de índices de contaminación microbiana ⁵.

⁵ Información disponible en la página web de la Universidad de Sevilla. Tecnología Ambiental (<http://www.us.es/grupotar/tar/ebliblioteca/documentacion/arus.htm>)

TABLA Nº 2. Composición típica del agua residual doméstica.

(Fuente: Metcalf & Heddy, 1995.)

CONSTITUYENTES	CONCENTRACIÓN		
	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
- DBO ₅ 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
Amoníaco libre	12	25	50
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
- Fósforo (total como P)	4	8	15
Orgánico	1	3	5
Inorgánico	3	5	10
- Cloruros	30	50	100
- Sulfato	20	30	50
- Alcalinidad (como CaCO ₃)	50	100	200
- Grasa	50	100	150
- Coliformes totales (n.º/100ml)	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁹

*Nota: Concentraciones en mg/l.***2.2.4. CONSECUENCIAS PRODUCIDAS POR LA CONTAMINACION.**

Cualquier cuerpo de agua es capaz de asimilar cierta cantidad de contaminantes sin ser afectado seriamente debido a los factores de dilución y autopurificación. Si se sobrepasa un determinado umbral se altera la naturaleza del agua receptora y deja de ser adecuada para sus diferentes usos.

Habitualmente el agua contaminada se vierte en las cuencas fluviales y desde allí se desplaza hacia las zonas costeras de océanos y lagos, los que absorben las materias tóxicas que son consumidas por los seres vivos que las habitan. El agua

contaminada no se puede consumir para bebida, para aseo personal, para producción ni preparación de alimentos. Al mismo tiempo, ella afecta los sistemas biológicos naturales provocando niveles peligrosos de residuos orgánicos y metálicos en los peces y en otras formas de vida marina. La contaminación también puede provocar una fertilización excesiva (eutrofización), lo que le hace perder el oxígeno que requiere la vida marina. Sin embargo, no solo el agua superficial se contamina; también el agua subterránea, que puede transportar los contaminantes a grandes distancias.

La contaminación del agua es un problema complejo, por lo que es de gran importancia comprender los efectos de la contaminación y entre los cuales podemos señalar:

- ✓ Riesgos para la salud humana. (Ver en anexo 1, Tabla 1).
- ✓ Destrucción y contaminación de la vida marina y acuática.
- ✓ Reducción de la cantidad de agua disponible para uso doméstico, industrial y agrícola.
- ✓ Destrucción de las pesquerías industriales.
- ✓ Deterioro y destrucción de zonas de recreación en las costas, ríos y riberas.

CAPITULO III.

3. ANTECEDENTES SOBRE EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

3.1. GENERALIDADES.

El objetivo de los diferentes tipos y niveles de tratamiento es en general, reducir la carga de contaminantes del vertido (o agua residual) y *convertirlo en inocuo para el medio ambiente y la salud humana*.

A continuación se realiza una introducción general a los mecanismos de depuración, que intervienen en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Para comenzar podemos decir que los mecanismos de depuración se clasifican en tres categorías:

- Mecanismos físicos
- Mecanismos químicos
- Mecanismos biológicos

Entre los mecanismos o proceso físicos podemos mencionar: desengrasado, decantación, sedimentación, adsorción y filtración mecánica.

Entre los mecanismos químicos podemos mencionar: floculación y coagulación, oxidación y reducción, intercambio iónico, neutralización y precipitación química.

Entre los mecanismos biológicos se hace mención a sistemas de tratamiento en que la diferencia sustancial, para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica,

consiste en el medio de cultivo empleado, por ejemplo, sistemas de Lodos Activados utilizan cultivo biológico en suspensión, en tanto que los Biofiltros, cultivo biológico adherido.

Como se puede ver existen muchos factores o procesos que pueden intervenir en un sistema de tratamiento de aguas, quedando determinada la elección del proceso por las características del afluente a tratar y/o del efluente a conseguir. Sin embargo, un mismo sistema de tratamiento de aguas puede estar compuesto por varios procesos, ya sea físicos, químicos o biológicos, teniendo lugar en reactores separados o en uno que los conjugue.

3.2. MECANISMO DE REMOCIÓN ASOCIADO A LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA.

Esta tecnología de tratamiento no convencional (Sistema Tohá o Lombrifiltro), es principalmente de carácter Biológico. Para comprender de mejor manera el proceso de depuración asociado a esta tecnología, a continuación se revisa a grandes rasgos, antecedentes generales del tratamiento Biológico.

Cabe destacar que como objetivo principal de esta tecnología de tratamiento, está el remover la contaminación por materia orgánica carbonosa del agua servida. Sin embargo, también es importante conocer la aplicabilidad que tiene la remoción de nutrientes, razón por la cual se incluyen algunos conceptos asociados a la remoción biológica de nutrientes.

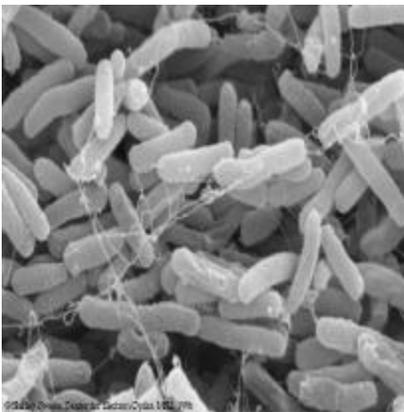
3.2.1. EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. 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 fósforo. (Metcalf & Eddy, 1995)

La depuración biológica se fundamenta gracias a la acción depuradora que ejercen los microorganismos sobre las aguas servidas, desde donde éstos obtienen materia orgánica y nutrientes para sus procesos metabólicos. Puede considerarse de esta manera que un sistema de tratamiento biológico trata de proporcionar las condiciones favorable que provoquen el máximo desarrollo bacteriano posible.

Los principales microorganismos responsables del tratamiento biológico de las aguas residuales son: bacterias, protozoos y rotíferos, hongos y algas. Sin embargo dentro de estos microorganismos, juega un importante papel la acción de las bacterias, encargadas de la descomposición de la materia orgánica del efluente.

BACTERIAS.



Son los microorganismos más importantes en el tratamiento biológico, producen la descomposición de la materia orgánica y son los elementos esenciales que garantizan la presencia de la vida, manteniendo los ciclos esenciales del nitrógeno y carbono, procesos conocidos como metabolismo bacteriano.

FIGURA 2. *Escherichia coli*.⁶

⁶ Imagen disponible en la página web del Colegio Irabia (<http://www.irabia.org/web/ciencias/microbiologia/microbios/bacterias.htm>)

Las condiciones ambientales como: pH y temperatura, juegan un papel importante en la supervivencia y crecimiento de las bacterias. Si bien las bacterias pueden sobrevivir en un intervalo bastante amplio de valores de temperatura y pH, el crecimiento óptimo suele ocurrir en un intervalo muy restringido de valores de estos dos parámetros.

En el caso del pH, la mayoría de las bacterias no toleran niveles por debajo de 4,0 ni superiores a 9,5. En general, el pH óptimo para el crecimiento bacteriano se sitúa entre 6,5 y 7,5.

Según el intervalo de temperatura en el que el desarrollo bacteriano es óptimo, las bacterias pueden clasificarse como:

TABLA Nº 3. Clasificación de las bacterias según temperatura.

(Fuente: Metcalf & Heddy, 1995).

Tipo	Temperatura, °C	
	Intervalo	Óptimo
Psicrófilas *	-10 – 30	12 – 18
Mesófilas	20 – 50	25 – 40
Termófilas	35 – 75	55 – 65

* También llamadas Criófilas.

Según las fuentes de energía y carbono, las bacterias pueden clasificarse como:

TABLA Nº 4. Clasificación de las bacterias según fuentes de energía y carbono.

(Fuente: Metcalf & Heddy, 1995).

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

Finalmente como se dijo en el punto 2.2.3., según el comportamiento frente al oxígeno libre, las podemos clasificar como:

- Aeróbica: requieren de oxígeno libre.
 - Obligadas
 - Facultativas
- Anaeróbicas: no requieren presencia de oxígeno libre.
 - Estrictas
 - Facultativas

PROTOZOOS Y ROTÍFEROS.



FIGURA 3. Vorticella⁷.

Los protozoos en su mayoría son heterótrofos aerobios, aunque algunos son anaerobios. Los protozoos suelen ser mayores que las bacterias, y suelen alimentarse de ellas para la obtención de energía. De hecho, al consumir las bacterias y materia orgánica, los protozoos actúan como depuradores de los efluentes de procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas.

Los rotíferos es un animal aerobio, heterótrofo. Al igual como los protozoos actúan como depuradores de los efluentes; son muy eficaces en la eliminación de bacterias dispersas y floculadas, así como pequeñas partículas de materia orgánica. Los rotíferos, son indicadores de un sistema biológico particularmente estable.

⁷ Imagen disponible en la página web del Colegio Irabia
(<http://www.irabia.org/web/ciencias/microbiologia/microbios/protozoo.htm>)

HONGOS.



FIGURA 4. *Rhizopus stolonifer*⁸.

Los hongos son protistas heterótrofos, no fotosintéticos y en su mayoría son aerobios estrictos. Algunos hongos pueden participar en la formación de los flóculos en ciertas condiciones: contaminación rica en glúcidos, pH bajo y deficiencias de nitrógeno y fósforo.

La capacidad de los hongos para sobrevivir en condiciones de pH bajos y escasa disponibilidad de nitrógeno los convierte en organismos de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales de origen industrial y en la formación de compuestos a partir de residuos sólidos orgánicos.

ALGAS.

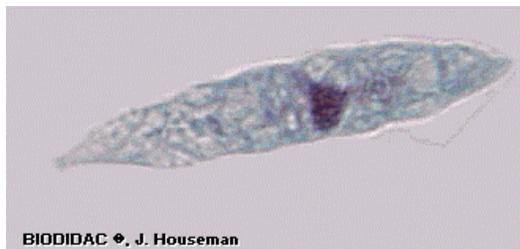


FIGURA 5. *Euglena*⁹.

Las algas son autótrofas y fotosintéticas. Su importancia en los procesos de tratamiento biológico radica en dos hechos: en la lagunas de estabilización, la capacidad de las algas para generar oxígeno por fotosíntesis es vital para la ecología del medio ambiente acuático y la presencia de las algas es necesaria para suministrar el oxígeno, requerido por las bacterias para su respiración aerobia.

⁸ Imagen disponible en la página web del Colegio Irabia
(<http://www.irabia.org/web/ciencias/microbiologia/microbios/hongos.htm>)

⁹ Imagen disponible en la página web del Colegio Irabia
(<http://www.irabia.org/web/ciencias/microbiologia/microbios/algas.htm>)

3.2.1.1 REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA CARBONACEA.

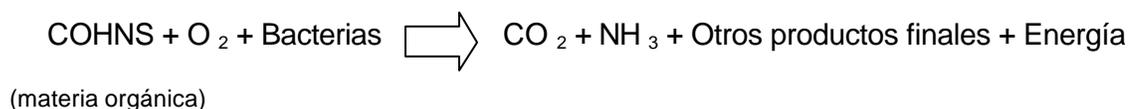
Las bacterias se encargan de degradar la materia orgánica, a través de su acción enzimática, desde donde obtienen energía y nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Estos procesos pueden desarrollarse tanto vía aerobia, anaerobia o facultativa, utilizando sistema de cultivo fijo o en suspensión.

Así pues, el metabolismo de las células bacterianas se efectúa mediante reacciones químicas de *oxidación* y de *síntesis*, las cuales son producto del resultado de distintos procesos de la célula, que se desarrollan a través de numerosas reacciones catalizadas por enzimas que oxidan una fracción de la materia orgánica dando lugar a productos finales y liberando la energía necesaria para la síntesis de nuevo tejido celular, es decir nuevas células bacterianas.

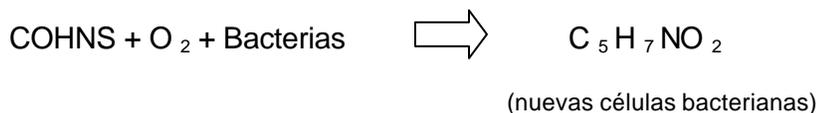
En ausencia de materia orgánica, el tejido celular será utilizado endógenamente, produciéndose productos gaseosos finales y materia residual. En la mayoría de los sistemas de tratamiento biológicos estos tres procesos (oxidación, síntesis y respiración endógena) tienen lugar simultáneamente.

Estequiométricamente, los tres procesos pueden representarse como sigue para un proceso aerobio (Metcalf & Eddy, 1995):

- **Oxidación:**



- **Síntesis:**



- **Respiración endógena:**



3.2.1.2. REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES.

Al igual que la remoción de materia orgánica carbonacea, la remoción de nutrientes (N y P) también es posible mediante un sistema de tratamiento de tipo biológico, requiriéndose para este efecto condiciones específicas de operación, dado que en general el proceso es sensible ante los factores medioambientales.

3.2.1.2.1. REMOCIÓN DE NITRÓGENO.

El nitrógeno en el agua residual puede existir de cuatro formas: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal y como nitrógeno en forma de nitritos y nitratos. El nitrógeno orgánico y amoniacal son las formas predominantes de un agua residual no tratada. Los problemas asociados con las descargas de nitrógeno al medio ambiente se relacionan con la demanda de oxígeno que el nitrógeno amoniacal pueda ejercer y, siendo el nitrógeno un nutriente, el peligro de **eutroficación** que pueda ocasionar en lagos y lagunas principalmente.

Los dos principales mecanismos para la remoción de nitrógeno son la asimilación bacteriana y el proceso de nitrificación – desnitrificación. 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 retornará al agua residual (Metcalf & Eddy, 1995).

El proceso de nitrificación – desnitrificación consta de dos etapas, en la primera etapa (nitrificación) el amoniaco es oxidado convirtiéndose en nitrito (NO_2) y posteriormente en nitrato (NO_3), sin embargo esto no implica una remoción de nitrógeno sino una transformación de un estado a otro. En la segunda etapa

(desnitrificación) el nitrato es reducido a nitrógeno gaseoso (N_2) estado en el cual es removido.

➤ **Nitrificación biológica.**

La nitrificación es un proceso aerobio, en donde dos son las bacterias responsables de la nitrificación: ***Nitrosomas*** y ***Nitrobacter***. Las *Nitrosomas* oxidan el amoníaco a nitrito, mientras que las bacterias *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 amplia variedad de inhibidores (orgánicos e inorgánicos) que pueden impedir el crecimiento y la actividad de estos organismos, por ejemplo altas concentraciones de amoníaco y ácido nitroso pueden ser inhibidoras.

El efecto del pH también es significativo, su rango óptimo de valores es estrecho, entre 6.5 a 7.5; aunque existen sistemas aclimatados a pH más bajos que han tenido éxito en la nitrificación.

La temperatura ejerce una tremenda influencia en el crecimiento de las bacterias nitrificantes, sin embargo, el cuantificar este efecto es difícil de establecer.

Concentraciones de oxígeno disuelto (OD) sobre 1 mg/l son esenciales para que ocurra la nitrificación, si los niveles de OD bajan de este valor, el oxígeno comienza a ser el factor limitante y la nitrificación baja o se suspende.

Finalmente los procesos de nitrificación pueden ser realizados en medios de cultivo en suspensión y cultivo adherido.

En los procesos de cultivo en suspensión, la nitrificación puede producirse ya sea en el mismo reactor usado en el tratamiento de la materia orgánica carbonacea (proceso denominado nitrificación en una etapa), o en un reactor de cultivo en

suspensión independiente, situado a continuación del tratamiento convencional de Lodos activados. La oxidación de amoníaco a nitrato puede ser llevado a cabo ya sea con aire o con oxígeno puro.

Al igual que los procesos de cultivo en suspensión, la nitrificación en los procesos de cultivo adherido pueden ser llevados a cabo en el mismo reactor utilizado para la remoción de la materia orgánica carbonacea, o en un reactor independiente. Los Filtros Percoladores, Biodiscos y los Filtros de Alta Carga se pueden utilizar para los sistemas de nitrificación. Estos sistemas son resistentes a peaks de carga, pero pueden ser susceptibles a los peaks de amoníaco. En sistemas combinados de oxidación carbonacea - nitrificación, las capas biológicas son de mayor espesor que un reactor de nitrificación. Bajas cargas de DBO solubles, necesario para promover el crecimiento de bacterias nitrificantes, explican la diferencia en el espesor de la capa biológica. Cargas muy altas en un sistema combinado pueden producir un excesivo crecimiento de la capa biológica y generar problemas de arrastre de sólidos (lodos).

➤ **Desnitrificación biológica.**

La desnitrificación es un proceso anaerobio. Una gran variedad de bacterias intervienen en el proceso de la desnitrificación, entre las cuales podemos citar a: ***Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* y *Spirillum***. Estas bacterias son heterótrofas capaces de producir la reducción de nitrato, en condiciones anóxicas (sin oxígeno), en dos pasos. El primer paso es el proceso inverso a la nitrificación, vuelve a transformar el nitrato a nitrito. El segundo paso es la producción de óxido nítrico, óxido nitroso y nitrógeno gaseoso, los cuales son compuestos gaseosos y se pueden liberar a la atmósfera (Metcalf & Eddy, 1995).

Las bacterias anaeróbicas obtienen energía para el crecimiento de la conversión de nitrato a nitrógeno gaseoso, requiriendo una fuente de carbono para la síntesis celular. Debido a que los efluentes nitrificados son bajos en materia carbonacea se requiere de un fuente externa de carbono. En algunos sistemas de desnitrificación biológica la entrada de aguas servidas o tejido celular es utilizado para proveer la necesidad de carbono.

En sistemas desnitrificadores, la concentración de OD es el parámetro crítico. La presencia de oxígeno disuelto evitará la acción enzimática de las bacterias necesarias para la desnitrificación. La alcalinidad producida en la desnitrificación producirá un incremento en el pH. El pH óptimo está entre 7 y 8 con diferentes valores óptimos para diferentes poblaciones bacterianas. La temperatura afecta a las tasas de crecimiento microbiano y a la tasa de remoción de nitratos. Los organismos son sensibles a cambios en la temperatura.

Al igual que la nitrificación, la desnitrificación pueden ser llevadas a cabo en medios de cultivos en suspensión y cultivo adherido. Los sistemas de cultivo en suspensión usualmente utilizados son reactores tipo flujo pistón o Lodos Activados, posteriores a cualquier proceso de nitrificación.

Debido a que el nitrógeno gaseoso formado en las reacciones de desnitrificación dificulta la sedimentación de los líquidos mezclados, antes del clarificador de la desnitrificación se debe instalar un reactor para la eliminación del nitrógeno gaseoso.

La desnitrificación en los procesos de cultivo adherido, se lleva a cabo en una columna que contiene piedras o alguno de los diversos materiales sintéticos sobre donde crecen las bacterias.

3.2.1.2.2. REMOCIÓN BIOLÓGICA DE FÓSFORO.

El fósforo se encuentra en las aguas residuales en forma de ortofosfato (PO_4^{-3}), polifosfato (P_2O_7) y fósforo orgánico. Siendo los dos últimos componentes cerca del 70% del fósforo proveniente de un agua residual doméstica.

Los microbios utilizan fósforo en la síntesis celular y transporte de energía. Como consecuencia de ello, entre el 10 y 30 % del fósforo presente es removido en un tratamiento biológico secundario. Para conseguir bajos niveles de concentración en el efluente, se requiere que los microorganismos consuman más fósforo del requerido para sus procesos celulares normales y síntesis, lo que puede ser logrado bajo ciertas condiciones aerobias. De igual manera, si se está en presencia de condiciones anóxicas el fósforo puede ser liberado de las células. En consecuencia, la remoción biológica del fósforo puede ser producida bajo una secuencia de condiciones ambientales favorables dentro del reactor de tratamiento.

La bacteria *Acinetobacter* es uno de los principales organismos responsables de la remoción biológica del fósforo. En condiciones anaerobias, estos organismos reaccionan a los Ácidos Grasos Volátiles (AGVs) presentes, liberando fósforo almacenado. Los AGVs son un importante substrato para la *Acinetobacter* durante la competencia por la supervivencia con los organismos heterótrofos (Metcalf & Eddy, 1995). Cuando una zona aeróbica es seguida por una zona anaerobia, estos organismos exhiben niveles superiores a los normales en el consumo de fósforo, donde no sólo lo utilizan para mantener la actividad celular, síntesis, y transporte de energía requerida, sino que también lo almacenan para su uso posterior.

El lodo producido contendrá el exceso de fósforo que deberá ser descartado o removido y tratado en un lugar destinado a remover el exceso de fósforo.

En resumen para la remoción de fósforo se requiere la exposición de los microorganismos a zonas anaerobias seguida de una zona aeróbica, dentro del mismo reactor o en reactores separados, más condiciones ambientales favorables.

3.3. DESINFECCION.

La desinfección es un proceso de destrucción o inactivación de los microorganismos patógenos que pueda haber en el agua que a sido sometida a los tratamientos primarios o secundarios.

Los efectos de inactivación dependen del tipo de microorganismos, de la dosis y del tipo de desinfectante empleado y el tiempo de contacto.

Los desinfectantes de uso común en el tratamiento de las aguas pueden clasificarse en:

- **Desinfectantes químicos:** se emplea cloro en varias formas (cloro gas, hipoclorito, dióxido de cloro), ozono, ácido paracético, etc.
- **Desinfectantes físicos:** dentro de este grupo se encuentran solo los rayos ultravioletas (UV).

Los sistemas de desinfección más utilizados en las aguas servidas pueden concretarse en cloración, ozonización y radiación ultravioleta, los cuales se detallan a continuación.

3.3.1. CLORACION.

El cloro, es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos al ser inactivados mediante la oxidación del material celular ¹⁰. El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro y las soluciones de hipoclorito (hipoclorito de sodio o de calcio), la reacción química por la que se obtiene la purificación y saneamiento es la misma.

Cuando se agrega cloro al agua la acción desinfectante y sanitaria que resulta es efectuada mediante un agente químico intermedio, el “Ácido Hipocloroso”. El cloro y el agua reaccionan para formar el ácido hipocloroso ¹⁰.

El ácido hipocloroso es el que realmente mata a los microorganismos presentes en el agua. Esto se debe a que el ácido hipocloroso tiene la capacidad de difundirse a través de las paredes de las células y de llegar así a las partes vitales de la célula bacteriana.

Además, tiene efectos residuales por lo que actúa sobre el contaminante en tratamiento posterior. El cloro residual es el termino que se aplica al cloro disponible que permanece después que la demanda de cloro (cantidad de cloro requerida para destruir las bacterias y la materia orgánica)ha sido satisfecha. La presencia de cloro residual disponible en una fuente de agua es seguro contra nuevas contaminaciones.

La ventaja del sistema de desinfección por cloración es su bajo costo respecto de la desinfección con ozono y la radiación UV (excepto cuando la descloración son requeridos, para evitar efectos tóxicos en el medio receptor, operación que en muchos casos anula la ventaja económica de la cloración respecto a los radiación UV).

¹⁰ Información disponible en la página web de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (<http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-062.pdf>).

Otra ventaja es, el cloro residual que permanece en el efluente de agua servida puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial. El cloro tiene el problema de oxidar ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos tales como los metanos trihalogenados, así como la formación de compuestos cancerígenos (Arango, 2003). Cabe destacar también que el cloro residual, aún en bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello puede requerirse la descloración¹¹. Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente ¹¹.

El grado de desinfección requerido de cualquier sistema de desinfección por cloración puede ser obtenido mediante la variación de la dosis y el tiempo de contacto. La dosis de cloro varía con base en la demanda de cloro, las características del agua residual y los requisitos de descarga del efluente.

3.3.2. OZONO.

La desinfección por ozono es el resultado de la desintegración de la pared celular del microbio debido a la oxidación.

Es una 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

La aplicación del ozono en el tratamiento de aguas residual es muy variado, se usa en (Arango, 2003):

- ✓ Desinfección bacteriana.
- ✓ Inactivación viral.

¹¹ Información disponible en la página web de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (<http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-062.pdf>).

- ✓ Reducción de metales pesados.
- ✓ Nitrificación.
- ✓ Eliminación de color, sabor y olor.
- ✓ Eliminación de turbiedad.
- ✓ Eliminación de algas.
- ✓ Oxidación de compuestos orgánicos (fenoles, detergentes, pesticidas).
- ✓ Oxidación de compuestos inorgánicos (cianuros, sulfuros y nitritos).

El ozono tiene la ventaja que es un desinfectante rápido y activo contra bacterias y virus, porque destruye la proteína celular principalmente por inactivación de los sistemas enzimáticos críticos, enzimas esenciales para la vida microbiológica.

Su desventaja es que los efectos no permanecen después del tratamiento, o sea que no tiene efecto residual como el cloro. El ozono es un gas de más complicado manejo que el cloro ya que es inestable (por ello debe producirse en el propio lugar de utilización) y además es mas caro.

3.3.3. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.

Es una alternativa de desinfección al uso del cloro y ozono en muchas aplicaciones de agua potable y aguas residuales.

La radiación ultravioleta (UV) actúa de forma que penetra a través de la pared celular de un microorganismo vivo, modificando la estructura del ADN (ácido desoxirribonucléico) y evitando con ello su reproducción. Una célula que no se puede reproducir se considera muerta ¹².

¹² Información disponible en la página web de Aguamarket (http://www.aguamarket.com/temas_interes/003.asp)

Los microorganismos son inactivados por la luz ultravioleta como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos afectados por una longitud de onda, con valores entre 250 a 260 nm.

La reducción de los componentes orgánicos depende de los siguientes parámetros ¹³:

- ✓ Intensidad de de la luz UV en el equipo, que es una función de las lámparas (watts).
- ✓ Tiempo de paso (o retención) del fluido en el equipo esterilizador, lo que depende exclusivamente de variables de diseño del mismo.
- ✓ Resistencia relativa a los microorganismos a destruir, ya que no todos son igualmente resistentes.
- ✓ Transparencia del fluido a esterilizar, ya que la presencia de partículas en el agua puede ocultar los microorganismos de la luz germicida a la vez que la dispersan, por lo que en estos casos se recomienda el uso de filtros orientados a la remoción de la materia sólida en suspensión.

El funcionamiento de este sistema, es conducir el flujo a través de una cámara de irradiación, en cuyo interior se ubica, aislada por un tubo de cuarzo, una lámpara generadora de luz UV. Esta lámpara es un tubo largo de cuarzo, sellado en sus extremos en cuyo interior hay gas de mercurio a baja presión.

Los equipos que se utilizan para producir la radiación ultravioleta, deben ser manejados con bastante precaución, de manera de evitar que los operadores de los dispositivos sufran algún tipo de exposición prolongada. Los tubos de cuarzo pueden ser removidos en cosa de minutos y sólo es necesario cambiarlos cada 5 años de uso continuo. Sin embargo, es muy importante que se mantengan limpios, lo que depende fundamentalmente del medio en que opera el equipo, asegurando así, una máxima irradiación, y con ello una óptima desinfección.

¹³ Información disponible en la página web de Biolight S.A. (<http://www.biolight.cl>.)

La ventaja de utilizar éste método de desinfección, es por su rapidez, confiabilidad y eficiencia para la eliminación de microorganismos patógenos, sin agregar al agua productos químicos que puedan generar compuestos tóxicos, como es el caso del cloro. Por otra parte, el uso de energía ultravioleta no requiere de grandes estanques para el almacenamiento del agua, puesto que no necesita los tiempos de retención que requieren para actuar los agentes activos de otro sistemas como Cloro, Ozono, etc., así como tampoco produce cambios físicos o químicos en el fluido, y por lo tanto, en el medio ambiente .

CAPITULO IV.

4. LEGISLACION VIGENTE.

Hoy en día en Chile, la legislación que existe respecto a la forma de disponer las aguas residuales hace una separación de dos grupos potencialmente contaminantes, que son: las aguas residuales industriales y las aguas residuales domésticas. El desarrollo de este tema se enfocará exclusivamente a la legislación de las aguas residuales domésticas.

Respecto a las aguas residuales domésticas, la legislación chilena establece normativas por separado de acuerdo a la manera de disposición de las aguas residuales provenientes de alcantarillado público y las provenientes de alcantarillado particular.

A continuación se pretende dar una orientación de los distintos reglamentos y normas a los que están sujetos los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, en especial los que se refieren a sistemas individuales. Además mencionar los distintos organismos que velan porque se cumplan dichas disposiciones.

Las leyes y cuerpos normativos que hacen mención sobre contaminación de aguas, son esencialmente las siguientes:

- ✓ LEY 19.300 “LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE”.
- ✓ CÓDIGO SANITARIO.
- ✓ CÓDIGO DE AGUAS.
- ✓ REGLAMENTO GENERAL DE ALCANTARILLADOS PARTICULARES.
- ✓ NORMA NCh 1333 “REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DIFERENTES USOS”.

4.1. LEY 19.300 “LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE”.

Organismo Fiscalizador: CONAMA y los organismos del Estado que, en uso de sus facultades legales, participan en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Norma: En esta ley se hace referencia a todas las actividades que sean susceptibles de causar impacto ambiental. Se señalan las actividades que pueden producir específicamente contaminación de recursos hídricos y se establecen áreas de protección, además se indica que los respectivos organismos encargados de la protección de los distintos recursos naturales deben velar por el cumplimiento de las normas.

4.2. CÓDIGO SANITARIO.

Organismo Fiscalizador: Servicio de Salud.

Norma: Establece el cumplimiento de los reglamentos y normas que resguardan las condiciones sanitarias de todos los ambientes susceptibles de ser contaminados producto de las actividades humanas, de manera de proteger la salud e higiene ambiental de la población.

4.3. CÓDIGO DE AGUAS.

Organismo Fiscalizador: Dirección General de Aguas (DGA).

Norma: Vela por la protección de todos los recursos hídricos. Regula el aprovechamiento de aguas y prohíbe cualquier tipo de contaminación que pudiera afectar dicho aprovechamiento.

4.4. REGLAMENTO GENERAL DE ALCANTARILLADOS PARTICULARES.

Organismo Fiscalizador: Servicio de Salud.

Norma: El reglamento se refiere a la manera de disponer las aguas residuales domésticas (o caseras) que no puedan ser descargadas a una red de alcantarillado público.

En general, se establece que para disponer las aguas residuales domésticas (o caseras) en algún cuerpo o curso de agua, o por incorporación en el subsuelo, será menester someterlas previamente a un tratamiento de depuración que permita obtener un afluente libre de materia orgánica putrescible. Propone como sistema de tratamiento individual de aguas residuales domésticas (o caseras), la fosa séptica con sus respectivos dispositivos de apoyo para cada caso en particular. Sin embargo, proporciona la variante de uso de cualquier otro sistema de tratamiento que sea capaz de purificar las aguas servidas dentro de los parámetros de calidad establecidos tanto por las normas vigentes como por el propio reglamento.

Esta norma requiere la aprobación previa del “Servicio de Salud Regional”, para proceder a construir, alterar, modificar o reparar cualquier obra destinada a la disposición o tratamiento de aguas residuales.

4.5. NORMA NCh 1333 “REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DIFERENTES USOS”.

Organismo Fiscalizador: Dirección General de Aguas (DGA), Servicio de Salud.

Norma: Indica los parámetros más relevantes sobre caracterización que deben cumplir los efluentes de aguas residuales domésticas. Establece parámetros que permiten fijar criterios de calidad del agua para distintos usos. El objetivo de estos criterios es proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen para usos específicos, de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo u origen.

En dicha norma establece los requisitos de calidad del agua de acuerdo a su uso y se debe aplicar a las aguas destinadas a los usos siguientes:

- a) Agua para Consumo Humano.
- b) Agua para la bebida de Animales.
- c) Riego.
- d) Recreación y Estética.
 - d.1) Estética.
 - d.2) Recreación con Contacto Directo.
 - d.3) Recreación sin Contacto Directo .
- e) Vida Acuática.

CAPITULO V.

5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN SECTORES RURALES.

5.1. GENERALIDADES.

Debido a su tamaño, las pequeñas comunidades enfrentan una serie de problemas que hacen que la construcción y manejo de plantas de tratamientos de aguas residuales sea más complicado, cuyas razones son:

- ✓ Enfrentan normas ambientales igual de estrictas que en las grandes ciudades.
- ✓ Los costos de construcción y mantenimiento de plantas en comunidades pequeñas, son muchos más elevados (en costo per cápita) que en grandes ciudades.
- ✓ En la pequeñas comunidades se tienen menos recursos y conocimientos para mantener y operar plantas. Los problemas más comunes en éste sentido tienen que ver con el diseño, construcción, supervisión y mantenimiento.

Por lo tanto, las soluciones que se adopten para comunidades pequeñas dan prioridad a los procesos que requieren tiempos mínimos de atención del personal. Tienen que ser muy simples de operar y se debe evitar complejas automatizaciones por falta de personal especializado.

Actualmente en Chile, la cobertura de tratamiento de aguas residuales en sectores rurales es muy precario. Se ha detectado que la solución mas popular al

problema de las aguas residuales son las *fosas sépticas*, que por razones económicas existen una gran cantidad de éstas como sistema de disposición de residuos líquidos, principalmente domiciliarios. A los cuales hay asociados aspectos negativos considerables, como olores, contaminación de aguas subterráneas, etc.

5.2. SISTEMAS SEPTICOS.

Los sistemas sépticos se utilizan para el tratamiento y la disposición de aguas de desecho de origen doméstico. Típicamente, un sistema séptico consiste de un tanque llamado fosa séptica y de un campo de absorción que pueden ser: pozo absorbente o sistema de drenes, representado en las figuras 6.1 y 6.2 respectivamente. La fosa séptica quita los sólidos sedimentarios y flotantes del agua servida y el sistema de absorción filtra y trata el efluente de la fosa séptica. El quitar los sólidos del agua residual protege el sistema de filtración contra obstrucción y falla prematura.

El sistema séptico, son apropiados para pequeñas comunidades y viviendas aisladas que no pueden conducir sus residuos líquidos a redes de saneamiento público.

Como se menciona en el punto 5.1. son la solución más popular al problema de las aguas residuales en sectores rurales, por ser un sistema muy sencillo de construir y económico.

Pero sin embargo pueden dar problemas de contaminación de los recursos hídricos, como fue el caso en el Lago Villarrica, que se contaminó por la filtración de fosas sépticas de viviendas ubicadas en su orilla, además de otros causantes como: turismo (bañistas, lanchas, desechos, etc) y por la actividad agrícola y forestal, que

produce arrastre de sólidos (Comisión Nacional del Medio Ambiente - El Mundo urbano “Novena región de la Araucanía”. [http:// www.conama.cl](http://www.conama.cl)).

El sistema séptico no trata las aguas servidas, pues sólo separa los sólidos por decantación y dispone la parte líquida mediante absorción en el terreno como se dijo anteriormente y que se detallará a continuación. Por lo tanto, la fosa tarde o temprano se colmata, perdiendo el terreno a su vez la capacidad de absorber el efluente líquido de la fosa (el suelo se impermeabiliza).

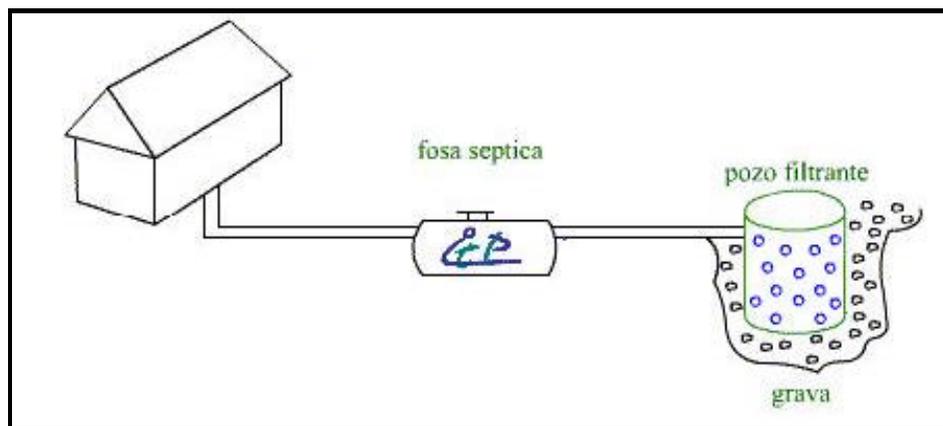


FIGURA 6.1. Fosa Séptica con Pozo Absorbente¹⁴.

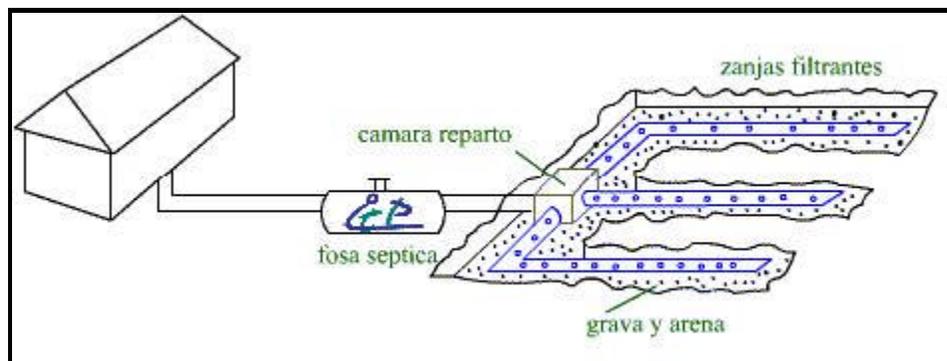


FIGURA 6.2. Fosa Séptica con Sistema de Drenes¹⁴.

¹⁴ Imagen disponible en la página web de Agua Centro Fibrogen (<http://www.fibrogen.cl/fosas%20septicas.htm>)

5.2.1. FOSA SEPTICA.

La fosa séptica es un sistema muy sencillo de construir y de explotar, se utiliza desde finales del siglo XIX. Ésta puede ser construida de albañilería, hormigón armado o prefabricadas (ejemplo: plástico reforzado con fibra de vidrio), de forma rectangular, cilíndricas verticales u horizontales etc. y se ubican generalmente enterradas.

La fosa séptica debe ser hermética al agua, durable y estructuralmente estable (Metcalf & Eddy, 1995). Puede contar de uno o más compartimentos (ver figura 7), proporcionando una mejor eliminación de los sólidos en suspensión, lo cual puede ser valioso para la protección del sistema de absorción (Metcalf & Eddy, 1995). Una tapa de visita debe proveerse en cada compartimiento y ventilación entre compartimientos, para permitir el libre paso del gas.

La tubería de entrada a la fosa séptica tiene forma de T, como se ve en la figura 7, para depositar las aguas a cierta profundidad, con el mínimo de perturbación, dejando un espacio de aire en la parte superior de la fosa no inferior a unos 25 cm., para contener los gases y las materias flotantes que puedan acumularse. Asimismo, la tubería de salida, de forma semejante, toma el agua desde más abajo, previniendo el paso de la capa de nata.

Toda fosa séptica además estará provista de una escotilla y una tapa hermética de no menos de 60 cm. de diámetro, éstas (escotilla y tapa) se utilizan cada 2 años aproximadamente para extraer los residuos que se acumulan en el fondo, lo que se hace por medio de camiones especiales.

Respecto de las dimensiones de la fosa séptica, éstas dependen principalmente del número de usuarios.

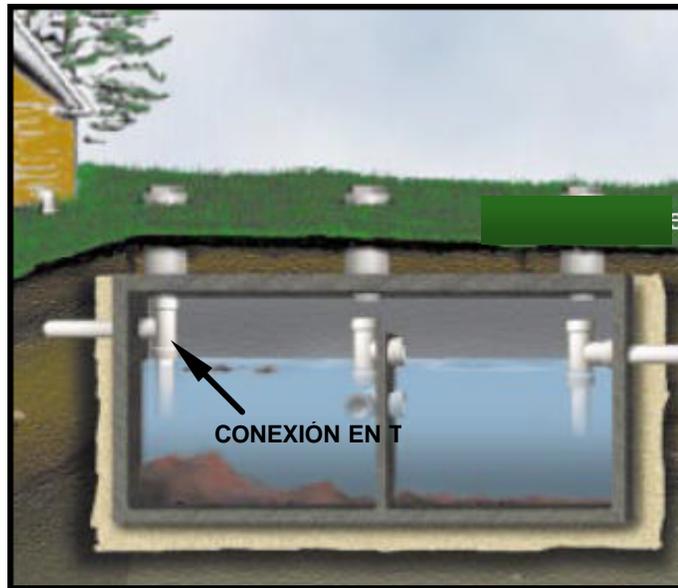


FIGURA 7. Fosa Séptica de 2 Compartimientos ¹⁵.

5.2.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SÉPTICO.

Las aguas residuales provenientes de una instalación domiciliar se evacúan a una fosa séptica, donde se origina un tratamiento de tipo primario, por lo cual el efluente debe ser sometido a un tratamiento posterior (secundario) el que puede consistir en un pozo absorbente o un sistema de drenes (Espinoza, 2003).

Es así que las fosas sépticas quitan la materia sólida por decantación, al detener el agua residual en el tanque, que permite que los sólidos sedimentables presentes en el agua residual sedimenten formando una capa de fango en la parte inferior de éste. Las grasas y demás materiales ligeros flotan en superficie, dando lugar a una capa de espumas formada por acumulación de materia flotante. Para que esta separación ocurra, el agua servida debe detenerse por un mínimo de 24 horas. Hasta el 50% de los sólidos retenidos en el tanque se descomponen. La materia sólida restante se acumula en el tanque ¹⁶.

¹⁵ Imagen disponible en la página web de Texas A&M University System (<http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/L-5227S.pdf>).

¹⁶ Información disponible en la página web del Portal del Mantenimiento Industrial (http://www.solomantenimiento.com/m_pozos_septicos.htm).

El agua residual decantada y libre de flotantes que se halla entre las capas de fango y de espumas fluye hacia el campo de absorción. Los sólidos o líquidos en la fosa son sometidos a descomposición por procesos naturales y bacteriológicos. Las bacterias presentes son de la variedad llamada anaerobia que prosperan en la ausencia de oxígeno libre. Esta descomposición de aguas residuales en condiciones anaerobias es llamada “séptica” (de aquí el nombre de la fosa), lo que conlleva a una producción de gases: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) y Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) (Metcalf & Eddy, 1995).

A pesar de que en las fosas sépticas se genera sulfuro de hidrógeno no se suelen producir problemas de olores, debido a que el sulfuro de hidrógeno (SH₂) se combina con los metales presentes en los sólidos sedimentados dando lugar a la formación de sulfuros metálicos insolubles (Metcalf & Eddy, 1995). Si se producen olores es un síntoma de que se ha perdido el equilibrio biológico de la biomasa que trabaja en ella en beneficio de las *bacterias acidófilas*, que producen excesivos sulfuros de hidrógeno e impiden la degradación natural y en esas condiciones la fosa o el pozo no trabajan y la materia sólida se acumula “pero no se convierte en gases” con el consiguiente llenado rápido y pérdida de drenaje al ir todos los sólidos a la zona de filtrado produciendo una costra e impidiendo el drenaje, la filtración de líquidos al terreno ¹⁷.

¹⁷ Información disponible en la página web de Clean World Hispania (http://www.ctv.es/clean_world_hispania/fosassepticaspozossepticos.htm).

5.2.2. SISTEMA DE INFILTRACION.

5.2.2.1. DESCRIPCION DEL PROCESO DE OXIDACION.

La fosa séptica efectúa solamente un proceso preparatorio en la depuración de las aguas residuales domésticas (tratamiento primario) como se menciona en el punto 5.2.1.1., por lo tanto el efluente no posee las características físico-químicas ni microbiológicas adecuadas para ser descargado directamente a un cuerpo receptor. Por esta razón, es necesario proporcionar un tratamiento al efluente, con el propósito de disminuir los riesgos de contaminación y de perjuicio a la salud pública.

Las aguas del efluente de la fosa séptica no contienen oxígeno (condición que requiere la flora bacteriana anaeróbica para ejercer su acción desintegrante), pero si se favorece su contacto con el aire, el oxígeno se absorbe rápidamente permitiendo la oxidación de los sólidos disueltos, mejorando su calidad.

Las bacterias aerobias efectúan este nuevo proceso. La materia orgánica se mineraliza y en las aguas oxidadas es menos probable que perduren los gérmenes patógenos.

Es así, que para que se produzca este proceso de oxidación, el tratamiento final y la evacuación del efluente de la fosa séptica se realiza por absorción en el terreno, denominado campo de absorción. Este campo de absorción puede consistir en un pozo absorbente o sistema de drenes.

Para tratar las aguas residuales, este sistema depende mucho del suelo donde los microorganismos ayudan a eliminar la materia orgánica, los sólidos y los nutrientes que permanecen en el agua. Requiere de un área de terreno poroso, por el cual se distribuye el efluente de la fosa séptica y se oxida al entrar en contacto con el

aire (contenido en los huecos del terreno) y con las bacterias aerobias que existen en él.

Mientras el efluente fluye continuamente hacia el suelo, los microorganismos que digieren los componentes de las aguas residuales forman una capa biológica. La capa reduce el movimiento del agua por el suelo y ayuda que el área debajo de la capa no se sature ¹⁸.

Respecto de las dimensiones del pozo absorbente y el sistema de drenes, además de la cantidad de aguas residuales generadas diariamente por persona, se debe considerar las propiedades absorbentes del terreno es decir la permeabilidad de éste. Las características de permeabilidad de un suelo, se miden a través de una prueba de infiltración, que permite obtener un valor estimativo de la capacidad de absorción de un determinado sitio (Espinoza, 2003). El suelo debe tener una velocidad de filtración aceptable, sin interferencias del agua freática o de estratos impermeables bajo el nivel del sistema de absorción.

En cuanto a la selección de los sistemas anteriormente nombrados, se prefiere el sistema de drenes al pozo absorbente cuando hay napas relativamente superficiales y estratos impermeables a poca profundidad.

Cualquier sistema de absorción adoptado, debe mantenerse a una distancia prudente entre el sitio y cualquier fuente de agua potable. Puesto que la distancia a la que la contaminación puede llegar, bajo la tierra, depende de numerosos factores, incluyendo las características de las formaciones del subsuelo y del volumen de aguas residuales descargado, ninguna distancia predeterminada será absolutamente segura en todas las localidades. Por lo tanto, entre mayor sea la distancia, mayor será la seguridad proporcionada. La distancia mínima entre campo de absorción y cualquier fuente destinada o destinable al suministro de agua potable será de 100 mt.

¹⁸ Información disponible en la página web de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (<http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-075.pdf>).

Si existen aguas subterráneas en la zona del campo de absorción, el nivel de agua freática debe quedar por lo menos a un metro de profundidad del fondo de la zanja de infiltración.

5.2.2.1.1. POZO ABSORBENTE.

Consiste en una excavación en el terreno, por lo general de 2.0 a 2.5 mt. de diámetro, con una profundidad que normalmente varía de 6 a 12 mt., al cual se vacían las aguas servidas sedimentadas provenientes de la fosa séptica, las cuales se infiltran en el terreno. El pozo es de forma cónica y se rellena hasta $\frac{3}{4}$ de su alto con piedra bolón, de 0.2 mt. de diámetro como mínimo, que sirve de entibación y para distribuir el líquido en el subsuelo (el tratamiento aerobio-biológico logrado por la posible zooglea generada en la superficie de las piedras es mínimo, debido a la escasa aeración) (Espinoza, 2003).

Todo pozo absorbente debe tener una cubierta o losa de hormigón armado de 0.2 mt. de espesor descansado sobre un brocal o anillo de hormigón. A la cubierta se le deja una tapa de inspección de 0.6 x 0.6 mt. y se conecta a una cañería de ventilación de 4" (mortero de cemento comprimido, asbesto cemento, arcilla vitrificada, hierro, etc.) para la eliminación de gases. Debe sobrepasar el nivel de la techumbre del inmueble y estar protegida con malla de alambre fino que impida el acceso de moscas, cucarachas, mosquitos y otros insectos (ver figura 8.1) (Espinoza, 2003).

Debido a las pendientes de las cañerías y a la fosa séptica, la losa del pozo se encuentra comúnmente a 1.3 mt. o más, por debajo del nivel de la superficie del terreno.

La distancia entre dos pozos debe ser de por lo menos 3 veces el diámetro interno del mayor de ellos o 6 mt. para pozos de mas de más de 6 mt. de profundidad (ver figura 8.2.)

Este sistema de absorción no debe usarse en zonas donde el abastecimiento de agua para el hogar se obtiene de pozos poco profundos.

FIGURA 8.1. Pozo Absorbente. (Fuente: Espinoza, 2003)

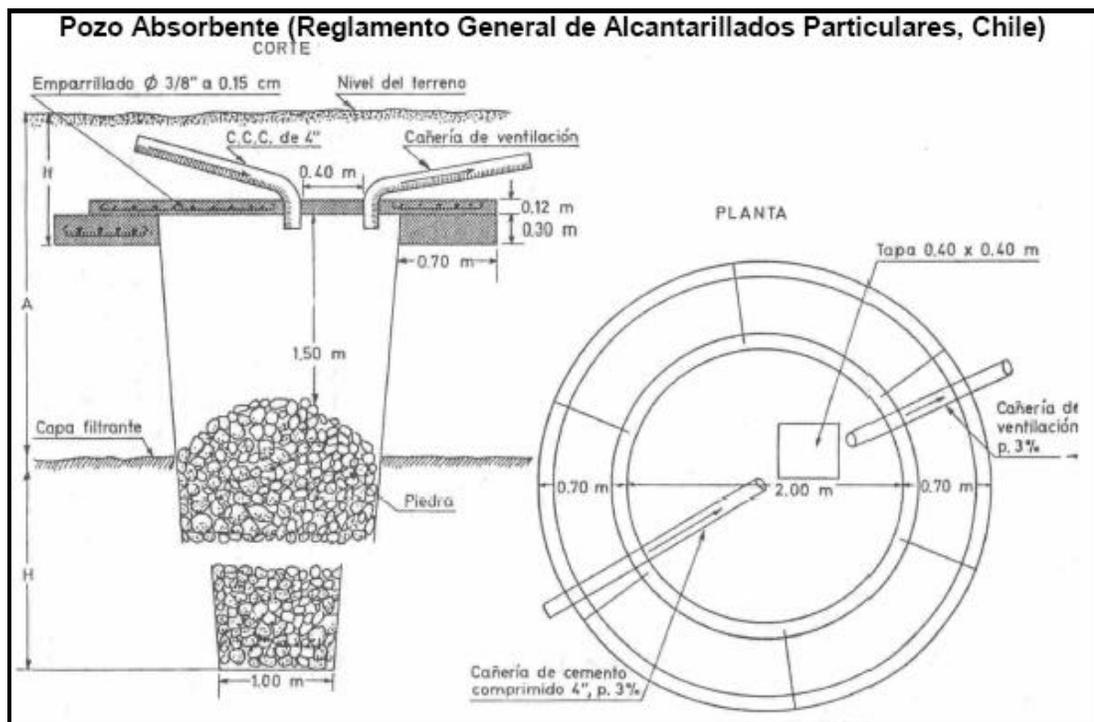
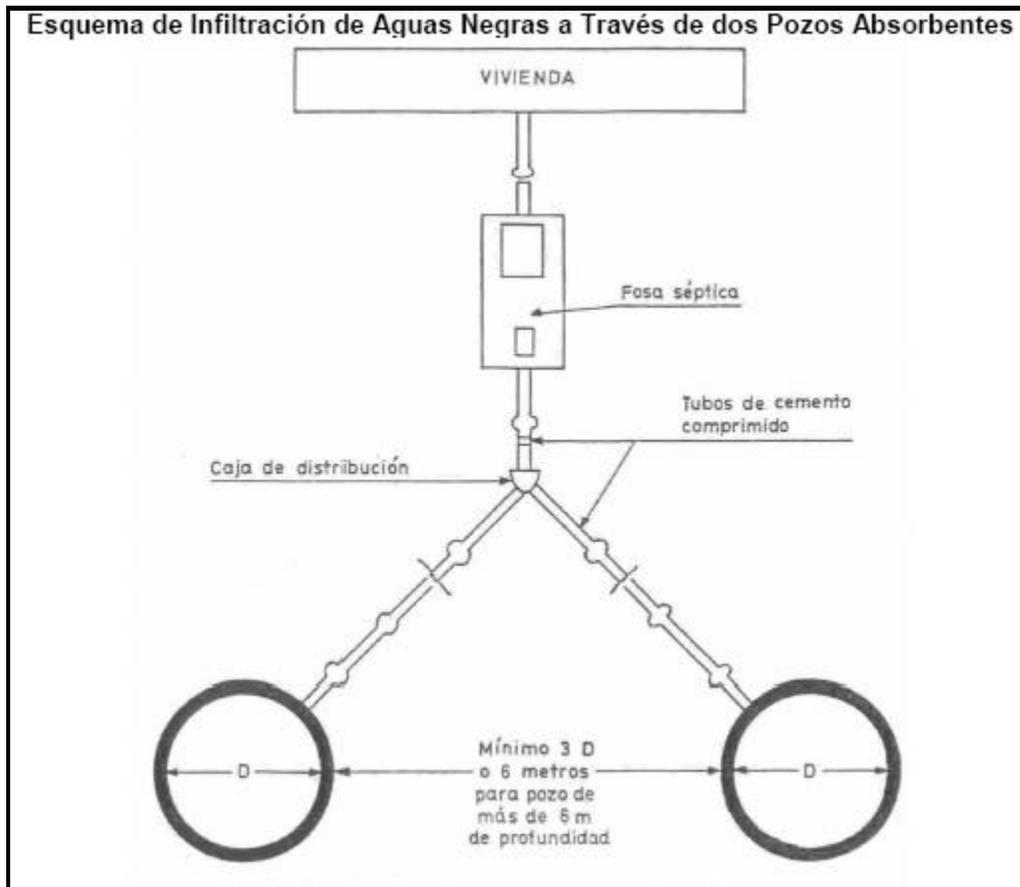


FIGURA 8.2. Esquema de Infiltración a través de Pozo Absorbente.

(Fuente: Espinoza, 2003)

**5.2.2.1.2. SISTEMA DE DRENES.**

Consiste en una cámara repartidora a la cual llega el efluente de la fosa séptica, ésta cámara posee una ventilación y varios tubos perforados que pueden ser de PVC u otro material.

Las tuberías van colocadas en zanjas rellenas con grava y cubiertas con tierra. Su función es distribuir las aguas residuales que salen de la fosa séptica, e incorporarlas al subsuelo a través de un proceso de filtración al igual que el pozo absorbente.

Las zanjas como mínimo deben tener una profundidad de 60 cm., aunque puede requerirse una profundidad adicional para ajustes, grava extra bajo el tubo o

para otros propósitos del diseño. Respecto al ancho de la zanja esta puede variar entre 30 a 90 cm.

La grava que va sobre la parte superior del tubo debe tener como mínimo una altura de 5 cm. y bajo el fondo del tubo 15 cm. como mínimo. La parte superior de las piedras debe cubrirse con geotextil, de forma que el relleno de tierra no se mezcle ni se atasque el espacio ocupado por la capa de grava. Sobre este relleno de tierra se coloca un subrelleno de 10 a 15 cm. de tierra, para permitir que se ajuste al nivel de terreno cuando se asiente (ver figura 9).

La pendiente promedio recomendable es de 0.5% para permitir el desplazamiento del líquido.

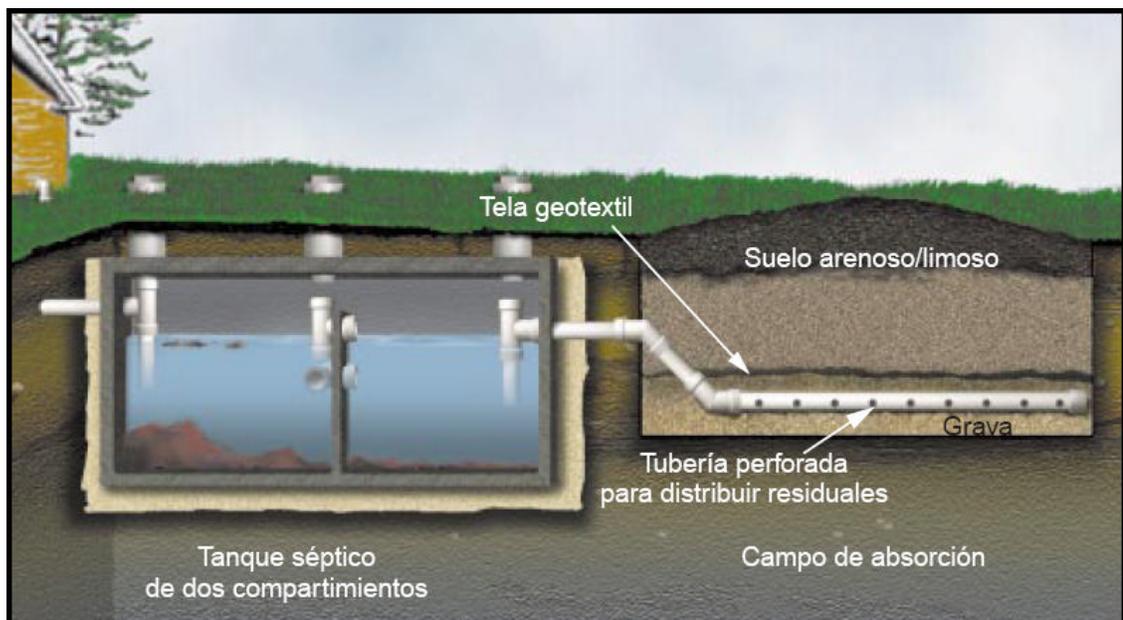


FIGURA 9. Sistema de drenes¹⁹.

¹⁹ Imagen disponible en la página web de Texas A&M University System (<http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/L-5227S.pdf>).

5.2.3. MANTENCION DEL SISTEMA SEPTICO.

Una mantención adecuada de las fosas sépticas es la mejor prevención para asegurar una normal operación del sistema y para evitar costosa y muchas veces difícil reposición del pozo absorbente o de los drenes de infiltración.

✓ Las fosas sépticas deben limpiarse antes de que se acumule demasiado cieno(fango) o natas. Si el cieno o las natas se acercan demasiado al fondo del tubo de salida, las partículas serán arrastradas al campo de absorción y atascaran el sistema, en consecuencia, el líquido puede brotar a la superficie del terreno. Cuando un campo de absorción se atasca de esta forma, no sólo es necesario limpiar la fosa, sino también construir un nuevo campo de absorción.

Por lo tanto, cuando el espesor del fango depositado sobre el fondo de la fosa séptica se aproxima a los 2/3 de la distancia entre el radier y la boca del tubo de salida, *la fosa necesita limpieza*. El aspecto de las partículas que contiene el efluente que pasa por la cámara distribuidora de drenes es también un buen indicador del estado de rendimiento de la fosa ²⁰.

Una limpieza oportuna evita que los sólidos pasen en exceso al sistema de infiltración y lo obstruyan. Las fosas deben ser limpiadas por empresas registradas en los Servicios de Salud.

Por lo tanto, las fosas deben ser inspeccionadas por lo menos una vez al año y limpiadas cuando sea necesario, se recomienda ser bombeada cada 2 ó 3 años ²⁰.

²⁰ Información disponible en la página web del Servicio de Salud Valparaíso – San Antonio (<http://www.ssvsa.cl/fosasept.htm>).

- ✓ Debe comprobarse periódicamente que los estanques de los camiones limpia fosas no tengan filtraciones y que el vaciado se haga en forma sanitaria en los lugares autorizados por este Servicio de Salud en cámaras designadas para este objeto ²¹.

- ✓ En ningún caso debe rasparse el interior de una fosa séptica que ha sido vaciada. El material que queda adherido a sus paredes y fondo hace las veces de siembra bacteriana y de ayuda para recuperar la actividad biológica de la fosa ²¹.

- ✓ Cuando se vaya a limpiar una fosa séptica grande, debe tenerse cuidado de no entrar en la fosa hasta que sea bien ventilada y los gases se hayan desalojado para evitar riesgos de explosión o asfixia para los trabajadores ²².

- ✓ El hipoclorito de sodio usado en lavanderías inhibe la acción bacteriana, debiendo por lo tanto conectar el desagüe de ésta dependencia o establecimiento con la cámara final de distribución de los drenes o con el pozo absorbente sin pasar por la fosa séptica. Los detergentes y desinfectantes que se usan en los hogares en forma normal no tienen efecto negativo sobre la flora bacteriana anaeróbica que efectúa la descomposición de la materia orgánica ²¹.

- ✓ No plantar arbustos ni árboles junto al campo de drenes, porque sus raíces penetran por las juntas de los tubos o por sus perforaciones, obstruyendo el sistema ²¹.

²¹ Información disponible en la página web del Servicio de Salud Valparaíso-San Antonio (<http://www.ssvsa.cl/fosasept.htm>).

²² Información disponible en la página web del Portal del Mantenimiento Industrial (http://www.solomantenimiento.com/m_pozos_septicos.htm).

5.2.4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA SEPTICO EN SECTORES RURALES.

El Sistema Séptico, es la solución mas popular como sistema de disposición de residuos líquidos en sectores rurales chilenos, siendo aplicado en residencias privadas, escuelas, campamentos, balnearios, etc

La gran ventaja de los sistemas sépticos es que son económicas, tanto de instalar como de operar. No requiere de tener un operador a cargo de ella, ya que éste no opera con equipos mecánicos. Además, si el sistema es diseñado y mantenido correctamente puede durar más de 20 años ²³.

Sin embargo hay una serie de desventajas asociadas a éste sistema, que son:

- Bajos niveles de eficiencia en la remoción de contaminantes. Niveles de remoción de DBO oscila entre el 30% al 40% y sólidos suspendidos entre un 40% al 50% ²⁴.
- Generación de lodos contaminantes, la fosa séptica requiere de una frecuencia de vaciado alta (lodo), que deben ser retirados por camión limpia fosas de manera periódica, provocando malos olores y los dos son debidos a un rendimiento biológico bajo.
- Las limitaciones de los sistemas sépticos incluyen el tipo y permeabilidad natural del suelo, la profundidad del agua subterránea y la topografía del terreno.

²³ Información disponible en la página web de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (<http://www.epa.gov/own/mtb/cs-99-075.pdf>).

²⁴ Información disponible en la página web de Agua Centro Fibrogen (<http://www.fibrogen.cl/fosas%20septicas.htm>).

- Los sistemas que no son mantenidos correctamente provocan la incapacidad operativa de las cámaras sépticas, inhibiendo el proceso biológico del sistema de absorción, lo cual puede tener graves impactos ambientales y de salud.
- Al no realizarse el proceso biológico de degradación, todos los residuos que llegan al sistema de absorción contienen un alto nivel de contaminación, que es transmitida a las napas freáticas, haciéndose presente las llamadas enfermedades hídricas (gastritis, hepatitis, cólera, etc.). Además, provocar la colmatación del sistema de absorción y necesitar que sea remplazado. En ciertos casos reemplazar el área de absorción puede que sea imposible debido a las limitaciones del terreno.

CAPITULO VI.

6. SISTEMA TOHA.

6.1. ANTECEDENTES PRELIMINARES.

6.1.1. LA LOMBRICULTURA.

La lombriz es conocida desde tiempos inmemoriales como el animal ecológico por definición. Transforma todos los residuos de la sociedad humana convirtiéndolo en un humus de óptima calidad, que devuelve al suelo, revitalizándolo; además, es muy útil y conocido el empleo de su carne.

Ya en el antiguo Egipto se consideraba a la lombriz como un animal valioso. Se considera que la fertilidad del Valle del Nilo, se debe en parte, a la actividad desarrollada por las lombrices, que reciclan los nutrientes y los dejan disponibles para los cultivos anuales. El gran filósofo griego Aristóteles las definió certeramente como "los intestinos de la tierra", porque excava en el terreno galerías, volviéndolo poroso y facilitando la oxigenación y permeabilidad al agua ²⁵.

Los primeros estudios profundos sobre el tema y las primeras nociones sobre el hábitat y el sistema de reproducción de las lombrices, datan de 1837. Estos estudios e investigaciones fueron dirigidos por el biólogo Charles Darwin (Agroflor).

A partir de la década del 50, los primeros criaderos intensivos fueron desarrollados en el estado de California, EE.UU.

²⁵ Información disponible en la página web de Lombricultura S.C.I.C (<http://www.lombricultura.net>).

Desde entonces no se han dejado de efectuar estudios e investigaciones que han tenido como resultado la obtención de varios tipos de lombrices cada vez más selectas. Actualmente los tipos más utilizados en la lombricultura son tres de ocho mil especies existentes:

- ✓ Eisenia Foetida
- ✓ Lombricus Rubellus
- ✓ Rojo Híbrido

En nuestro país, la lombricultura se ha fundamentado básicamente en el aprovechamiento de estiércoles animales y desechos agrícolas en general.

La especie utilizada en Chile corresponde a la *Eisenia Foetida*, que al igual que todas las lombrices de tierra pertenece al phylum (o tronco) de los Anélidos, de la clase de los Oligoquetos .

6.1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA EISENIA FOETIDA.



FIGURA 10. *Eisenia Foetida* ²⁶.

²⁶ Imagen disponible en la página web de Lombricultura S.C.I.C (<http://www.lombricultura.net>).

Este animal tiene un cuerpo alargado cilíndrico, el cual se adelgaza en sus extremos (figura 10), formado por 94 a 96 anillos donde cada uno tiene una función específica. Son invertebrados que se mueven por contracción de sus anillos y músculos.

Las lombrices recién nacidas, cuyo número oscila entre 2 a 21 ejemplares, son de color blanco, se vuelven rosadas a los 5 ó 6 días y se convierten definitivamente a rojo oscuro de los 15 a 20 días; al nacer miden 1 mm. y cuando es adulta 6 a 8 cm; su diámetro oscila entre 3 a 5 mm. y tiene un peso que oscila entre 0.4 y 0.6 gramos aunque en estado adulto pueden alcanzar 1 gramo.

La *Eisenia Foetida*, tiene 182 aparatos excretores, 6 riñones y 5 corazones; respira a través de la piel (no tiene pulmones), y la cabeza carece de ojos o palpos pero son muy sensibles a la luz. Unas células especiales colocadas a lo largo de su cuerpo le avisan de la presencia de la luz, que es su terrible enemiga. Los rayos ultravioletas le matan en pocos segundos, por esta razón expuesta a los rayos solares por unos minutos muere (Agroflor).

No tiene dientes ni mandíbula por lo que no tiene capacidad de moler el alimento. Para comer, con un sistema bucal succiona su alimento por la boca, ubicada en el primer anillo o somito. Cuando ésta llega al estómago, unas glándulas especiales se encargan de segregar carbonato cálcico, cuya finalidad es neutralizar los ácidos presentes en la comida ingerida, la que después de atravesar todo el aparato digestivo es expulsada por el ano, que se encuentra en la parte terminal.

En cada metámero se ubica un corazón y un par de riñones, razón por la cual, si se parte una lombriz en dos, una de las dos partes sobrevive, precisamente la parte anterior, la que tiene boca (Agroflor).

La lombriz también está dotada, entre otros, de sistema circulatorio, nervioso y muscular. El sistema muscular esta muy desarrollado, tanto en sentido longitudinal

como en sentido perimetral (circular), permitiéndole efectuar cualquier tipo de movimiento.

La lombriz roja se hace adulta a los 3 meses, tiempo en la que se encuentra con capacidad de reproducción, visualizándose un anillo de mayor espesor o diámetro que el resto del cuerpo llamado clitelo.

El clitelo se sitúa en la parte anterior del cuerpo, aproximadamente a la altura de su primer tercio, si se considera la longitud total de la lombriz. El clitelo está encargado de segregar un líquido especial a través de glándula, para proteger los huevos, por lo tanto es importantísimo en la etapa de reproducción.

La lombriz es hermafrodita insuficiente, es decir tiene ambos sexos, pero necesita aparearse para reproducirse. Cada lombriz está dotada de un aparato genital masculino y de un aparato genital femenino. El aparato genital masculino está integrado por los testículos que son glándulas secretoras de esperma. El aparato genital femenino recibe el esperma y lo retiene hasta el momento de la fecundación.

Dos lombrices en fase de acoplamiento giran en sentido opuesto la una de la otra, de esta manera entra en contacto el aparato genital masculino de una con el aparato genital femenino de la otra.

La fecundación se efectúa a través del Clitelo, cuyas glándulas producen el capullo o cápsula, desde donde emergen las lombrices después de 14 a 21 días de incubación, en un número que va de 2 a 21 ejemplares ²⁷.

Si bien es cierto este tipo de lombriz se alimenta de desechos orgánicos, no es el único agente que tiene tal misión. Para el proceso biológico involucrado en la filtración de agua servida a través de un lecho con lombrices, los microorganismos presentes en el sustrato permiten, en más de un 50% la degradación de la materia orgánica, siendo la lombriz muy útil en la aireación, remoción y porosidad del medio, con su movimiento incansable. De esta forma se logra un sistema de degradación de

²⁷ Información disponible en la página web de Lombricultura S.C.I.C (<http://www.lombricultura.net>).

materia orgánica y purificación de aguas servidas autosustentable, al no exigir la entrega de energía externa para su operación.

6.1.3. PRINCIPALES CUALIDADES DE LA EISENIA FOETIDA.

No todas las especies de lombrices son aptas para la cría, la mayoría requiere condiciones muy precisas y difíciles de lograr. Sin embargo ésta especie no sólo es la que mejor se adapta al cautiverio, sino que posee características que la hacen muy útil. La longevidad de esta especie se estima en alrededor de 15 a 16 años y no contrae ni transmite enfermedades (Pastorelly).

La lombriz *Eisenia Foetida* es una especie Eurífoga, e decir, se alimenta con los más diversos desechos, especialmente, los de tipo orgánico, caracterizándose por su gran voracidad. En periodos cuando disminuye el aporte de nutrientes orgánicos, las lombrices pueden sobrevivir mejor en presencia de residuos carbónicos, independientemente de nutrientes orgánicos tales como nitrógeno, fósforo y potasio. Esto demuestra la importancia de la celulosa en la dieta de la *Eisenia Foetida*.

Esta lombriz ingiere una cantidad de comida equivalente a su propio peso y expelen el 60% transformándolo en humus, siendo el 40% restantes en síntesis celular, respiración y otros procesos vitales (Agroflor).

Es una especie que tiene gran tolerancia a la aglomeración, pudiendo cohabitar entre 4.000 a 50.000 individuos por metro cuadrado (Agroflor).

Es una especie muy prolífica, tiene una tasa de reproducción anual de 1:16, significando que cada 3 meses duplica su población (Pastorelly). Esta alta tasa de reproducción depende de un adecuado manejo, de una alta densidad poblacional en

criadero que favorezca el factor encuentro entre animales y su copulación y de las condiciones ambientales que se les otorgue en sus lechos productivos.

La actuación de la *Eisenia Foetida*, durante 24 horas tiene una zona o franja operativa de 25 cm. la que es notablemente inferior a la de la lombriz común, que va de 2 a 6 mt. Esto permite domesticar con facilidad y cultivar humus sin riesgo de evaporación y dilución de deyecciones.

6.1.4. CONDICIONES IDEALES Y DESFAVORABLES DE SU HÁBITAT.

Las condiciones ideales del hábitat de la lombriz corresponden a una temperatura que oscile entre los 15° y 24° C, siendo óptima aquella que se acerque lo mas posible a la de su propio cuerpo (aproximadamente 20° C); un pH neutro entre 6.5 y 7.5; oxígeno libre; materia orgánica; baja luminosidad ya que teme a la luz (pues los rayos ultravioleta las matan) y humedad disponible. Esta última es un factor de mucha importancia que influye en la reproducción, una humedad superior al 85% hace que las lombrices entren en un periodo de latencia, afectando en la producción de humus y en la reproducción de éstas (Agroflor). Las condiciones más favorables para la lombriz produzca y se reproduzca se presentan a una humedad entre el 70% - 80%. Debajo de 70% de humedad es una condición desfavorable, por otro lado niveles de humedad inferiores al 55% son mortales para las lombrices.

La prueba para medir el porcentaje de humedad en el sustrato se conoce como prueba de puño, la cual consiste en tomar una cantidad de sustrato con el puño de una mano, posteriormente se le aplica una fuerza, lo normal de un brazo, y si salen de 8 a 10 gotas es que la humedad está en un 80% aproximadamente (Agroflor). En cualquier caso es mejor utilizar un medidor de humedad.

Sin perjuicio de lo anterior, si las condiciones ambientales no son las mejores las lombrices tienen la capacidad de acomodarse para optimizar el aprovechamiento del medio.

De todas formas, y a pesar de su resistencia ante condiciones adversas, debe tenerse cierto cuidado con aquellos factores que puedan afectar su funcionamiento.

En este sentido debe indicarse que la *Eisenia Foetida* teme tanto al frío excesivo (0°C) como al calor elevado (más de 42° C), ante los cuales disminuye su actividad sexual y producción de humus. De esta manera, la temperatura es otro de los factores que influyen en la reproducción, producción de Humus o vermicompost y fecundidad de las cápsulas. Si la temperatura desciende por debajo de 15° C las lombrices entran en un periodo de latencia, disminuyendo su actividad. Dejan de reproducirse, crecer y producir humus; además que alarga el ciclo evolutivo, puesto que los cocones (huevos) no eclosionan y pasan más tiempo encerrados los embriones, hasta que se presentan las condiciones del medio favorables (Agroflor).

La lombriz acepta sustratos con pH de 4.5 a 8.5. Fuera de esta escala, la lombriz entra en una etapa de latencia. Con un pH ácido en el sustrato (< 7) se desarrolla una plaga llamada *Planaria* (Pastorelly).

El exceso de humedad puede ser otro problema para la lombriz. Si el lecho se encuentra demasiado mojado, fallará la oxigenación indispensable para poder garantizar la supervivencia de las lombrices. Peor aún si existen zonas donde el agua pueda quedar estancada, pues el agua queda retenida debajo de los lechos, matando a las lombrices.

Otro aspecto importante a la hora de proteger el buen funcionamiento de las lombrices, se refiere a que éstas no tienen ningún órgano de defensa, por lo que cualquier animal puede dañarla o matarla y no siempre involuntariamente.

Hay una serie de seres que la buscan afanosamente, la cazan y se la comen. Entre estos destacan las ratas y los ratones, las serpientes, los sapos, los topes y los

pájaros, siendo estos últimos los más peligrosos debido a la facilidad con que pueden entrar en acción. Para evitar este problema sería aconsejable cubrir el lecho con sombreros o redes antigranizo, protegiendo a las lombrices de los pájaros.

6.1.5. EL HUMUS.



FIGURA 11. Humus²⁸.

El humus corresponde a las deyecciones de las lombrices, que tal como se mencionó, equivalen al 60% de la cantidad de alimento consumido por la lombriz. Estas deyecciones son abono orgánico con una riqueza en flora bacteriana de prácticamente el 100% (2×10^{12} colonias/gr.) con 2 billones de colonias de bacterias vivas y activas por gramo de humus producido (Agroflor).

Tiene un aspecto similar a la tierra, suave, granulada e inodoro (ver figura 11), tiene altos contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micro elementos en cantidades al menos cinco veces superiores a las de un buen terreno fértil.

²⁸ Imagen disponible en la página web de Lombricultura S.C.I.C (<http://www.lombricultura.net>).

Como abono orgánico tiene un alto valor nutritivo, pero lo más importante es la alta disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

Posee un pH neutro, lo cual se atribuye a la segregación de iones de calcio por las glándulas calcíferas de las lombrices y su uso en forma excesiva no daña ni quema las plantas como es el caso de los fertilizantes químicos (Agroflor).

6.2. INICIOS DEL SISTEMA TOHÁ .

El origen de esta tecnología se fundamenta en la permanente necesidad de encontrar tecnologías de tratamiento no convencional, que cumplan con las normativas de descarga con bajos costos de operación que hagan viable su implementación, razón por la cual muchos investigadores han dedicado gran esfuerzo y dedicación con este fin.

Es así, que a partir de los trabajos realizados en EE.UU. a fines de la década de los 70, se manifestó la conveniencia de utilizar a las lombrices en el proceso de depuración y estabilización de las aguas residuales domésticas e industriales.

Las primeras investigaciones se limitaron a usar las lombrices no en el tratamiento de aguas, sino que en el tratamiento de lodos que resultaban de la depuración de las aguas.

Actualmente se postula que las lombrices deben estar en una función directa en el tratamiento de las aguas, especialmente en la etapa de oxidación biológica, incluidas en el biofiltro de una planta de tratamiento de aguas residuales.

De esta manera, el investigador chileno, el Dr. José Tohá Castellá, recoge experiencias realizadas en la planta de Lufkin, Texas (1981) sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura y comienza a experimentar con este sistema

a partir del año 1986, naciendo de esta manera el **Sistema Tohá** (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

En 1994, gracias al apoyo de FONDEF se construyó una planta experimental de tratamiento de aguas residuales en CEXAS Melipilla (perteneciente a EMOS), utilizando este tipo de tecnología desarrollada en la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas de la Universidad de Chile, para una población de 1000 personas (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

Hoy en día en Chile, ya están en funcionamiento plantas domiciliarias e industriales desde la Quinta hasta la Décima región, las que tratan aguas domésticas de residencias privadas, comunidades rurales, balnearios, condominios, campamentos, municipalidades, empresas agroindustriales en el sector lechero, mataderos e industrias de procesamiento de alimentos. Además el uso de éste sistema a nivel internacional avalan el éxito de esta tecnología, una planta purificadora situada en la región de Montpellier en Francia que utiliza éste sistema para purificar las aguas residuales de 2000 personas, una planta piloto en Italia, una empresa que quiere la licencia de distribución para todo México y otra para Venezuela ²⁹.

De esta forma, el sistema de lombrifiltro, posee características que la hace especialmente atractiva para el tratamiento de las aguas servidas de pequeñas localidades rurales. Además, resulta ser una biotécnica de transformación que ofrece las mayores ventajas:

- ✓ Cumplen con las emisiones ambientales de descargas.
- ✓ Es un proceso rápido, que elimina inconvenientes desagradables como el olor y las moscas.

²⁹ Información disponible en la página web del Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (<http://www.conicyt.cl/dossier/cd/docs>).

- ✓ Es extraordinariamente económica.
- ✓ Es de fácil gestión.
- ✓ Es hoy en día el único sistema de transformación que nos permite al final del ciclo obtener al mismo tiempo, por un lado humus de lombriz, que representa el máximo de calidad en términos de fertilización orgánica, y por otro lado, grandes cantidades de proteínas de excelente calidad.

6.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA TOHÁ.

Se puede decir que el lombrifiltro, corresponde a una adaptación del sistema tradicional de lombricultura, definido como el conjunto de operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y el tratamiento de residuos orgánicos por medio de éstas, para su reciclaje en forma de abonos y proteínas. La que encuentra su aplicación en generación de: humus de lombriz, alimentos para mascotas y/o animales, avicultura, piscicultura y carnada para peces.

A diferencia de los sistemas tradicionales de lombricultura, en el lombrifiltro, el sustrato es proporcionado a través de la presencia de éste en las aguas residuales domésticas que percolan a través de un medio filtrante, donde se encuentran las lombrices en gran cantidad.

El lombrifiltro está compuesto, fundamentalmente, por 3 capas y lombrices del tipo *Eisenia Foetida*.

Esto es, una base filtrante de bolones, sobre la cual se agrega una capa de ripio o grava. La parte superior se cubre con aserrín o viruta de madera de ulmo o tepa (principalmente) sobre el cual se mantiene un alto número de lombrices (Quezada, 2001).

La materia orgánica que queda retenida en el medio filtrante es removida por una población de microorganismos y las lombrices adheridas al medio, los que se encargan de degradar la materia orgánica que utilizan como fuente de alimento, energía para sus procesos metabólicos y una fracción que pasa a formar parte de su masa corporal. Las lombrices luego de digerir la materia orgánica producen a través de sus deyecciones el denominado humus de lombriz, que cada cierto tiempo puede extraerse y ser utilizado como abono orgánico para el suelo.

No produce lodos inestables al degradarse la totalidad de sólidos orgánicos del agua residual, en su lugar se obtiene humus.

Al hacer circular este líquido contaminado a través de un lecho de arena enriquecido con celulosa, se logra filtrar dejando retenidas partículas contaminantes.

Como resultado del proceso, se obtiene un fertilizante de suelos, formando principalmente por humus, el que es muy valorado por su alto contenido nutritivo, destacándose también la obtención de proteínas en el sistema.

El tratamiento biológico que se realiza en el lombrifiltro tiene el carácter de tratamiento de tipo aeróbico, dado que la acción de la *Eisenia Foetida* ayuda a mantener la permeabilidad del lecho impidiendo la colmatación de éste, debido a que las lombrices consumen el material orgánico retenido en el filtro integrándolo al suelo en forma de humus, cuya estructura granular de éste (humus) al ir produciéndose aumenta en forma progresiva la porosidad del medio filtrante y facilitando la oxigenación, producto de las constantes excavaciones que realiza en el terreno, en forma de túneles y canales, a través de los movimientos migratorios de ésta (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

Otra característica importante es el alto índice de absorción del lombrifiltro, debido entre otros, a los movimientos migratorios de la lombriz lo que se traduce en una carrera rápida del filtro conllevando a la no producción de olores desagradables y consecuentemente evitando la proliferación de vectores como moscas y otros.

Es posible obtener una rápida respuesta de este sistema producto que no requiere la creación de una biomasa degradadora de la materia orgánica presente en el agua aplicada, ya que esta función la ejercen principalmente las lombrices presentes en el lecho; adicionalmente, durante los periodos en que el sistema puede estar en descanso (por ejemplo en conjuntos residenciales de ocupación estacional) la capacidad del mismo se mantiene vigente ya que las lombrices cuentan con la reserva alimenticia del aserrín constituyente del filtro. Esto explica la capacidad del sistema de ser puesto en marcha en forma rápida y con los grados de eficiencia.

Se caracteriza además por sus bajos costos operacionales, al tener bajos requerimientos energéticos, ya que básicamente requiere energía eléctrica para activar las bombas de la planta elevadora y los equipos de desinfección (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

Se necesita poco espacio, el agua residual de 5 personas requiere solo 1 mt.² de biofiltro para su tratamiento. Posee bajos costos de inversión en obras civiles³⁰.

No obstante, por el hecho de ser un tratamiento biológico debe destacarse que su principal desventaja, común en la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, es su sensibilidad a variaciones bruscas de carga orgánica y parámetros químicos de agua residual. Las variaciones bruscas de carga orgánica no constituyen un peligro al sistema a excepción de las variaciones bruscas de parámetros químicos o la descarga clandestina de sustancias tóxicas, que debe ser evitado con adecuadas normas en los sectores industriales (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

³⁰ Información disponible en la página web de la Fundación para la Transferencia Tecnológica (<http://www.sistematoha.cl>).

➤ **Parámetros de diseño.**

El diseño del lombrifiltro se basa en la realización de un balance de masas que considera: el número de lombrices que puede cohabitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica que éstas son capaces de digerir y la tasa máxima de riego que puede soportar el lecho para evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno, que corresponde a $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

De esta manera se considera para el diseño:

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} \leq 1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día}$$

Conocido el caudal de diseño, y asumiendo una tasa de riego se puede determinar el área requerida para el tratamiento.

➤ **Eficiencia del Tratamiento.**

Según información recopilada de sistemas del lombrifiltro o Sistema Tohá, muestran los siguientes niveles de remoción de contaminantes ³¹:

- ✓ 95% de la DBO
- ✓ 95% de Sólidos Totales.
- ✓ 93% de los Sólidos Suspendidos Volátiles.
- ✓ 80% Aceites y Grasas.
- ✓ 60% a 80% de Nitrógeno Total.
- ✓ 60% a 70% del Fósforo Total.
- ✓ Coliformes fecales: 99%.

³¹ Información disponible en la página web de la Fundación para la Transferencia Tecnológica (<http://www.sistematoha.cl>).

6.2.2. DESCRIPCION DEL SISTEMA TOHÁ.

El sistema Tohá, representado esquemáticamente en la figura 12, esta compuesto fundamentalmente por:

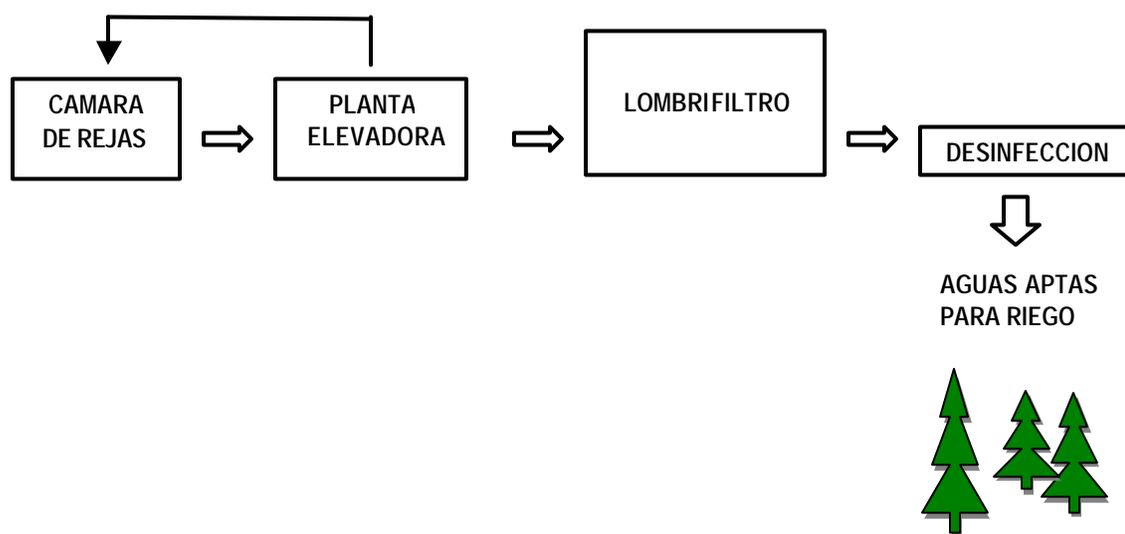


FIGURA 12. Esquema General del Sistema Tohá.

(Fuente: Elaboración propia).

Previo al lombrifiltro, se encuentra una cámara de rejillas o canastillo, que cumple la función de tamizar las aguas servidas y evitar la entrada de materiales que no deben ser tratados en la planta, como plásticos, basuras, etc.

Entre la cámara de rejillas y el lombrifiltro se encuentra la planta elevadora, que tendrá por objetivos, elevar el caudal de agua servida afluyente a el o los módulos del lombrifiltro para poder ser tratada y otro porcentaje de agua será devuelta a la cámara de rejillas, cuyo objetivo es disgregar los sólidos orgánicos que hayan sido retenidos en la cámara de rejillas o canastillo.

El afluyente se retiene por un tiempo breve en la planta elevadora, para luego ser impulsada hacia el lombrifiltro. Para esto, en el fondo de esta piscina se encuentra la bomba sumergida la cual funciona con un censor de nivel, el cual indica las partidas de la bomba, según la llegada del afluyente.

Cabe mencionar, que para el caso de una residencia privada, la planta elevadora además de cumplir con la función de elevar las aguas servidas al lombrifiltro, ésta funcionará como una cámara de rejillas. Esto es, dentro de la planta elevadora, se ubicará un canastillo en el punto de llegada del afluente (ver anexo 2, figura 1), donde va quedando retenidos los sólidos. Al igual, como se mencionó anteriormente, la bomba elevará el caudal de agua servida afluente a el o los módulos de lombrifiltro y otro porcentaje de agua será devuelta a el canastillo, cuyo objetivo es disgregar los sólidos orgánicos que no hayan sido retenidos en éste.

A continuación de la planta elevadora, el agua es llevada hasta el lombrifiltro, construido de hormigón armado y albañilería reforzada, cuya profundidad mínima es de un metro, el ancho y largo dependerán del diseño (volumen de agua residual a tratar), en donde el agua residual escurre por gravedad a través de éste.

Esto es, el agua residual es regada a través de un sistema de aspersión o un dosificador de flujo, sobre un lecho compuesto por distintos estratos, conteniendo en su parte superior un alto número de lombrices. El afluente percola a través de los distintos estratos del filtro, quedando retenida la materia orgánica en las capas superiores del mismo, para luego ser consumida por las lombrices y la flora bacteriana asociada (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

La materia orgánica del agua es consumida por las lombrices, oxidándola a anhídrido carbónico y agua, pasando una parte menor de ella a constituir masa corporal de las lombrices y otra mayor en deyecciones de las mismas, lo que constituye el humus de lombriz (Quezada, 2001).

Los microorganismos presentes en el agua residual son reducidos en dos órdenes de magnitudes debido a sustancias que son generadas por las lombrices y los demás microorganismos consumidores de materia orgánica que viven junto con las lombrices.

Desde que el agua es asperjada 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.

Luego, el efluente del lombrifiltro es derivado a una **cámara de desinfección**. La cual puede estar compuesta por una cámara ultravioleta o de cloración en donde se logra la eliminación de las bacterias patógenas. Lo que permitirá entregar un efluente que cumpla con la Norma Chilena N° 1.333 Calidad de agua para diferentes usos.

El estanque de acumulación es optativo, en el cual se instalará una pequeña bomba impulsora. La que tendrá como finalidad, de utilizar las aguas tratadas de mejor manera (para riego).

6.2.3. DESCRIPCION DE LAS CAPAS DEL LOMBRIFILTRO.

El lombrifiltro estará compuesto de un medio filtrante y un soporte (ver figura 13).



FIGURA 13. Capas del Lombrifiltro.

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

El medio filtrante será una capa de humus de espesor teórico 2 cm. de profundidad, en el cual habitan en mancomunidad microorganismos y lombrices de la

especie *Eizenia Foetida*. El soporte estará constituido por tres capas, la primera de ellas de aserrín o viruta (debajo del humus), la segunda, ripio o grava y la tercera de bolones.

La primera capa de soporte y que también sirve de filtro, el aserrín o viruta, puede ser de ulmo o tepe (principalmente), cuyo espesor debe ser, por lo menos, de 25 cm. para lograr la franja operativa necesaria de la lombriz. Además, tiene como finalidad principal servir de alimento a las lombrices en el eventual caso que la carga contaminante del afluente no sea suficiente (Comisión Regional del Medio Ambiente, 2002).

La segunda capa estará constituida por ripio o grava y la tercera capa será de bolones con un espesor aproximado de 25 cm., las piedras de mayor tamaño van en la parte inferior y las de menor en la parte superior, esta capa esta destinada al drenaje y aireación del sistema. En las piedras también se forma flora bacteriana que digiere la materia orgánica del agua que pasa por ella y que no fue retenida en las capas superiores del lombrifiltro.

Entre los estratos de aserrín y arena se dispone una malla tipo Raschell, que sirve como elemento de separación y retención para el estrato de aserrín y las lombrices (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

El piso del filtro, también denominado falso fondo, consiste en un radier con cierta pendiente (aproximadamente de un 1%) para que fluya el agua hacia la canaleta de evacuación, la cual también posee cierta pendiente (0.50%).

Sobre el radier, existen pastelones de cemento vibrado, apoyados en soportes que pueden ser de cualquier material resistente e inerte. Estos pastelones pueden ser de distinto tamaño, separados aproximadamente 2 cm. entre sí. Sobre éstos se posan las piedras mas grandes del soporte, principalmente las de diámetro mayor a 2 cm., para así no permitir que éstas pasen más abajo (A.V.F. Ingeniería

Ambiental, 2003). Este piso falso sostiene las capas del soporte y el lecho de filtrado y además crea una sola guía de agua.

En el perímetro interno del lombrifiltro se instalan tubos de PVC de 110 mm. de diámetro, cada 2 metros aproximadamente, los cuales van en forma vertical, apoyados en su parte inferior en el radier y su parte superior sobresale 20 cm. de lecho filtrante (humus). Estos tubos se perforan con orificios (10 mm. de diámetro) los 20 cm. de su parte inferior y 8 cm. de la superior. Los tubos perforados permitirán airear el sector del falso fondo y la capa inferior del soporte.

6.2.4. MANTENCION DEL SISTEMA TOHA.

Para procurar el correcto funcionamiento del sistema del sistema Tohá, se requiere realizar las siguientes labores de mantención (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003):

- ✓ Extracción de sólidos retenidos en el canastillo, se recomienda al menos una o 2 veces a la semana, pero en caso de ser necesario debe aumentarse la frecuencia..
- ✓ Se debe realizar el horqueteo de la viruta superficial del lecho, para mejorar la permeabilidad de éste evitando aposamiento de aguas, se recomienda realizarlo al menos una vez por semana, pero en caso de ser necesario debe incrementarse la frecuencia.
- ✓ Para el correcto funcionamiento del lombrifiltro, el sustrato debe estar en un estado de saturación, sin llegar a tener aposamientos superficiales, los cuales no son recomendados debido a que la lombriz se aleja de estas zonas, haciendo perder la

homogeneidad del sistema. Este estado de saturación permanente es logrado a través de la descarga, a tasas controladas, de aguas residuales.

- ✓ Desmalezar el lecho al detectarse el crecimiento de algún tipo de plantas.
- ✓ Con una frecuencia de 4 meses debe realizarse la adición de viruta al lecho, ante la disminución de este estrato debido al fraccionamiento alcanzado.
- ✓ Limpieza periódica de regadores para garantizar en todo momento una uniformidad de riego en la superficie.

6.2.5. IMPLEMENTACION EN SECTORES RURALES.

El Sistema Tohá, es un método de tratamiento de aguas residuales que se está usando en sectores rurales chilenos, cuya aplicación a sido de un 90% en reemplazo de los sistemas sépticos (Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

Se ha implementado en el tratamiento de aguas residuales de:

- Residencias privadas;
- Escuelas;
- Comunidades rurales;
- Balnearios, condominios, campamentos, etc.

Cabe destacar, que también ha sido aplicado en el tratamiento de riles provenientes de:

- Mataderos.
- Empresas frutícolas.
- Empresa vinícola.
- En general toda empresa del área agro-alimenticia.

Ver en anexo 1, tabla 3 e imágenes de plantas en funcionamiento, en anexo 2.

Entre las ventajas que se pueden distinguir del Sistema Tohá están:

- ✓ No produce lodos inestables.
- ✓ El lecho filtrante no se impermeabiliza. Cuya característica se debe principalmente a la acción de las lombrices que, con su movimiento, crean túneles que aseguran en todo momento la alta permeabilidad del filtro. Los materiales sólidos orgánicos presentes en el agua residual, que colmatan o tapan otros filtros, en este caso son digeridos por las lombrices.
- ✓ Diseño modular, esto es debido a su facilidad de ser dimensionado a cualquier escala mediante módulos.
- ✓ El sistema es ecológico, ya que en el proceso no se usan aditivos químicos ni se producen residuos contaminantes (lodos), lo que redundaría en muy poco consumo de energía.
- ✓ Eficiente, ya que alcanza un alto grado de purificación con una remoción de hasta un 95% de DBO y sólidos suspendidos. Requiere de poco espacio para instalarlo, por ejemplo para el tratamiento de aguas residuales de 5 a 10 personas, pueden ser tratadas en 1 m² de lombrifiltro.
- ✓ La operación del sistema es simple y semejante a prácticas agrícolas, de fácil asimilación por planteros del sector rural o de pequeñas comunidades agrarias.

- ✓ No genera olores.

- ✓ Produce un excelente abono agrícola, cuyo uso incluso en forma excesiva no daña ni quema las plantas como es el caso de los fertilizantes químicos.

- ✓ El agua se puede utilizar para riego, ya que cumple con la Norma Chilena Nº 1.333 Calidad de agua para diferentes usos.

Entre las desventajas que presenta el sistema Tohá son:

- ✓ En climas extremadamente fríos puede afectar en la proliferación de las lombrices en el lecho.

- ✓ Necesidad de horqueteo que complica su aplicación en grandes instalaciones.

- ✓ Necesidad de incorporar viruta de madera cada 4 meses para no alterar las bondades de su tratamiento.

6.2.6. CUADRO COMPARATIVO ENTRE SISTEMA SEPTICO Y SISTEMA TOHA.

En la siguiente tabla, a modo de resumen, se presentan diferentes parámetros de tal forma de poder comparar ambos sistemas, ya estudiados anteriormente.

TABLA N° 5. Cuadro comparativo entre Sistema Séptico y Sistema Tohá.

(Fuente: Elaboración propia)

PARAMETRO	SISTEMAS	
	SEPTICO.	TOHÁ.
Consumo de Energía Eléctrica.	No requiere de energía eléctrica.	Su gasto energético es bajo: costo operacional de los equipos de bombeo y de la cámara de radiación.
Calidad del efluente.	No apto para riego. El efluente no cumple con la norma de riego, debido a que el efluente cuenta con una alta tasa de presencia bacteriana, no eliminable con la aplicación de cloro. En consecuencia existe un alto riesgo, al contaminar las napas subterráneas.	Apto para riego. El efluente cumple con la norma de riego, por lo tanto puede ser vertido encauses de tipo superficial.
Contaminación de napas.	Si.	No.
Generación de residuos.	Lodo contaminante, el cual debe ser retirado por un camión limpia fosas de manera periódica.	Humus, el cual puede ser utilizado como abono natural.
Mantenedor.	Si. Requiere de la inspección del usuario de la planta para verificar del estado de ésta, y de la utilización de un limpia fosas para el retiro del lodo acumulado.	Si. Requiere de un operario a cargo de la planta para realizar las labores de mantención como por ejemplo: horqueto superficial, extracción de sólidos retenidos en el canastillo, limpieza de regadores, etc.
Capacidad de Infiltrar las Aguas al Suelo.	No se garantiza la permeabilidad del suelo a lo largo del tiempo, ya que es un índice extremadamente inestable, depende de las características del suelo, de las condiciones de operación y mantención de la planta, por lo tanto, son de exclusiva responsabilidad del usuario de la misma.	No requiere de infiltrar el agua al suelo.
Requiere Desinfección de Efluente.	No.	Si.
Visibilidad en el Emplazamiento.	Baja. Las fosas sépticas se ubican generalmente enterradas.	Alta. Requiere más espacio para el emplazamiento del sistema (lombrifiltro, cámara UV, planta elevadora, etc.).

CONCLUSIONES.

Es un hecho que en sectores rurales, la solución mas popular al problema de tratamiento de aguas residuales, es el sistema séptico, sin embargo, el Sistema Tohá, es una realidad que se está aplicando en nuestro país. Pequeñas comunidades rurales, escuelas, residencias privadas, mataderos, empresas del área agro-alimenticia, etc. y municipalidades están tratando sus aguas residuales con este sistema.

Con la utilización del lombrifiltro, se obtiene n impactos positivos en la calidad de las aguas que se vierten a los cuerpos de agua o al subsuelo, ya que este tratamiento es muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos. Reducciones superiores al 90%. Esto se debe a que este sistema se encuentra diseñado para el cumplimiento de la norma de utilización de agua para riego (Norma Chilena 1.333). No es el caso para el sistema séptico, ya que posee bajos niveles de eficiencia en la remoción de contaminantes, cuyos niveles fluctúan entre el 40% - 50% (en el mejor de los casos), además el efluente no cumple con la norma de riego, debido a que la fosa séptica entrega un efluente que cuenta con una alta tasa de presencia bacteriana. En consecuencia, existe un alto riesgo de contaminar las napas subterráneas.

Es así, que los impactos positivos que se obtienen con el sistema Tohá, se traducen para las comunidades donde se encuentra instalado, en beneficios en los temas de salud, con la disminución de las enfermedades gastrointestinales; mejor calidad de agua para sostener los ecosistemas acuáticos; el mejoramiento de la calidad de las aguas para diferentes usos, etc. Además, esta planta no genera lodos contaminantes, sino que produce humus, el cual es utilizado como abono natural. Esto último, lo hace atractivo frente al sistema séptico, porque éste al generar lodos,

produce problemas de olores, requiere de inspección de la fosa cada cierto tiempo y así evitar la excesiva acumulación de lodos.

Lo anterior es importante, porque al no ser mantenidos correctamente se produce la incapacidad operativa de la fosa séptica, inhibiendo el proceso biológico del sistema de absorción. Por lo tanto, la persistencia de la permeabilidad del suelo depende estrechamente de las condiciones de mantención, que como es lógico asumir, son de exclusiva responsabilidad del usuario de la misma, que en la mayoría de los casos es deficiente o nula, provocando la contaminación de las napas subterráneas. Además, no se puede garantizar de que a pesar de realizar un buen mantenimiento en el sistema, la permeabilidad del suelo sea un hecho a lo largo del tiempo, ya que es un índice extremadamente inestable, dependiendo de las características de éste.

Por lo demás, el sistema Tohá, se considera un sistema ecológico para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que en el proceso no se usan aditivos químicos, ni se producen residuos contaminantes (lodos) como se mencionó anteriormente, lo que redundaría en muy poco consumo de energía, requiriéndola sólo para activar la bomba de la planta elevadora y para las cámaras de radiación ultravioleta, si fuese el caso del mecanismo (desinfección) a utilizar. Por otro lado, la operación del sistema es simple y semejante a prácticas agrícolas, de fácil asimilación por planteros del sector rural o de pequeñas comunidades agrarias.

En conclusión, éste sistema es una alternativa aplicable, para sectores rurales, con el cual se obtienen resultados positivos frente al medio ambiente y a la salud humana. Además, hoy en día debemos de tomar conciencia respecto de nuestros recursos hídricos, ya que éste es un bien escaso e indispensable en el desarrollo de los seres vivos. Porque, que el uso de los sistemas sépticos, no garantiza a lo largo del tiempo la protección de este recurso, el agua.

GLOSARIO.

Adsorción.

Proceso por el cual un gas, vapor, materia disuelta o partículas suspendidas son captadas o adheridas en la superficie de otro material tanto por fuerzas físicas como químicas.

Afluente.

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

Aguas Residuales Frescas.

Son las aguas residuales en su estado inicial, inmediatamente después de que se han agregado sólidos al agua. Contienen el oxígeno disuelto presente en el agua de abastecimiento y permanecen frescas mientras haya oxígeno suficiente para mantener la descomposición aeróbica. Esta agua residuales son turbias, con sólidos en suspensión o flotando, de color grisáceo y tienen un olor mohoso no desagradable.

Aguas Residuales Sépticas.

Son las aguas residuales en las que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto, de manera que han entrado en descomposición anaeróbica los sólidos con la siguiente producción de ácido sulfúrico y de otros gases. Esta agua residuales se caracterizan por su color negruzco, su olor fétido y desagradable, y por tener sólidos suspendidos y flotantes de color negro.

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 es de las bacterias llamadas **quimiosintéticas**, que utilizan cierto compuestos minerales como fuente de energía.

Bacteria Coliforme.

Bacterias que se encuentran en el intestino humano o en el de otras especies. La más conocida es **Escherichia coli**. Se usan en los análisis de calidad de las aguas pues su presencia indica contaminación con heces. La Organización Mundial de la Salud recomienda un recuento de 0 colonias por cada 100 ml de agua para beber.

Biofiltros.

Son estanques generalmente circulares rellenos con medio de soporte de roca o plástico, a través del cual fluye verticalmente el afluente, el que es recogido junto a la Biomasa en exceso que se desprende del medio, a través de un fondo falso, desde donde pasa a la sedimentación secundaria

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 (una vez que se ha sometido a desecación a temperaturas moderadas), en términos energéticos (kcal.), etc.

Biocida.

Un producto químico que es tóxico para los microorganismos. Los biocidas se utilizan a menudo para eliminar bacterias y otros organismos unicelulares del agua.

Biodegradable.

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

Bacterias Acidófilas.

Son las bacterias que pueden vivir en condiciones de acidez extrema (pH 1 a 2).

Coagulación.

Proceso por el cual se ayuda a las pequeñas partículas (coloides) suspendidas en el agua a sedimentar, mediante la adición de compuestos químicos que inducen a las partículas pequeñas (coloides) a formar grupos grandes (flóculos) de mayor peso, para su mejor sedimentación. Las sustancias que reutilizan en este proceso se les llama **coagulantes**, de los cuales los más utilizados son las sales de aluminio o hierro, tales como sulfato de aluminio, el cloruro férrico y el sulfato férrico.

Coloides.

Son, en general, sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica.

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.

Decantación Primaria.

Proceso en donde se retienen las partículas disueltas o en suspensión en las aguas residuales que no han podido retenerse por razón de su finura o densidad en el pretratamiento. Se consigue la decantación, llamada primaria, dejando sedimentar estas partículas en decantadores diseñados para tal efecto.

Decloración.

Luego de la desinfección el cloro residual puede persistir por muchas horas en el efluente. La decloración 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 decloración. El total de cloro residual puede ser normalmente reducido a un nivel no tóxico a la vida acuática.

Efluente.

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

Eutrofización o eutroficación.

Cambios físicos, químicos y biológicos que ocurren en un lago u otro cuerpo de agua superficial debido al enriquecimiento excesivo (materia orgánica y nutrientes: fosfato y nitratos). Los problemas se inician cuando el hombre contamina lagos y ríos, cuyo efecto es el crecimiento excesivo de algas y bacterias en el cuerpo de agua, con el posterior agotamiento del oxígeno disuelto y la muerte de muchos organismos aeróbicos. Es decir, ocasiona el crecimiento acelerado de algas, la muerte de peces y demás flora y fauna acuática, generando condiciones anaeróbicas.

Fermentación.

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

Filtración.

Proceso en donde se eliminan las partículas y microorganismos que no han podido ser separados en la etapa de coagulación floculación y sedimentación. Se eliminan a través de un manto poroso.

Floculación.

Adición de unos o mas compuestos químicos para formar flóculos, que es un compuesto insoluble capaz de absorber materia orgánica coloidal y sedimentarse fácilmente, para ello el agua se le adiciona sales de aluminio y de hierro.

Hermeticidad de la fosa séptica.

Característica de la estructura de no permitir fugas de agua a través de sus conexiones.

Heterótrofos.

Organismos que se alimentan de compuestos orgánicos proveniente de otros organismos o de los subproductos de éstos.

Laguna de Estabilización.

Son estanques construidos de tierra, de profundidad reducida (< 5 mt.), diseñados para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (algas, bacterias protozoos, etc.), y la materia orgánica, bajo condiciones naturales.

Lodos.

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

Lodos Activados.

Proceso de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.

Microorganismo Patógeno.

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

Nanómetro.

1 nanómetro = $10^{(-9)}$ metros. Símbolo: nm.

Nivel Freático.

Superficie que separa la zona del subsuelo inundada con agua subterránea de la zona en la que las grietas están rellenas de agua y aire.

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.

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.

Partes por millón.

Número de partes de un producto o sustancia que se encuentra en un millón de partes de un gas, un líquido o un sólido en particular. En análisis de agua un ppm es equivalente a mg/l. Símbolo: ppm.

Percolar.

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

Permeabilidad.

Capacidad de un material para transmitir un fluido.

Pirolisis.

Es la descomposición química obtenida mediante el calor.

Planaria.

Es la plaga de mayor importancia dentro de los criaderos de lombricias, es un gusano plano que puede medir de 5 a 50 mm., de color café oscuro, con rayas longitudinales de color café. La planaria se adhiere a la lombriz por medio de una sustancia cerosa que el que éste produce, posteriormente introduce en la lombriz un pequeño tubo de color blanco succionando todo el interior de la lombriz hasta matarla.

Riego por Aspersión.

El riego por aspersión permite aplicar el agua en forma de lluvia en la cantidad y la zona seleccionada para ello. Para evitar el escurrimiento superficial y el apozamiento de agua cuando se riega por aspersión, la intensidad de la lluvia que apliquen los aspersores debe ser siempre menor que la velocidad de infiltración estabilizada. Se recomienda que la intensidad máxima de la lluvia de los aspersores no supere el 90% de la velocidad de infiltración estabilizada.

Sedimentación.

Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de gravedad. Asentamiento de los sólidos suspendidos en el agua.

Sistemas de tratamientos convencionales.

Abarcan aquellos que involucran mecanización y se dividen a su vez según el tipo de cultivo que se trate, a saber cultivo fijo como biomasa adherida en forma de película en un medio de soporte, o cultivo suspendido biomasa. Estos pueden clasificarse como: 1) Cultivo Suspendido como Lodos activados en todas sus modalidades; 2) Cultivo Fijo como Biofiltros, Biodiscos, etc; 3) Lagunas Aireadas.

Sistemas de tratamientos no convencionales.

No involucran mecanización pero requieren grandes cantidades extensiones de terreno, como es el caso de las Lagunas de Estabilización (se basa de las condiciones naturales de depuración). Dentro de este sistema no convencional también se encuentra el Sistema Tohá.

Solubilidad.

La cantidad de masa de un compuesto que puede disolverse por unidad de volumen de agua.

Viscosidad.

Resistencia que opone un líquido a fluir como consecuencia de la atracción molecular (cohesión).

Volatilización.

Capacidad de las sustancias disueltas en un medio líquido de transferirse hacia un medio gaseoso.

Zooglea.

Se llama así, a una masa de colonias formadas por bacterias de aspecto gelatinoso, que se forma en la depuración por oxidación de las aguas negras.

ANEXO I

TABLA 1. Enfermedades Adquiridas por la Ingestión de Agua no Tratada.

(Fuente: Quezada, 2001)

ENFERMEDAD	<i>Gastroenteritis</i>
Agente	Campilobacter fetus subp jejuni
Incubación	De 1 a 3 días
Signos y síntomas	Calambres abdominales, diarrea, malestar, cefalea, mialgia, fiebre.
Fuente de Contaminación	Heces humanas, aguas servidas domésticas.
Factores que Contribuyen	Eliminación inapropiada de aguas servidas, obstrucción de cloacas, uso de agua contaminada.
ENFERMEDAD	<i>Amibiasis</i>
Agente	Entamoeba histolytica.
Incubación	De 2 a 4 semanas.
Signos y síntomas	Dolores abdominales, diarrea, fiebre, escalofríos, úlceras cutáneas.
Fuente de Contaminación	Heces humanas, aguas servidas domésticas.
Factores que Contribuyen	Eliminación inapropiada de aguas servidas, uso de abastecimiento de agua contaminada.
ENFERMEDAD	<i>Intoxicación por arsénico.</i>
Agente	Arsénico
Incubación	Según cantidad ingerida
Signos y síntomas	Agudo: vómitos, diarrea, calambres. Crónico: pérdida de peso, diarrea, náusea.
Fuente de Contaminación	Plaguicidas, herbicidas.
Factores que Contribuyen	Desecho de distinción de compuestos de arsénico, retrosifonamiento.
ENFERMEDAD	<i>Yersiniosis</i>
Agente	Yersinia enterolítica
Incubación	De 1 a 7 días.
Signos y síntomas	Dolores abdominales que sugieren apendicitis aguda, fiebre, cefalalgia, diarrea.
Fuente de Contaminación	Orina y heces de animales infectados (roedores, aves, porcinos)
Factores que Contribuyen	Uso de abastecimiento de aguas servidas.
ENFERMEDAD	<i>Dracontiasis.</i>
Agente	Dracunculus medinensis
Incubación	De 8 a 14 meses.
Signos y síntomas	Formación de una vesícula, sensación de quemadura y prurito en el sitio de salida.
Fuente de Contaminación	Descarga de larvas de la piel de la persona infectada.
Factores que Contribuyen	Crustáceos Cyclops en el abastecimiento de agua, abastecimiento de agua si protección.
ENFERMEDAD	<i>Giardiasis.</i>
Agente	Giardia lamblia
Incubación	De 1 a 4 semanas.
Signos y síntomas	Diarrea, dolores abdominales, timpanismo, náuseas, vómitos, debilidad, fatiga.
Fuente de Contaminación	Heces humanas, aguas servidas domésticas, heces animales.

Factores que Contribuyen	Eliminación inapropiada de aguas servidas, uso de abastecimiento de agua contaminada.
ENFERMEDAD	<i>Hepatitis A</i>
Agente	Virus de hepatitis A
Incubación	De 15 a 50 días.
Signos y síntomas	Fiebre, malestar, languidez, anorexia, náuseas, dolores abdominales, ictericia.
Fuente de Contaminación	Heces y orina humanas, aguas servidas domésticas.
Factores que Contribuyen	Eliminación inapropiada de aguas servidas, uso de abastecimientos de agua contaminada.
ENFERMEDAD	<i>Intoxicación por plomo</i>
Agente	Plomo y sales de plomo
Incubación	Variable, según lo ingerido.
Signos y síntomas	Dolor semejante al del cólico, estreñimiento, náuseas, vómitos, anemia.
Fuente de Contaminación	Tuberías y recipientes de almacenamiento de plomo de agua potable
Factores que Contribuyen	Empleo de tuberías de plomo para el abastecimiento, soldaduras de plomo.
ENFERMEDAD	<i>Fiebre tifoidea.</i>
Agente	Salmonella Typha
Incubación	De 7 a 28 días.
Signos y síntomas	Fiebre constante, malestar, cefalalgia, tos, náuseas, vómitos, anorexia, escalofríos.
Fuente de Contaminación	Heces y orina humanas, aguas servidas domésticas.
Factores que Contribuyen	Eliminación inapropiada de aguas servidas, retrosifonamiento, deficiencia de la cloración.
ENFERMEDAD	<i>Fiebre paratifoidea.</i>
Agente	Salmoneras distintas de las S.t.
Incubación	De 7 a 28 días.
Signos y síntomas	Los mismos síntomas que en la tifoidea pero puede ir precedida de gastroenteritis.
Fuente de Contaminación	Heces y orinas humanas, aguas servidas domésticas.
Factores que Contribuyen	Eliminación inapropiada de aguas servidas, retrosifonamiento, conexiones cruzadas.
ENFERMEDAD	<i>Metahemoglobinemia.</i>
Agente	Nitratos.
Incubación	Variable.
Signos y síntomas	Coloración azulada de la piel, sangre de color pardusco; afecta a niños de 4 meses.
Fuente de Contaminación	Fertilizantes, aguas servidas domésticas, heces animales.
Factores que Contribuyen	Pozos pocos profundos, sin protección o sin revestimiento, empleo excesivo de fertilizantes.
ENFERMEDAD	<i>Salmonelosis.</i>
Agente	Salmonella < 1600 > serotipos.
Incubación	De 1 a 3 días.
Signos y síntomas	Dolores abdominales, diarrea, escalofríos, fiebre náuseas, vómitos, malestar.
Fuente de Contaminación	Heces humanas y animales, aguas servidas domésticas.
Factores que Contribuyen	Eliminación inapropiada de aguas servidas, acceso de animales a pozos y corrientes de agua.

TABLA 2. NORMA NCh 1333.Of78: Agua para riego

(Fuente: Universidad de Santiago de Chile. <http://lauca.usach.cl/ima/apendc.htm#agua%20regadío>)

PARAMETRO	LIMITE MAXIMO
Aluminio	5 mg/l
Arsénico	0,10 mg/l
Bario	4,00 mg/l
Berilio	0,10 mg/l
Boro	0,75 mg/l
Cadmio	0,010 mg/l
Cianuro	0,20 mg/l
Cloruro	200,00 mg/l
Cobalto	0,050 mg/l
Conductividad	según tipo de cultivo
Cobre	0,20 mg/l
Coliformes fecales	1000 col. fecales/100 ml
Cromo	0,10
Fluoruro	1 mg/l
Hierro	5mg/l
Litio	2,50 mg/l
Litio (cítricos)	0,075 mg/l
Manganeso	0,20 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l
Molibdeno	0,010 mg/l
Níquel	0,20 mg/l
pH	5,5 - 9,0
Plata	0,20 mg/l
Plomo	5,00 mg/l
Selenio	0,020 mg/l
Sodio porcentual	35,00 %
Sólidos disueltos totales	según tipo de cultivo
Sulfato	250 mg/l
Vanadio	0,10 mg/l
Zinc	2,00 mg/l

TABLA 3. Sistemas Tohá instalados en Chile para tratamiento de aguas residuales y residuos industriales líquidos. (*Plantas en operación).

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

AGUAS RESIDUALES			
AÑO	INSTITUCION.	Nº USUARIOS	LOCALIDAD
1994	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas CEXAS. Melipilla.	700	Región Metropolitana
1995	Escuela Curacaví*	30	V Región
1998	Municipalidad Peumo Población Arboleda*	200	VI Región
1997	Loteo Inmobiliario Mirador del Valle.	850	Región Metropolitana
1999	Centro de Investigación Ayacara*	20	X Región
2000	Escuela El Valle Padre Las Casas*	60	IX Región
2000	Colegio Claret*	2.000	IX Región
2001	Liceo Ambiental José Tohá Ayacara*	100	X Región
2001	Población San Marcelo*	50 (casas)	Temuco, IX Región
2001	Escuela Bautista*	300	IX Región
2001	Hospital Maquewa*	50	IX Región
2001	Escuela 98*	300	IX Región
2002	Industria Tejas de Chena*	40	Región Metropolitana
2002	Colegio Ester Uribe*	35	Cauquenes, VII Región
2002	Colegio La Posada*	120	Cauquenes, VII Región
2002	Localidad de Cancura (Estudio)	1.800	Cancura, Osorno, X Región
2002	Colegio Pocillas*	120	Cauquenes, VII Región
2003	Población El Melón, Nogales*	14.000	V Región
2003	Empresa Electroandina, (Estudio y Construcción)	200	II Región
2003	Parque Municipal de Maipú *	2.500	Región Metropolitana
2004	Parque Bosque de Santiago *	150	Región Metropolitana
2004	Campamento Lierecillo (Proyecto)	100	Constitución VII Región
Ejec.	Colegio Viñales.	500	Constitución, VII Región
Ejec.	Villorrio 19 de Febrero.	800	Quillota V Región
RESIDUOS INDUSTRIALES LIQUIDOS			
AÑO	INSTITUCION.	Nº RILES	LOCALIDAD
1999	Empresa CHILOLAC*	200 m3/día; 900 m2; riles lácteos	X Región
1999	Empresa AGROZZI S.A.*	7.000 m3/día; 1.7 ha; riles tomates.	VII Región
2001	Empresa Carozzi Nos*	300m3/día; 720 m2	Región Metropolitana
2002	Empresa Costa-Ambrosoli*	180 m3/día; 1.800 m2; riles alimentos	V Región
2002	Frigosor S.A.	1.200 m3/día; riles matadero	Osorno, X Región
2002	Loncoleche S.A. (piloto)	750 m3/día; riles	Osorno, X Región
2002	Soprole S.A. (piloto)	1.5 m3/día; riles	San Bernardo, R.M.
2002	Fjord Sea Food (Piloto)	100 m3/día; riles	Tepual, X Región
2002	Cecinas Llanquihue	300 m3/día; riles	Llanquihue, X Región
2003	Lacteos PuertoVaras, (piloto)	15 m3/día; riles	X Región

Sistemas particulares.

Desde el año 1999, se han desarrollado más de 200 proyectos de estudio y construcción para casas particulares, en diferentes comunas del país, ejemplo: La Florida, Paine, Lampa, etc

ANEXO II

FIGURA 1. Planta Elevadora y Cámara de Rejas de una Residencia privada

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003)

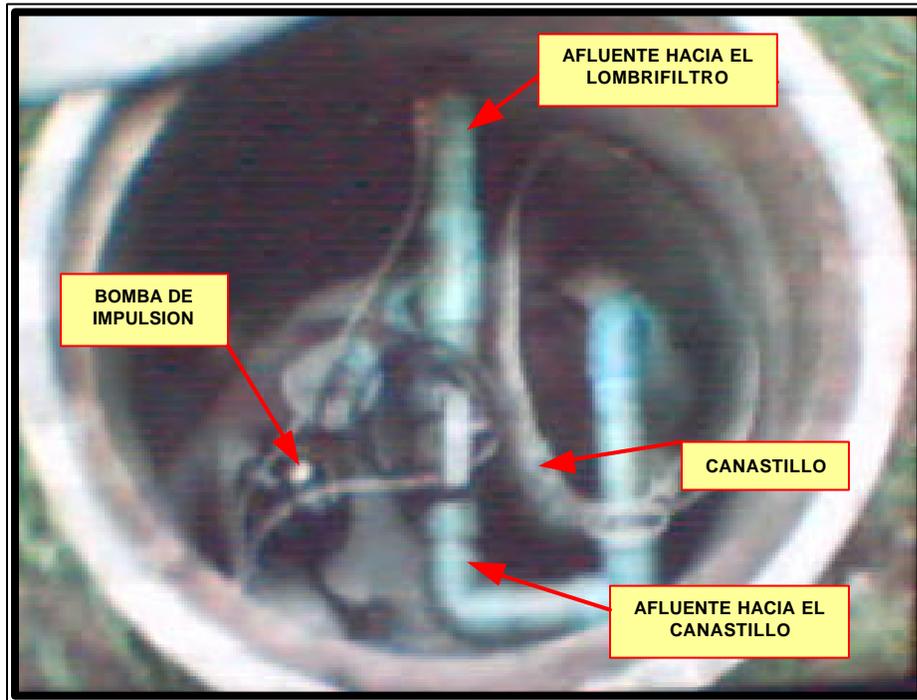


FIGURA 2. Sistema Tohá. (Fuente: Arango,2003)

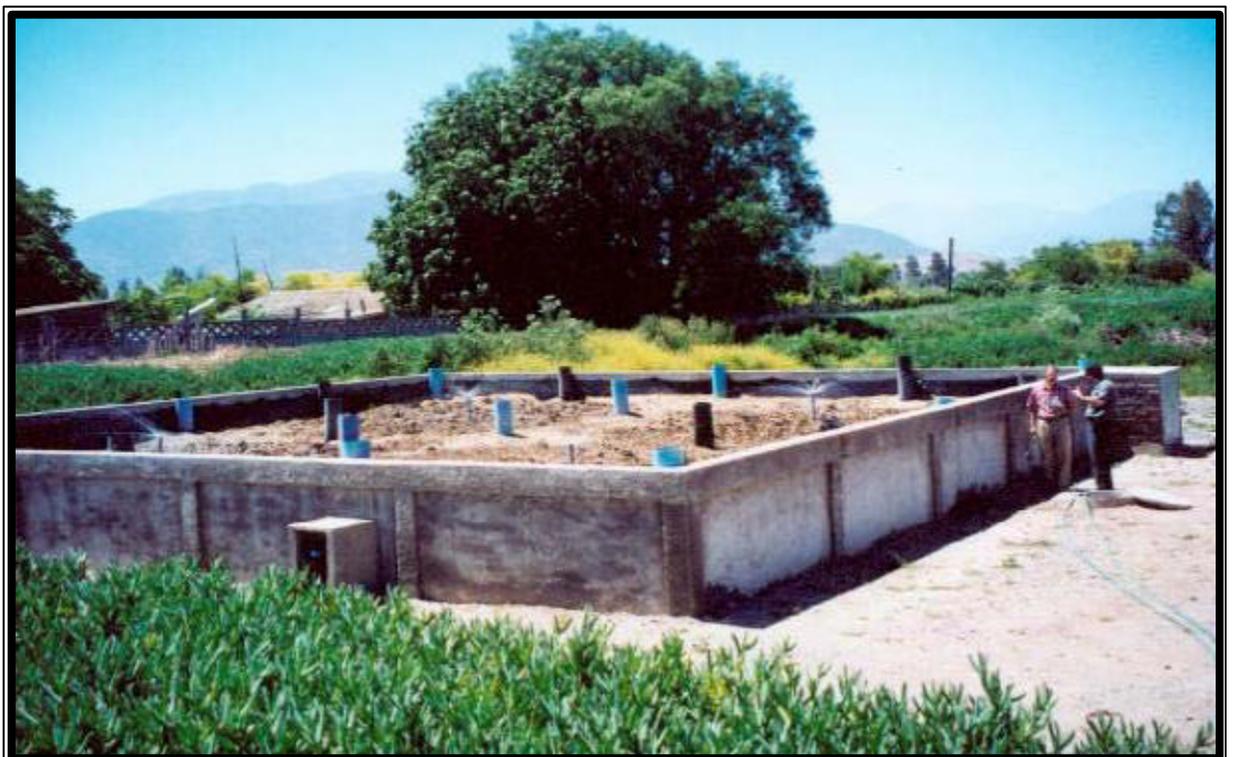


FIGURA 3. Sistema Tohá. (Sistema de distribución de agua con aspersores)

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).



FIGURA 4. Sistema Tohá (Sistema de distribución de agua con dosificador de flujo)

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003)

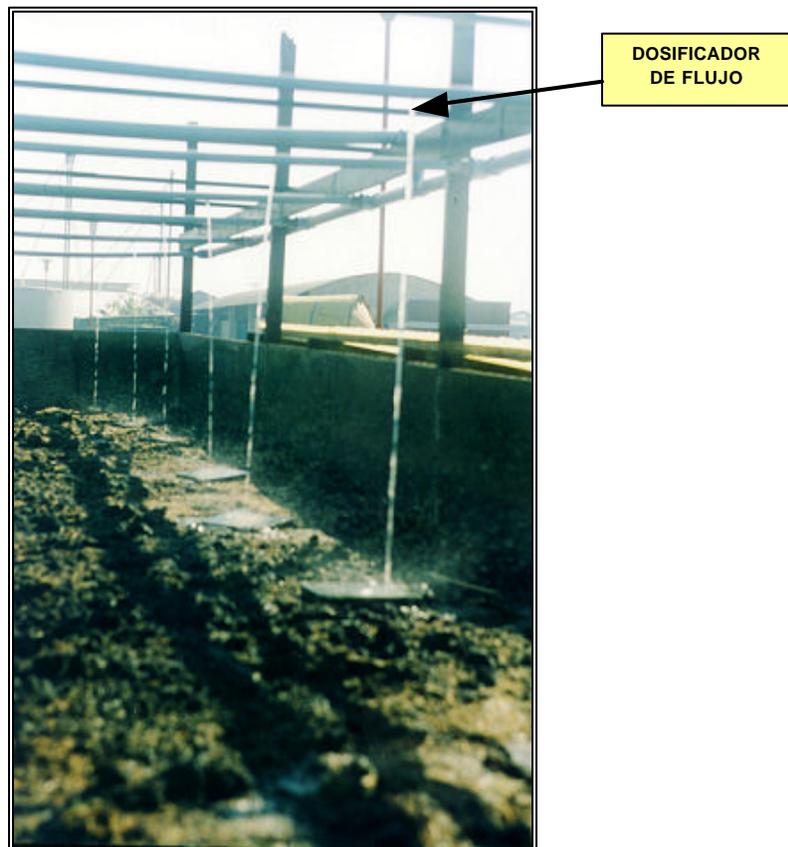


FIGURA 5. Sistema Tohá , Colegio Campus Claret, Temuco.

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental. Disponible en la pagina web: [http:// www.biofiltro.cl](http://www.biofiltro.cl))



FIGURA 6. Sistema Tohá , Parque Municipal de Maipú, Región Metropolitana.

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental. Disponible en la pagina web: <http://www.biofiltro.cl>)



FIGURA 7. Sistema Tohá , Residencia Privada, Región Metropolitana.

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003)



FIGURA 8. Sistema Tohá , Empresa Chilolac (Riles), Ancud.

(Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental. Disponible en la pagina web: <http://www.biofiltro.cl>)



BIBLIOGRAFIA.

1. AGROFLOR. "Técnicas de Lombricultura. Manual Técnico".
2. AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE EE.UU (EPA). Folleto Informativo de Sistemas Descentralizados: Tanque Séptico - Sistemas de Absorción al Suelo. Disponible en Internet <http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-075.pdf>.
3. AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE EE.UU (EPA). Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales: Desinfección con Cloro. Disponible en Internet <http://www.epa.gov/owm/mtb/cs-99-062.pdf>.
4. AGUA CENTRO FIBROGEN. Fosas Sépticas. Disponible en Internet: <http://www.fibrogen.cl/fosas%20septicas.htm>.
5. AGUAMARKET. Productos y Servicios para la Industria del Agua en Latino América. Disponible en Internet: http://www.aguamarket.com/temas_interes/003.asp
6. A.V.F. INGENIERÍA AMBIENTAL. Fundación para la Transferencia Tecnológica. Universidad de Chile. "Programa de Descontaminación de Aguas, Biofiltro. 2003"
7. A.V.F. INGENIERÍA AMBIENTAL. Fundación para la Transferencia Tecnológica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Disponible en Internet <http://www.biofiltro.cl>
8. ARANGO LAWS JESSICA E. Tesis. "Evaluación Ambiental del Sistema Tohá en la Remoción de Salmonella en aguas servidas Domésticas". Santiago Universidad de Chile., Facultad de Ingeniería. 2003.
9. BIOLIGHT S.A. Sistemas de Purificación. <http://www.biolight.cl>

10. COLEGIO IRABIA. Departamento de Ciencias Naturales. Microbiología. Disponible en Internet
<http://www.irabia.org/web/ciencias/microbiologia/microbios/bacterias.htm>
<http://www.irabia.org/web/ciencias/microbiologia/microbios/protozoo.htm>
<http://www.irabia.org/web/ciencias/microbiologia/microbios/algas.htm>
<http://www.irabia.org/web/ciencias/microbiologia/microbios/hongos.htm>
11. COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CONAMA). El Mundo urbano “Novena región de la Araucanía”. <http://www.conama.cl>.
12. COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (COREMA). Resolución de Calificación Ambiental. “Estudio y Diseño de Servicio Público de Alcantarillado de Planta de Tratamiento de Aguas servidas sin generación de Lodos para la localidad de Cancura, 2002”.
13. CLEAN WORLD HISPANIA. Corporación de Biotecnología Aplicada. España. Mantenimiento Fosas y Pozos Sépticos. Disponible en Internet:
http://www.ctv.es/clean_world_hispania/fosassepticaspozossepticos.htm
14. DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK. “Manual de Tratamiento de aguas Negras”. Editorial Limusa- Wiley, S.A. México, D.F. 1964.
15. ESPINOZA C. Sistema de Disposición de aguas Servidas con Arrastre de Agua. 2003.
16. FONDO DE FOMENTO AL DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO (FONDEF). Tratamiento de Aguas. Disponible en Internet:
<http://www.conicyt.cl/dossier/cd/docs>.
17. FUNDACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Sistema Tohá. Disponible en Internet <http://www.sistematohá.cl>
18. J. GLYNN HENRY Y GARY W. HEINKE. “Ingeniería Ambiental”. Editorial Prentice Hall, México. 1999.

19. LACRAMPE GUSTAVO. Apuntes "Aguas Servidas".1992.
20. LOMBRICULTURA S.C.I.C. Centro de Investigación y Desarrollo en la ciudad de Quito, Ecuador. Disponible en Internet <http://www.lombricultura.net>.
21. METCALF & EDDY,. "Ingeniería de Aguas residuales. Redes de Alcantarillado y Bombeo". Editorial McGraw-Hill. Madrid. 1998
22. METCALF & EDDY,. "Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización". Editorial McGraw-Hill. Madrid. 1995.
23. PASTORELLY RUIZ DAVID. "Lombricultura".
24. PORTAL DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: EMPRESAS, SERVICIOS Y SUMINISTROS. Mantenimiento de Pozos Sépticos. Disponible en Internet: http://www.solomantenimiento.com/m_pozos_septicos.htm
25. QUEZADA PAULO. Tesis: "Planta de Tratamiento de Residuos Industriales Lácteos". Temuco, Universidad de la Frontera. 2001.
26. RAMALHO R.S. "Tratamiento de Aguas residuales". Editorial Reverté, S.A. Barcelona. 1996.
27. SERVICIO DE SALUD VALPARAÍSO – SAN ANTONIO. Dpto. de Programas sobre el Medio Ambiente. Mantención de Fosas Sépticas. Disponible en Internet: <http://www.ssvsa.cl/fosasept.htm>.
28. TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM. Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. <http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/L-5227S>.
29. UNIVERSIDAD DE CHILE. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. <http://www.tamarugo.cec.uchile.cl>
30. UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental. <http://lauca.usach.cl/ima/apendc.htm#agua%20regadío>
31. UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Tecnología Ambiental. Disponible en Internet: <http://www.us.es/grupotar/tar/ebliblioteca/documentacion/arus.htm>