

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**“ESTUDIO DE FILTROS BIOLÓGICOS PARA AGUAS GRISES
UTILIZANDO LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*)”**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
CONTROL DEL MEDIO
AMBIENTE

Alumna:

Srta. Daniela A. Rojas A.

Profesor Guía:

Gonzalo A. Sepúlveda R.

Profesor Correferente:

Manuel A. Saavedra G.

2020

RESUMEN

KEYWORDS: FILTRO BIOLÓGICO, AGUAS GRISES, ESCASEZ HÍDRICA, *Eisenia foetida*.

El presente trabajo tiene por objetivo proponer un filtro biológico que cumpla con las condiciones óptimas para la lombriz *Eisenia foetida* y logre obtener desde las aguas grises un efluente apto para regadío cumpliendo con las normativas vigentes. De tal manera de proporcionar una alternativa a la escasez hídrica que enfrenta nuestro país.

Se analiza el concepto de aguas grises, las cuales son consideradas una parte importante de las aguas residuales representando aproximadamente un 60% de aguas desechadas en el hogar. Cumpliendo con los parámetros y condiciones para su reutilización a través de un sistema de tratamiento de aguas no convencionales, para esto se compararán filtros biológicos, ya que se requiere abordar el problema de una manera sustentable para proteger y conservar el medio ambiente.

Finalmente, del conjunto de información investigada la propuesta del tratamiento biológico es el Sistema Tohá, se caracteriza principalmente por la utilización de lombrices rojas californianas como actor principal y distintos medios filtrantes para retener los sólidos o contaminantes del agua. Además, es adecuado para la recuperación de aguas, siendo un método eficiente en la remoción de contaminantes, simple y económico para obtener agua de riego.

Se recomienda incorporar el uso de Microorganismos Eficientes al medio filtrante donde se ubican las lombrices para mejorar la calidad del agua y acelerar el proceso. También, se aconseja elaborar el sistema propuesto para realizar sus respectivos análisis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
ALCANCE	2
JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES	4
ANTECEDENTES GENERALES	5
1. AGUA RECURSO ESENCIAL	5
1.1 Usos del agua	5
1.2 ESCASEZ HÍDRICA EN EL MUNDO	6
1.2.1 Causas de la escasez hídrica	8
1.2.1.1 Contaminación del agua	8
1.2.1.2 Crecimiento de la población	9
1.2.1.3 Desigualdad del recurso hídrico	10
1.3 ESCASEZ HÍDRICA EN CHILE	10
1.3.1 Estado del agua	10
1.3.2 Uso del agua en Chile	11
1.4 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS	12
1.4.1 Marco legal vigente N. Ch 1.333/78	12
1.4.1.1 Tipos de agua	12
1.4.2 Marco legal vigente N. Ch 409/1 – 409/2	13
1.4.2.1 Parámetros	13
1.4.2.2 Muestreo	14
1.5 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	15
1.5.1 Normativas aplicables	15

1.5.2.1	Mecanismos de filtración	16
1.5.2.2	Tipos de filtración	16
1.5.2.3	Medios filtrantes.....	17
1.5.2.4	Condiciones para elegir un filtro	19
1.6	NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS.....	19
1.6.1	Fases de la nutrición de las plantas [30].....	23
1.6.2	Importancia del agua para las plantas.....	26
CAPÍTULO II: OPORTUNIDAD DE REÚSO		27
OPORTUNIDAD DE REÚSO		28
2.	AGUAS GRISES	28
2.1.1	Caracterización	28
2.1.2	Composición.....	28
2.1.3	Clasificación [1]	30
2.2	TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES	30
2.2.1	Filtros biológicos	30
2.2.1.1	Funcionamiento	31
2.2.1.2	Clasificación [33]	31
2.2.1.3	Distintas tecnologías [33]	32
2.2.1.4	Comparación de filtros biológicos	33
2.3	LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA.....	35
2.3.1	Ciclo y reproducción de la lombriz	36
2.3.2	Condiciones óptimas de la lombriz [36].....	37
2.3.3	Dieta adecuada para la lombriz	37
2.3.4	Comportamiento de la lombriz.....	38
2.3.5	Humus	39
2.3.6	Lixiviado	39
2.4	MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME)	40

2.4.1	Tipos de ME [40,41]	40
2.4.1.1	Bacterias fotosintéticas	40
2.4.1.2	Bacterias Ácido-Lácticas	40
2.4.1.3	Levaduras	41
2.4.1.4	Actinomicetos.....	41
2.4.1.5	Hongos de fermentación.....	41
2.4.2	Condiciones ideales para ME [41]	41
CAPÍTULO III: RESULTADOS		43
3.	RESULTADOS	44
3.1	PROPUESTA DE FILTRO BIÓLOGICO [42].....	44
3.1.1	Sistema Tohá	44
3.1.1.1	Funcionamiento	44
3.1.1.2	Diseño del Lombrifiltro.....	46
3.1.1.3	Mantenimiento del Sistema	47
3.1.1.4	Eficiencia del tratamiento.....	47
DISCUSIÓN		49
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES		50
REFERENCIAS.....		52
ANEXOS		57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mapa zonas de escasez material y económica de agua. Naranjo: escasez material de agua; morado: proximidad a la escasez de agua; amarillo: escasez económica de agua; verde: poca o ninguna escasez de agua; gris: sin estimar.	8
Figura 1-2: Gráfico y tabla de la esorrentía media anual por región del año 2009..	11
Figura 1-3: Gráfico resumen de las demandas actuales de uso consuntivo de agua a nivel país.	12

Figura 1- 4: Estructura de la raíz.....	24
Figura 1-5: Esquema sencillo de la fotosíntesis.....	25
Figura 2 -1: Ciclo y reproducción de la lombriz roja californiana.....	37
Figura 3-1: Funcionamiento del sistema Tohá.....	44
Figura 3-2: Capas del lombrifiltro	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Medios filtrantes	18
Tabla 1-2: Macronutrientes esenciales.....	20
Tabla 1-3: Micronutrientes esenciales	22
Tabla 2-1: Composición características de aguas grises	29
Tabla 2-2: Composición aguas grises	29
Tabla 2-3: Ventajas y desventajas de filtros biológicos.....	33
Tabla 2-4: Características generales de la lombriz	35
Tabla 2-5: Parámetros del alimento de la lombriz <i>Eisenia foetida</i>	38
Tabla 2- 6: Composición del humus de lombriz.	39
Tabla 3-1: Parámetros que remueve el Sistema Tohá.....	48

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

OMM: Organización Meteorológica Mundial

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ODM: Objetivos del Desarrollo del Milenio

DGA: Dirección General de Aguas

MINSAL: Ministerio de Salud

N. Ch: Norma Chilena

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días

DQO: Demanda Química de Oxígeno

ST: Sólidos Totales

ATP: Adenosín Trifosfato (Adenosine Triphosphate)

ADN: Ácido desoxirribonucleico

ARN: Ácido ribonucleico

MBR: Reactor Biológico de Membrana (Membrane Biological Reactor)

CBR: Contactadores Biológicos Rotarios o Biodiscos

ME: Microorganismos Eficientes

PTAS: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

UFC: Unidad Formadora de Colonias

NMP: Número Más Probable

NTU: Unidad de turbidez nefelométrica (Nephelometric Turbidity Unit)

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios

PVC: Cloruro de Polivinilo

SIMBOLOGÍAS

Km: Kilometro

Mm: Milímetro

m: Metro

mg: Miligramo

cm: Centímetro

g: Gramo

μm : Micrómetro

>: Mayor que

<: Menor que

$\geq$: Mayor que o igual a

$\leq$: Menor que o igual a

s: Segundos

L: Litro

ml: Mililitros

$^{\circ}\text{C}$: Grado Celsius

INTRODUCCIÓN

La escasez hídrica en el planeta es una realidad, el cambio climático y el crecimiento demográfico son los principales factores que se encuentran en diversos informes realizados en el último tiempo. Chile, por su parte, presenta escasez y desigualdad hídrica en gran parte del territorio, en el norte el uso del agua está destinado principalmente a las industrias mineras, las cuales perjudica a la población que habita en las localidades cercanas a través de la contaminación del agua, en las regiones de la zona centro el agua se emplea para la agricultura industrial y por último, en el extremo sur la concentración de aguas está dada por las empresas generadoras de energías a través de usos no extractivos, se suman a estos acontecimientos altas temperaturas y baja en las precipitaciones, efectos del cambio climático. A pesar del estado de sequía en el país no existe una demanda considerable para la reutilización de aguas.

Las aguas grises, por ejemplo, aún es un recurso no aprovechado, poseen un bajo nivel de nutrientes y patógenos, pueden ser tratadas utilizando tecnologías simples, como filtros biológicos [1]. Los filtros biológicos son sistemas de tratamientos de aguas no convencionales que se encargan de utilizar estas aguas grises y luego las convierten en aguas aptas para riego; y serán claves en esta investigación.

Para enfrentar la problemática, se estudia un filtro biológico que utilice la lombriz roja californiana, que sea capaz de reutilizar las aguas grises de los hogares para regar de una manera sustentable y optimizar el uso del agua. Con esto, se identifican las condiciones apropiadas de la lombriz en cuestión y posteriormente se propone un sistema de filtrado biológico que entregue agua de regadío con los parámetros establecidos y sea considerado un método eficiente.

El presente estudio se constituye de tres capítulos; en primer lugar, se encuentran los antecedentes generales en donde se presenta la escasez del recurso hídrico y los tratamientos de aguas con sus respectivas normativas; en el capítulo dos se expone sobre los filtros biológicos y las condiciones óptimas de la lombriz *Eisenia foetida* y por último en el capítulo tres, se hace una propuesta de un filtro biológico adecuado para la lombriz debido a que es parte relevante del sistema de filtrado.

OBJETIVO GENERAL

Proponer un sistema de filtrado de aguas grises mediante la utilización de lombrices rojas californiana, *Eisenia foetida*, para la obtención de agua para riego.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir sistemas de generación de aguas grises en el hogar.
- Identificar normativa asociada de la generación y tratamientos de aguas grises.
- Comparar métodos de filtrado biológicos que permitan la reutilización de aguas grises.
- Estudiar el comportamiento de la lombriz roja californiana, *Eisenia foetida*, en sistemas de filtrado biológico.
- Proponer un sistema de filtrado biológico que proporcione un subproducto de carácter sustentable.

ALCANCE

El alcance del estudio es proponer un filtro biológico que facilite el acceso al agua de riego con las características adecuadas, para incrementar la reutilización de aguas en los hogares y enfocarse en un sistema ecológico, simple y sustentable a través de la utilización de la lombriz roja californiana, *Eisenia foetida*.

JUSTIFICACIÓN

El presente estudio surge a partir del problema que está enfrentando Chile con la escasez del recurso hídrico en gran parte de su territorio, por esta razón se busca aprovechar el agua a través de su reutilización. La situación de los recursos hídricos en nuestro país va empeorando día tras día; existen factores, los cuales perjudican la disponibilidad del recurso, las causas más relevantes son: cambio climático donde Chile es uno de los países más afectados, los factores meteorológicos, el promedio de las precipitaciones es de 1.525 mm/año, la contaminación en las aguas, el deterioro de las fuentes naturales; aumento de la demanda por el crecimiento de la población y por las actividades económicas. [2]

De esta manera, se propone aprovechar las aguas grises provenientes de duchas o lavamanos a través de un filtro biológico adecuado para utilizar la lombriz *Eisenia foetida*, que se encarga de otorgar diferentes nutrientes al agua gris reutilizada. La lombriz, también llamada, roja californiana tiene varias ventajas en comparación a otras lombrices, y este factor es clave en la investigación.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES

ANTECEDENTES GENERALES

1. AGUA RECURSO ESENCIAL

El agua es una fuente esencial para la vida y los ecosistemas, es un líquido transparente que se conoce en dos formas universales: agua salada y dulce; cubre más del 70% de la superficie del planeta, se encuentra principalmente en océanos en un 97% aproximadamente; también en lagos, ríos, en el aire y en el suelo. Solo un 2,5% es agua dulce; el agua subterránea, los glaciares, la nieve y el hielo contienen una parte de esta agua. Se considera al agua superficial más accesible para su extracción en comparación con las nombradas anteriormente, solo hay disponible un 1%, en síntesis, el agua dulce es un recurso escaso. El agua posee propiedades únicas, es usada para muchas finalidades y en cada caso se requiere una calidad particular; tiene una gran capacidad calórica, alto calor de vaporización, tensión superficial alta, calor latente de fusión y se puede encontrar en tres fases (sólida, líquida y gaseosa) dependiendo del uso, la presión y la temperatura. [3]

Es importante destacar que el agua tiene como principal característica la presencia de un ciclo hidrológico que incluye una serie de etapas que atraviesa el agua entre las diferentes capas de la tierra a la atmosfera. Se mueve a través de diferentes procesos como la evaporación, precipitación, condensación, sublimación, fusión y flujo de agua subterránea, se logra almacenar en reservorios como lo son los océanos, lagos y ríos. Todo este largo proceso abarca un transcurso de transporte permanente. [4]

1.1 Usos del agua

Se entiende como uso del agua a una actividad; puede ser uso consuntivo, que es la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen descargado; y está el uso no consuntivo, los cuales no consumen agua, pero es utilizada en la generación de energía eléctrica, que utiliza el volumen almacenado en represas. [5]

El recurso hídrico es vital para la mantención de la vida de todos los seres vivos del planeta, es empleada en diversas áreas, ya sea para vivir o para producir e intercambiar

bienes y servicios; como, por ejemplo: consumo humano, limpieza personal, agricultura, industria, minería, electricidad, para fines recreativos, entre otros. [Ver ANEXO A]. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se estima que la demanda mundial del recurso está aumentando, es decir, se estima que va aumentando a un ritmo de más del doble del crecimiento demográfico. En la actualidad, la demanda global del agua es unos 4.000 Km³ por año. El agua va destinada en grandes cantidades principalmente a la agricultura, industria, producción de energía y uso doméstico. Otro problema al intensificarse la demanda es la disminución de caudales, se extrae una gran proporción de agua de algunos ríos o lagos, en donde estos tienden a encogerse, lo mismo sucede con los niveles del agua subterránea, en algunos acuíferos han bajado decenas de metros a causa de un bombeo constante. [6]

1.2 ESCASEZ HÍDRICA EN EL MUNDO

En términos generales, escasez hídrica se entiende cuando la demanda del agua supera a los suministros disponibles en cierto territorio. La escasez de agua tiene tres dimensiones: física (cuando la oferta disponible no satisface la demanda), infraestructural (cuando la infraestructura existente no permite satisfacer la demanda de agua de todos los usuarios) e institucional (cuando las instituciones y normativas legales no logran garantizar un suministro de agua fiable, seguro y equitativo a los usuarios).

Actualmente el requerimiento hídrico en el planeta se está sobreponiendo al suministro existente; la utilización de agua va en aumento en un 1% anual en todo el mundo desde los años 80 [7], los factores que han incrementado esta cifra son: el aumento de la población, según un informe de la ONU, va a un ritmo de 80 millones de personas al año; el uso descontrolado del agua por parte de las industrias, y por último, la sequía se puede observar por los efectos del cambio climático.

Existen países que ya se encuentran en escasez hídrica y otros están pronto a llegar a esta situación. En la figura 1-1, se destacan cinco colores los cuales indican el grado de escasez material o económica de agua. El color naranja se define como la extracción de recursos hídricos se acerca o excede los límites sostenibles, en el mapa se ven los

países como China, Estados Unidos e India. Se refiere a la proximidad a la escasez de agua el color morado, aquí se extrae más del 60% del caudal de los ríos, esto trae que las cuencas tengan escasez material en un futuro próximo. El color amarillo representa escasez económica de agua para factores humanos y financieros, estos limitan el acceso al agua, aunque esté disponible localmente para satisfacer las necesidades humanas como se muestra en el continente africano. El color verde corresponde a poca o ninguna escasez de agua esto quiere decir que hay abundantes recursos hídricos con relación al uso, con menos del 25% del agua de los ríos extraída para uso humano. Y los países que se destacan con el color gris no tienen datos. [8]

Hay iniciativas que se han desarrollado para abordar la problemática como la de la Organización de Naciones Unidas (ONU) en el año 2007, conmemoran el día mundial del agua el 22 de marzo; también el día mundial contra la desertificación en el 2013, el tema central “No dejes que nuestro futuro se seque”, buscan medidas para preparar la sequía y la desertificación. El programa UN-Water para ayudar a los países miembros a cumplir los objetivos y las metas en materia de agua y sanidad. Además, los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), marcaron un gran acontecimiento en el mundo, fueron acordados en la Cumbre del Milenio celebrada en el año 2000 por 191 estados miembros de la ONU, los cuales instauran metas para reducir la pobreza, el hambre, enfermedades, el analfabetismo, degradación ambiental; entre esas metas los gobiernos miembros acuerdan reducir a la mitad el porcentaje de personas que no tienen acceso al agua potable apta para consumo para el 2015, también se propone que todos los países pusieran fin a la explotación insostenible de los recursos hídricos. Estos objetivos son fundamentales para el agua y la población. [9]

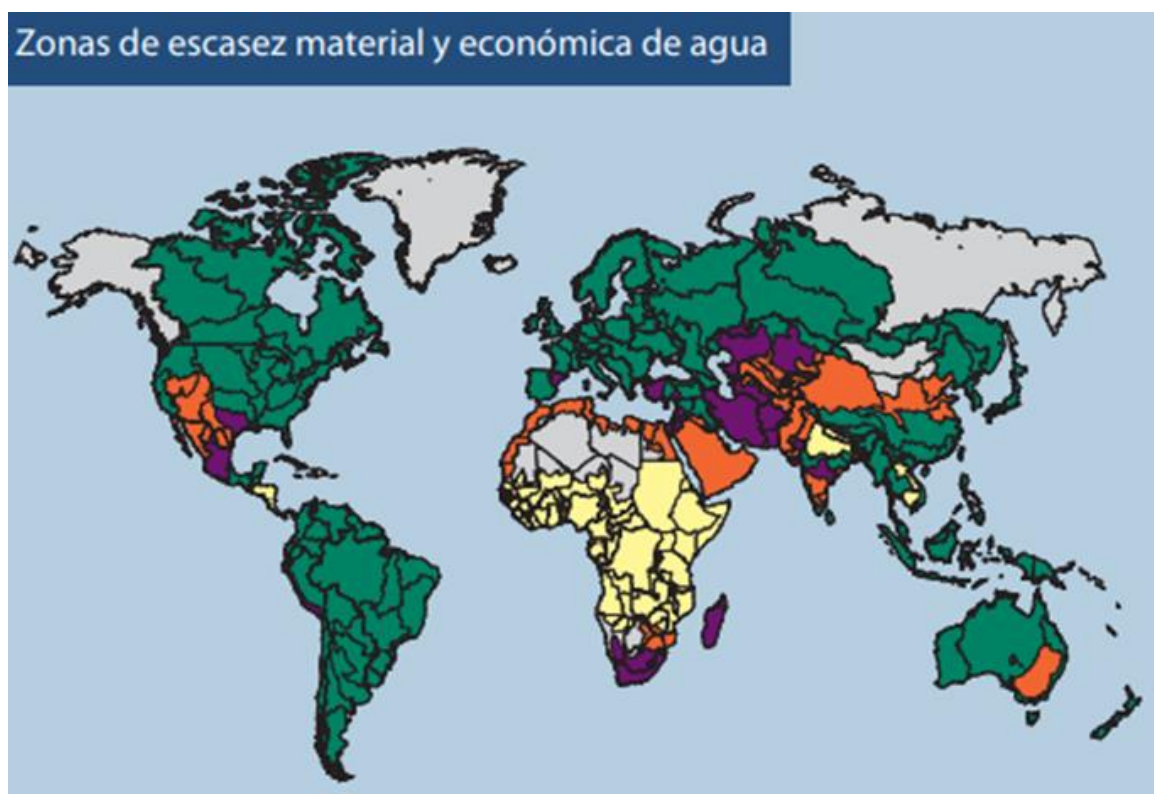


Figura 1-1: Mapa zonas de escasez material y económica de agua. Naranja: escasez material de agua; morado: proximidad a la escasez de agua; amarillo: escasez económica de agua; verde: poca o ninguna escasez de agua; gris: sin estimar.

Fuente: Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007. [Ver ANEXO B]

1.2.1 Causas de la escasez hídrica

El agua es un recurso limitado e indispensable para la vida. Constituye una necesidad primordial para todos los seres vivos del planeta, por ello debe considerarse uno de los derechos básicos, como consecuencia del rápido desarrollo humano y económico, también el uso y la eliminación indiscriminada y, además, por un nivel de desigualdad; el mundo presenta una carencia en el recurso. Las causas de la escasez hídrica son muchas y están relacionadas, a continuación, se describirán las más relevantes: contaminación del agua, crecimiento de la población y desigualdad del recurso hídrico.

1.2.1.1 Contaminación del agua

La contaminación del agua es la alteración de la calidad natural del recurso hídrico por acción humana, la cual se vuelve inadecuada para emplearla. En primer lugar, la degeneración de las aguas ha aumentado a partir desde el año 1945 debido a la polución originada por los pesticidas, principalmente por el crecimiento de la población, esto

provoca una mayor demanda en los productos y servicios e implica una explotación agrícola utilizando sin control fertilizantes químicos y pesticidas, es decir, produce contaminaciones extremas y desencadena un sinnúmero de desequilibrios irreversibles en algunas zonas. Las fábricas, son otro problema, vierten sus desechos a los caudales sin tomar ninguna medida de tratamiento previa para reducir de cierta manera la cantidad de agua contaminada; o las centrales eléctricas que no utilizan instrumentos para reducir la temperatura del agua que será desechada después de ser utilizada, calentando las cercanías del caudal y afectando los ecosistemas. [10]

Por lo tanto, la polución del agua es provocada por fuentes artificiales como las producidas por el ser humano, industrias, agricultura, pesca y actividades recreativas; presentan componentes peligrosos para el medio ambiente y difíciles de eliminar, y por otro lado las fuentes de contaminación naturales que son componentes de origen natural, sustancias que pueden ser identificadas fácilmente para luego eliminarlas. [11]

1.2.1.2 Crecimiento de la población

El crecimiento demográfico, la urbanización, las industrias y el incremento de la producción y el consumo han generado que la demanda de agua dulce se encuentre en aumento tanto directamente; para agua potable, saneamiento, higiene y usos domésticos; como indirectamente, creciente demanda de bienes y servicios de intenso consumo de agua, en donde se incluye el alimento y la energía. Al año 2050 la demanda mundial del recurso hídrico aumentará un 55% principalmente por la creciente urbanización. [12]

La población mundial crece a un ritmo de unos 80 millones de personas al año, los países en desarrollo representan el 93% de la urbanización a nivel mundial, África y Asia representan casi todo el crecimiento poblacional actual. Las ciudades tendrán que innovar y depender de tecnologías avanzadas para satisfacer las necesidades básicas del agua. Por otra parte, las ciudades de diferentes partes del mundo no asignan recursos para la gestión de las aguas residuales, en los países en desarrollo estas aguas son vertidas sin ningún tratamiento previo en ríos, lagos o el mar; al aumentar la urbanización, aumentan las aguas residuales y las emisiones de metano y óxido nitroso aumentarían un 50% y un 25% respectivamente entre 1990 y el presente año. [12]

La mayor parte del crecimiento de la población mundial será en países en desarrollo, sectores con estrés hídrico, áreas con acceso limitado al agua potable segura, servicios sanitarios adecuados o regiones que no tiene un acceso sostenible para el agua potable ni un saneamiento adecuado actualmente. La demanda de recursos naturales, incluyendo el agua dulce, se incrementará debido a una mayor esperanza de vida, a la globalización del comercio y a la publicidad que impulsa el consumo en países desarrollados como en vías de desarrollo. [13]

1.2.1.3 Desigualdad del recurso hídrico

Generalmente al termino pobreza se relaciona con las necesidades básicas insatisfechas, pero solo abarca la situación económica, y no realiza un enfoque más amplio como la calidad de vida o la educación. El agua también es una causa de pobreza, está distribuida de forma muy desigual, algunos países disponen de gran cantidad del recurso hídrico mientras que otros se enfrentan a situaciones de extrema escasez; además del mal manejo de decisiones sociopolíticas, ambientales y falta de infraestructura. Cerca de 1.200 millones de personas viven en áreas donde el agua escasea. [14]

1.3 ESCASEZ HÍDRICA EN CHILE

1.3.1 Estado del agua

La superficie total de Chile es de 756.945 Km² [15], a lo largo del territorio se distinguen una gran variedad de paisajes. Por su geografía se considera un país privilegiado en la disponibilidad de recursos hídricos, aunque esta irregularmente distribuido por las diferentes condiciones físicas y climáticas; desde la zona norte que se caracteriza por tener una extrema aridez hasta la zona sur por tener un clima húmedo y pasando por la zona centro que es considerado más templado. El volumen de agua que proviene de las precipitaciones que viaja hasta los causes superficiales y subterráneos son aquellos aspectos que llegan a considerar a Chile favorecido, ya que equivale a una cantidad de 53.000 m³/persona/año, es un valor alto en comparación a

la media mundial. Si se realiza una mirada solo al territorio nacional (Ver figura 1-2), desde la región I y XV a la región Metropolitana la disponibilidad de agua es mucho menor en comparación a las regiones del sur. [16]

La demanda del recurso hídrico en Chile aumenta progresivamente y se espera que lo siga haciendo en los próximos años, las causas más relevantes son el crecimiento económico, cambio climático, el desarrollo social del último tiempo y el déficit de lluvias; a partir del año 2009 la demanda superaba la disponibilidad del recurso desde la región Metropolitana hasta el norte del país. Es necesario actuar lo antes posible para enfrentar la escasez antes de tener consecuencias gravísimas. [17]

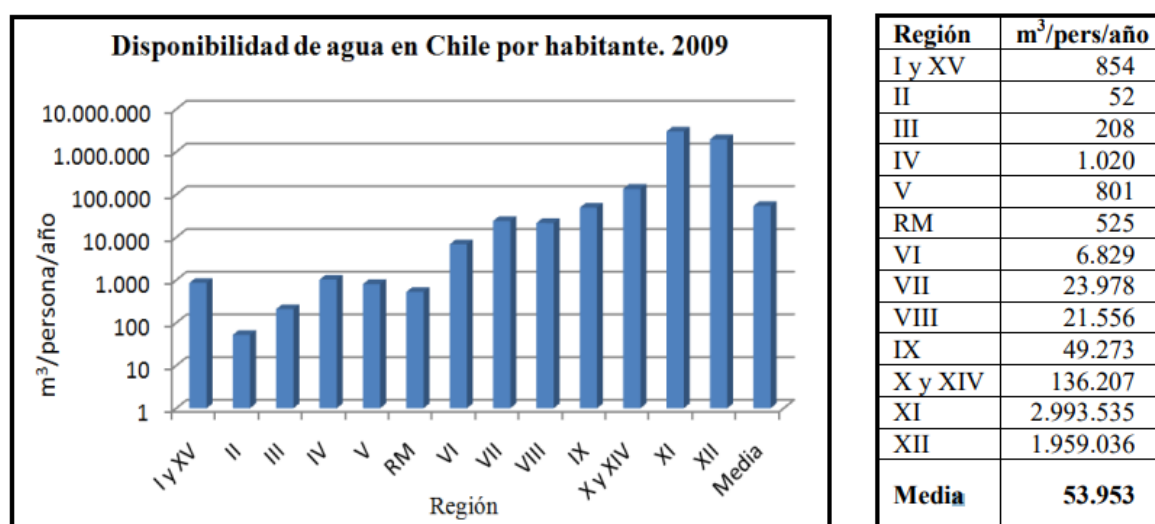


Figura 1-2: Gráfico y tabla de la escorrentía media anual por región del año 2009.

Fuente: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos, 2011.

1.3.2 Uso del agua en Chile

El uso del agua consuntivo a nivel nacional registrado en el año 2015 por la Dirección General de Aguas (DGA) se divide en los siguientes sectores: potable urbana y rural, agricultura, pecuario, minería, industrial y eléctrica (Ver figura 1-3). El agua va destinada principalmente al tramo agrícola con un 73% correspondiente a un 254 [m³/s], luego se destaca el agua potable urbana con un 10,8%, le sigue el sector industrial y la minería con 6,7% y 3,2%, respectivamente, y finalmente con un 0,7% el uso pecuario.

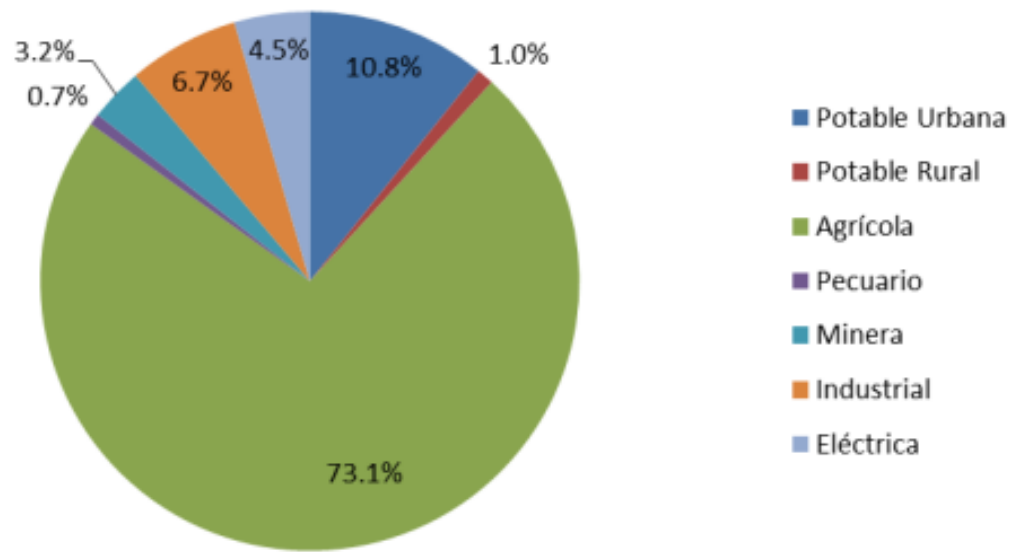


Figura 1-3: Gráfico resumen de las demandas actuales de uso consuntivo de agua a nivel país.

Fuente: Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile, 2017.

1.4 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS

El agua se puede clasificar según el uso de destino, de tal manera que cumpla con las normativas necesarias para su utilización o consumo.

1.4.1 Marco legal vigente N. Ch 1.333/78

Norma Chilena 1.333/78 (D.S MOP N° 867/78, D.O. 22.05.78) determina los requisitos de calidad para el agua según el uso dado.

1.4.1.1 Tipos de agua

El tipo de agua que corresponde a la N. Ch 1.333/78 se describen a continuación

a. Agua para bebida de humanos

Debe dar cumplimiento a la N. Ch 409.01/84. La autoridad competente debe determinar los casos especiales.

- b. Agua para consumo de animales

Todas aquellas aguas que cumplen con la Norma Chilena 409.01/84.

- c. Agua destinada a regadío

Aguas para riego de plantas que cumplan ciertos parámetros de composición. [Ver ANEXO C]

- d. Vida acuática

Aguas dulces destinadas a mantener la vida acuática.

- e. Uso recreativo

Aguas para uso recreativo con contacto directo (natación, buceo, esquí acuático) y sin contacto directo.

- f. Agua destinada a estética

Uso ornamental.

1.4.2 Marco legal vigente N. Ch 409/1 – 409/2

N. Ch 409/1 calidad del agua potable que cumple con los requisitos físicos, químicos, bacteriológicos y de desinfección para el consumo humano.

N. Ch 409/2 inspección y muestreo del agua potable para verificar todos los requisitos que se especifican en la N. Ch 409/1.

1.4.2.1 Parámetros

Los parámetros para definir los requisitos de calidad de la N. Ch 409/1 se han agrupado en los tipos siguientes:

- Tipo I: Parámetros microbiológicos y turbiedad

La contaminación microbiológica de las aguas se establece a través de los “indicadores de contaminación”, en el agua potable el indicador son un grupo de bacterias llamados Coliformes totales, que está compuesto por, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Escherichia Coli* y *Citrobacter*. El agua debe estar exenta de *E. Coli*.

La turbiedad media mensual debe ser menor o igual a 2 UNT, obtenida como promedio aritmético de todas las muestras analizadas en el mes. Ninguna muestra podrá excederla cantidad de 20 UNT.

- Tipo II: Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud.

El agua potable no debe contener elementos o sustancias químicas en concentraciones totales mayores que las indicadas en las tablas siguientes:

- Tipo III: Elementos Radioactivos

El agua potable no debe contener sustancias radiactivas en concentraciones mayores que las indicadas en la siguiente tabla

- Tipo IV: Parámetros Organolépticos

Se considera el color verdadero, olor, sabor, compuestos fenólicos, amoníaco, cloruros, sulfatos, pH, sólidos disueltos. Con sus respectivos requisitos establecidos.

- Tipo V: Parámetros de Desinfección

El Agua potable distribuida por redes debe ser sometida a un proceso de desinfección debiendo existir una concentración residual de desinfectante activo en la red en forma permanente. Se establece máximo de cloro libre residual $\leq 2,0$ [mg/L]. La concentración mínima de cloro libre debe ser de 0,2 [mg/L]. Todo desinfectante distinto de cloro debe ser autorizado por MINSAL.

- Tolerancia para parámetros críticos

Parámetros característicos de las fuentes de abastecimiento o del servicio, de tipo tóxicos u organolépticos (Tipo II o Tipo IV), que en ausencia o falla del tratamiento, superan el límite máximo especificado por la norma.

1.4.2.2 Muestreo

La extracción de muestras para verificar los requisitos en esta norma se efectúa de acuerdo con lo señalado en N. Ch 409/2.

Para verificar los requisitos de desinfección, la determinación de la concentración de cloro libre residual en las muestras de agua potable se debe realizar en terreno, en el mismo momento de la recolección y por un método específico. En el caso de los

parámetros radiactivos, la Autoridad Competente determina el volumen de la muestra, el lugar, las condiciones y la frecuencia de muestreo. Por otro lado, la verificación de los demás requisitos se debe realizar aplicando métodos especificados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)

1.5 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas servidas corresponden a la mezcla de desechos líquidos de industrias, aguas lluvias o las diferentes actividades que se realizan en el hogar diariamente, las cuales llegan al alcantarillado o también a ríos, canales, mares, etcétera. Se caracterizan por tener elevadas concentraciones de microorganismos patógenos. Comúnmente son colectadas a través de sistemas de alcantarillado y llevadas a una planta de tratamiento para ser descargadas cumpliendo con la normativa.

1.5.1 Normativas aplicables

Como parte de los objetivos específicos, se realiza una revisión de lo dispuesto en el cuerpo legal y normativa vigente, relacionado con el tratamiento, disposición y reutilización de aguas servidas para diferentes usos. Los documentos analizados fueron:

- LEY NÚM 19.300: “LEY SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE”
- CÓDIGO SANITARIO
- CÓDIGO DE AGUAS
- DFL 382: “LEY GENERAL DE SERVICIOS SANITARIOS”
- DECRETO 50: “APRUEBA EL REGLAMENTO DE INSTALACIONES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE Y DE ALCANTARILLADO”
- DECRETO 1199: “APRUEBA EL REGLAMENTO DE LAS CONCESIONES SANITARIAS DE PRODUCCION Y DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE Y DE RECOLECCION Y DISPOSICION DE AGUAS SERVIDAS Y DE LAS NORMAS SOBRE CALIDAD DE ATENCION A LOS USUARIOS DE ESTOS SERVICIOS”

- DECRETO 46: “ESTABLECE NORMA DE EMISION DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS SUBTERRANEAS”
- DECRETO 90: “ESTABLECE NORMA DE EMISION PARA LA REGULACION DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LIQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES”
- DECRETO 4: “REGLAMENTO PARA EL MANEJO DE LODOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS”
- LEY NÚM. 21.075: “REGULA LA RECOLECCIÓN, REUTILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE AGUAS GRISES”

1.5.2 Sistemas de filtración de aguas

Proceso físico que tiene como objetivo retener las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua, además es una operación unitaria que logra separar un sólido de un fluido (líquido). La separación se realiza a través de un medio filtrante poroso el cual retiene el sólido permitiendo dar el paso al líquido. [18]

1.5.2.1 Mecanismos de filtración

La filtración se da como resultado de dos procesos distintos pero que se complementan entre sí, como lo son el transporte y el de adherencia. Comienza cuando las partículas son transportadas hacia el medio filtrante, donde estas permanecen adheridas al filtro al momento que la sustancia líquida comienza a escurrir. [18]

La retención de las partículas se puede realizar a través de diferentes mecanismos como de depósito, fijación y desprendimiento. [19]

1.5.2.2 Tipos de filtración

- a. Filtración convencional: Se caracteriza por utilizar un contenedor de metros de profundidad, donde se coloca un lecho filtrante sobre un sistema adecuado de drenaje, y requiere de etapas previas como la coagulación, floculación, sedimentación, filtración de arena y por último la desinfección para reducir o eliminar eficazmente los compuestos como la turbidez, el color y algún agente patógeno. [20]

- b. Filtración en membrana: Se divide en dos tipos la microfiltración y la ultrafiltración.
 - b.1 Microfiltración: consiste en una separación física a través de una membrana semipermeable que retiene las partículas de tamaño inferior a 10 [μm] de un líquido, utilizando filtros de membrana los cuales tienen poros. [21]
 - b.2 Ultrafiltración: separación física, retiene el material suspendido utilizando filtro de membrana para retener los sólidos con un tamaño hasta los 0.1 [μm]. [22]
- c. Filtración por gravedad: Técnica que utiliza una fuerza impulsora como la gravedad para que el líquido atraviese el filtro, normalmente este método se utiliza en laboratorios con un papel filtro sobre un embudo. [23]
- d. Filtración por presión: Se utilizan bombas de alimentación que ejercen una presión en el filtro, principalmente se usan contenedores verticales y presentan una salida única. [24]

1.5.2.3 Medios filtrantes

Los medios filtrantes son materiales utilizados para filtrar partículas, hay diferentes tipos que se distinguen por su capacidad de permitir el paso de los contaminantes y su durabilidad. Cada filtro se fabrica con el medio filtrante apropiado para brindar la protección necesaria para su aplicación y obtener un producto de calidad.

Entre los medios filtrantes más comunes están:

Tabla 1-1: Medios filtrantes

Medio Filtrante	Descripción	Granulometría
Grava	Roca sedimentaria producto de la división natural o artificial de otras rocas y minerales, su composición química es variada. Es de aspecto áspero, color oscuro y duro. Existen cuatro tipos: grava gruesa, grava mediana, grava fina. Se encarga de distribuir el líquido haciendo que tome largos trayectos, lo cual hace que las partículas queden retenidas entre las diferentes capas del material filtrante. Para que sea más eficiente necesita un tratamiento previo el agua a filtrar. [25,26]	Grava gruesa 12 a 35 mm, grava mediana 8 [mm] y 12 [mm], grava fina 6 y 8 [mm].
Arena	Medio granular compuesto de rocas silíceas y de otro tipo de minerales, tiene un aspecto granular y fino, por esto se utiliza en conjunto con la grava. Tiene varios usos debido a sus características físico- químicas y por su tamaño pequeño. Principalmente se usa como medio filtrante cuando las aguas contienen material orgánico y algas, debe ser un filtrado a presión en forma descendente, pueden ocuparse en filtros de gravedad o a presión. [26]	Se recomienda una granulometría de 0,8 a 1,2 [mm].

Tabla 1-1: Medios filtrantes (Continuación)

Carbón Activo	Mineral de origen orgánico constituido por carbono, es preparado en la industria para que tenga una elevada superficie interna y así poder absorber una gran cantidad de compuestos muy diversos, es poroso. Se puede clasificar en granular y polvo, dependiendo del tamaño del grano. Los compuestos internos de cada carbón son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables. [27]	Se pueden encontrar desde menores a 2 [mm] hasta mayores a 50 [mm].
Antracita	Carbón mineral, de color negro, brillante, con gran dureza, presenta un gran contenido de carbono. Debido a la forma especial de sus granos permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho filtrante. Medio filtrante utilizado para clarificación del agua en uso potable o industrial, cuando es usada en combinación con arenas filtrantes. [28]	Se encuentra en tres formatos: 0,60 – 0,80 [mm]; 0,85 – 0,95 [mm] y 1,86 – 4,76 [mm]

Fuente: Elaboración propia

1.5.2.4 Condiciones para elegir un filtro

Para escoger el filtro adecuado con los medios filtrantes correspondientes se debe considerar las propiedades del líquido a filtrar, las impurezas, condiciones de instalación, calidad del filtrado y las normativas permitidas para el subproducto obtenido.

1.6 NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS

Todos los seres vivos necesitan un proceso de nutrición por el cual obtienen la materia y la energía que requieren para sus funciones vitales.

Las plantas deben obtener diferentes nutrientes para su desarrollo; un total de 60 elementos están en ellas, pero solo 16 son considerados esenciales. Sin estos, las plantas no pueden complementar su ciclo de vida, ya que cada elemento tiene un rol metabólico. [29]

Los elementos esenciales se agrupan en tres; macronutrientes (Ver Tabla 1-2), elementos que las plantas necesitan en cantidades relativamente grandes, en micronutrientes (Ver Tabla 1-3) los cuales son requeridos en menor cantidad, pero son de gran importancia; los elementos no minerales que provienen del agua y aire, en donde podemos encontrar por ejemplo el Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O) y los elementos minerales que son obtenidos por las plantas mediante la absorción de nutrientes a través del suelo. [29]

Tabla 1-2: Macronutrientes esenciales.

Nutriente	Funciones en la planta	Síntomas de deficiencia
Nitrógeno (N)	Componente de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y algunas coenzimas. Promueve crecimiento rápido, ayuda a incrementar la tolerancia al estrés y resistencia de enfermedades.	Es un elemento móvil en la planta por lo que los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas.
Fósforo (P)	Componente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos y ATP. Estimula el crecimiento de la raíz, promueve el vigor en la planta, acelera la maduración, influye en la floración y formación de semillas.	Los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas. Las hojas desarrollan un color púrpura; tallos delgados y cortos.

Tabla 1-2: Macronutrientes esenciales (Continuación)

Potasio (K)	Turbidez de la célula, apertura y cierre de estomas y activador enzimático. Control indirecto de fotosíntesis.	Hojas viejas desarrollan áreas grises en los bordes y puntas de la hoja. Reduce la resistencia de la planta a enfermedades, a la sequía y el frío.
Calcio (Ca)	Participa en la permeabilidad de la membrana y elongación celular. Ayuda en el crecimiento de vellos radiculares, mejora el vigor de la planta y da consistencia al tallo.	Es un elemento no móvil en la planta por lo que afecta puntos de crecimiento como la raíz y los brotes.
Magnesio (Mg)	Activador de enzimas que participan en la fotosíntesis, respiración y síntesis de ADN y ARN.	Es un elemento móvil en la planta por lo que inicialmente las hojas viejas presentan un color amarillento entre las venas, seguido de amarillamiento de hojas jóvenes. Las hojas viejas terminan cayéndose.
Azúfre (S)	Activador de enzimas que participan en la fotosíntesis, respiración y síntesis de ADN y ARN.	Es un elemento no móvil en la planta. Clorosis general de hojas jóvenes y reducción de crecimiento

Fuente: Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas.

Tabla 1-3: Micronutrientes esenciales

Nutriente	Funciones en la planta	Síntomas de deficiencia
Boro(B)	Síntesis de aminoácidos y proteínas. Desarrollo y crecimiento de nuevas células en el meristemo de la planta. Formación de nódulos en leguminosas.	Es un elemento no móvil en la planta. Muerte de brotes en crecimiento, hojas distorsionadas y alteración de frutos.
Molibdeno (Mo)	Componente de enzimas que participan en el metabolismo del nitrógeno.	Es un elemento móvil en la planta. Hojas delgadas, deformes (enrolladas) y pálidas con clorosis en las venas de las hojas viejas.
Cobre (Cu) ^y	Asociado con enzimas que participan en reacciones de reducción y oxidación.	Es un elemento no móvil en la planta. Clorosis en hojas jóvenes.
Hierro (Fe)	Asociado con enzimas que participan en reacciones de reducción y oxidación (transferencia de electrones) en los procesos de respiración y fotosíntesis	Color distintivo, amarillo o blanco, entre las venas de las hojas jóvenes.

Tabla 1-3: Micronutrientes esenciales (Continuación)

Zinc (Zn) ^y	Componente necesario para la producción de clorofila y fotosíntesis. Involucrado en la síntesis de ácido indol acético	Es un elemento móvil en la planta por lo que los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas. Manchas rojizas pequeñas en las hojas cotiledóneas en frijol; “yema blanca” en maíz.
Manganeso (Mn) ^y	Producción de oxígeno, proveniente del agua, en el proceso de fotosíntesis. Acelera la germinación y madurez del cultivo.	Es un elemento no móvil en la planta. Manchas amarillas (moteadas) entre las venas de las hojas más jóvenes.
Cloro (Cl) ^y	Necesario para la “partición” de la molécula de agua, para generar oxígeno, para el proceso de fotosíntesis.	Deficiencias son poco comunes.

Fuente: Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas.

1.6.1 Fases de la nutrición de las plantas [30]

- a. Absorción, transporte de agua y sales minerales desde la raíz hasta la xilema.

El proceso comienza cuando la planta absorbe las sales minerales y el agua a través de los pelos absorbentes, que se encuentran a lo largo de la raíz, ellas se encargan de aumentar la superficie de absorción. Las raíces transportan los nutrientes y el agua hasta el xilema, que, a su vez, los conduce hasta el aparato fotosintético de la planta. (Ver figura 1- 4)

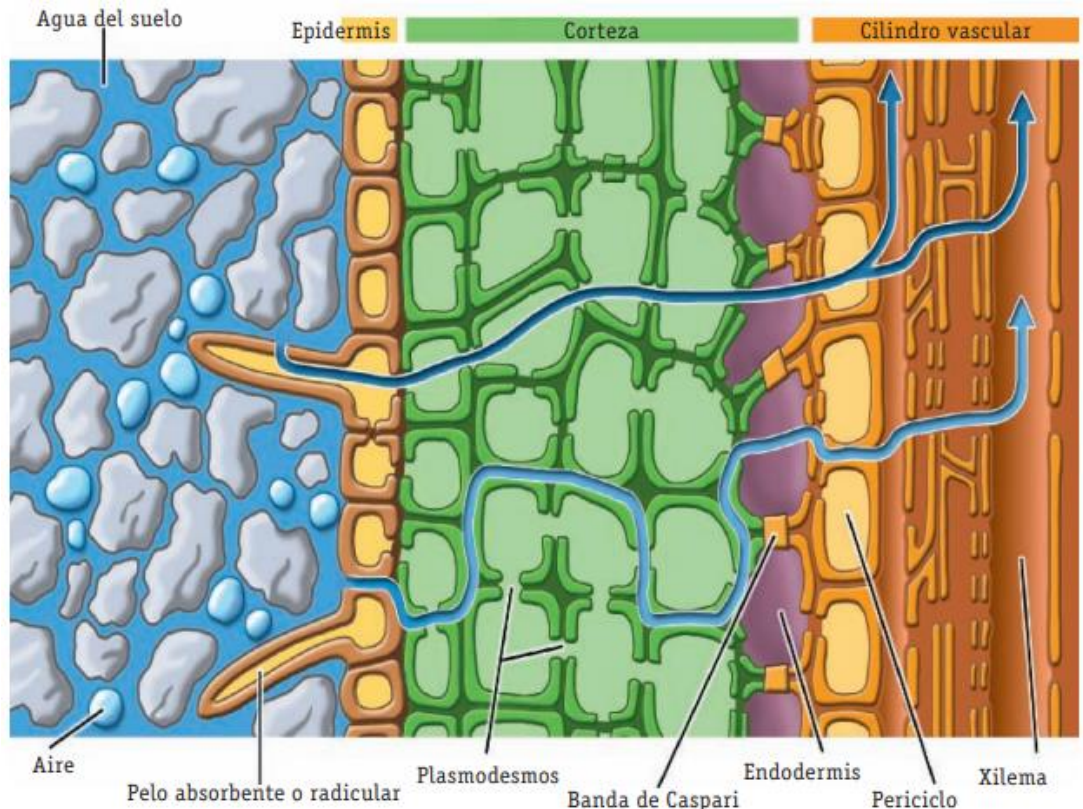


Figura 1- 4: Estructura de la raíz.

Fuente: El proceso de nutrición en las plantas.

b. Transporte del agua y sales minerales por el xilema.

Las sales minerales y el agua forman la savia bruta, la cual debe recorrer el xilema hasta llegar a las hojas de las plantas para posteriormente realizar la fotosíntesis.

c. Intercambio de gases en las hojas.

Las plantas intercambian con la atmósfera oxígeno y dióxido de carbono. Aunque no disponen de aparato respiratorio como los animales, poseen unas estructuras especializadas en el intercambio gaseoso, situadas en su superficie: los estomas y las lenticelas.

d. Fotosíntesis

Proceso anabólico cuya función es convertir la energía luminosa en energía química, que se emplea para sintetizar moléculas orgánicas a partir de compuestos inorgánicos. Como subproductos, se desprende oxígeno. (Ver figura 1-5)

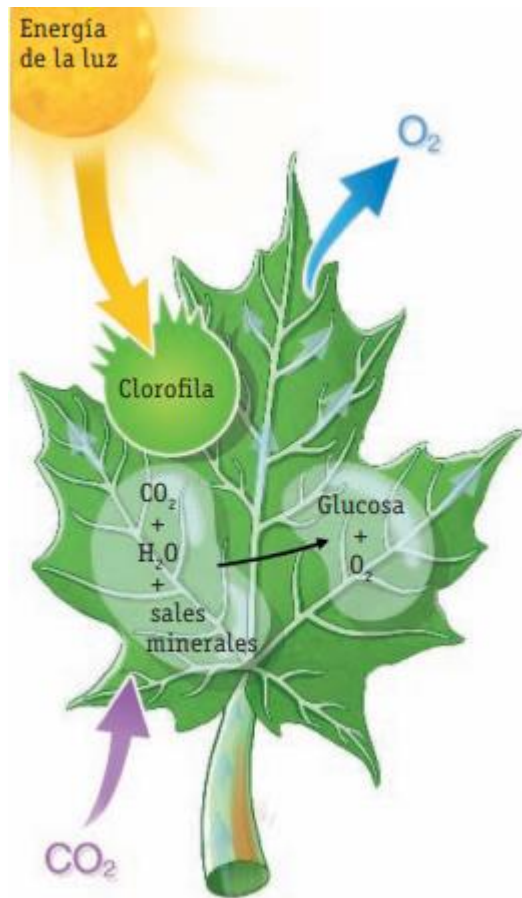


Figura 1-5: Esquema sencillo de la fotosíntesis.

Fuente: El proceso de nutrición en las plantas

e. Transporte de savia elaborada por el floema.

Los productos que se han sintetizado en las hojas durante la fotosíntesis son la savia elaborada, mezcla de azúcares, aminoácidos, sales y agua. El transporte de estos es realizado por el floema.

f. Respiración celular

Proceso catabólico que requiere oxígeno y cuya función consiste en la degradación de la materia orgánica para extraer la energía que encierran sus enlaces. Tiene lugar en las mitocondrias.

La principal reserva de las plantas es el almidón. Cuando la planta necesita energía, este se descompone en multitud de moléculas de glucosa, que se van a degradar totalmente durante la respiración celular desprendiendo la energía que contienen.

g. Excreción de los productos de desecho del metabolismo.

Las plantas no tienen aparatos o sistemas especializados en esta función, porque las principales sustancias de desecho que se forman durante el catabolismo (dióxido de carbono, agua y productos nitrogenados) son reutilizadas en la fotosíntesis. Por tanto, las actividades de excreción son: eliminación por difusión del dióxido de carbono sobrante, la acumulación en las vacuolas de cristales de oxalato cálcico o la eliminación del exceso de sal en plantas que viven en ambientes salobres.

1.6.2 Importancia del agua para las plantas

El agua es un recurso esencial para todos los seres vivos. Es importante para el manejo de nutrientes de las plantas, ya que es transportada por toda la planta de manera continua para mantener sus procesos vitales funcionando. Actúa como solvente y es la encargada del movimiento de nutrientes en la zona radicular y bajo ella. [30]

Debe existir un riego programado para aplicar la cantidad apropiada de agua para satisfacer las necesidades en cada etapa de cultivo. Depende de las necesidades del cultivo, características del suelo y las condiciones climáticas. También, se debe tomar en cuenta que la fertilización y el riego están relacionados directamente. [30]

CAPÍTULO II: OPORTUNIDAD DE REÚSO

OPORTUNIDAD DE REÚSO

2. AGUAS GRISES

Las aguas grises son aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras. Son una parte importante de las aguas residuales, que representan entre un 50 – 60% del total de las aguas servidas desechadas en el hogar.

2.1.1 Caracterización

Se utilizan para su caracterización los mismos parámetros que las aguas residuales. Se pueden caracterizar física, química y microbiológicamente. [31]

- a. Físicas: Color, turbidez, sólidos en suspensión y conductividad.
- b. Químicas: Se relaciona con las actividades diarias. Se mide la presencia de nitratos, fosfatos, Sodio, Calcio, Magnesio, aceites, grasas, nutrientes, DQO y DBO.
- c. Microbiológicas: Coliformes fecales y totales.

2.1.2 Composición

Las aguas grises son derivadas de las distintas actividades realizadas en el hogar y su composición depende de las instalaciones, productos de limpieza ocupados, número de personas en la vivienda, características del agua potable, época del año, hora, clima, entre otros. [31]

En las tablas siguientes se muestra con mayor detalle la composición de las aguas grises. La tabla 2-1 que se presentan algunos parámetros como sólidos suspendidos, turbiedad, conductividad, DBO₅, Sodio. Al comparar estos resultados con los de las aguas servidas se aprecia una gran diferencia ya que para estas últimas los rangos son mayores (Ver ANEXO D). En tabla 2-2 se muestran parámetros microbiológicos como los coliformes totales y *Escherichia coli*, la tabla 2-1 no considera ese parámetro y es por esto por lo que se añaden dos estudios. Según lo investigado, los microorganismos patógenos se encuentran en bajas cantidades en las aguas grises y además se considera

si el agua gris se encuentra almacenada es probable que exista un crecimiento de colonias bacterianas ya que se encuentran presentes.

Tabla 2-1: Composición características de aguas grises

Parámetro	Unidad	Rango en Aguas Grises
Sólidos Suspendidos	mg/L	45 – 330
Turbiedad	NTU	22 – 200
DBO ₅	mg/L	90 – 290
Nitrato	mg/L	<0,1 – 0,8
Amoniaco	mg/L	<0,1 – 25,4
Nitrogeno Kjeldhl	mg/L	2,1 – 31,5
Fosforo Total	mg/L	0,6 – 27,3
Sulfato	mg/L	7,9 – 110
pH	-	6,6 – 8,7
Conductividad	microS/cm	325 – 1140
Sodio	mg/ L	29 – 230

Fuente: Aguas Grises, Un recurso latente. AIDIS Chile (2017)

Tabla 2-2: Composición aguas grises

	Parámetros	Valor orientativo
Parámetros Físicos – Químicos	Sólidos en suspensión	45 – 330 mg/L
	DBO ₅	90 – 290 mg/L
	Nitrogeno Kjedaahl	2,1 – 31,5 mg/L
	Turbidez	22 – 200 NTU
Parámetros Microbiológicos	Coliformes totales	10 ¹ – 10 ⁶ UFC/100ml
	<i>Escherichia coli</i>	10 ¹ - 10 ⁶ UFC/100ml

Fuente: Aguas grises. Origen, composición y tecnologías para su reciclaje. (2018)

2.1.3 Clasificación [1]

Las aguas grises se clasifican de acuerdo con su carga:

- a. Baja carga: Duchas, tinas de baño y lavamanos.
- b. Media carga: Lavadoras.
- c. Alta carga: Lavaplatos. Se recomienda excluirlas por el aumento de contaminantes orgánicos.

2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

En Chile las aguas residuales domésticas se combinan en la red del alcantarillado, por lo que las aguas negras y grises se eliminan entre sí mediante un sistema de alcantarillado compartido. Las plantas de tratamientos de aguas residuales deben considerar todas las normativas vigentes, las cuales se estudian con anterioridad.

Hay otras alternativas de eliminación o tratamientos de las aguas grises que permite un uso eficiente, como los filtros o tratamientos biológicos.

2.2.1 Filtros biológicos

A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes métodos para tratar las aguas residuales, como los filtros biológicos los cuales corresponden a sistemas de filtrado natural utilizados para eliminar contaminantes en el agua, transformándolo en sustancias no dañinas. Por lo que contribuye a evitar la contaminación de las aguas naturales (superficiales o subterráneas).

Logra purificar el agua en una sola operación, mediante procesos físicos, biológicos y químicos, que permiten la formación de una capa biología sobre la superficie del lecho, que retiene las partículas suspendidas y microorganismos patógenos, removiendo el material no deseable. Disminuye los gérmenes patógenos del agua hasta en un 99%, ocupa poco espacio, tiene gran facilidad de operación, mantenimiento. Reduce los niveles de cloro residual y es económico en comparación a los sistemas tradicionales. [32]

Las bacterias que participan en el proceso son nitrificantes, el agua al encontrarse en continuo movimiento el filtro tiene la capacidad de transformar los nitritos en nitratos, los cuales son compuestos estables y por lo tanto menos nocivos. [32]

2.2.1.1 Funcionamiento

El funcionamiento general de un filtro biológico comienza cuando el agua atraviesa un manto poroso o granular formado por diversos materiales, sigue su curso a través de múltiples medios filtrantes, todo material suspendido queda retenido y son degradados. Lo que caracteriza a estos tipos de filtro es que al emplear determinados lechos filtrantes se producen poblaciones bacterianas que ayudan al proceso.

Además, hay filtros que incluyen al comienzo trampa de grasas o cámara de rejillas, para retener grasas o los sólidos y proteger el filtro para que no entre material que no puede ser degradado por este. Y otros que utilizan un post - tratamiento para la desinfección del efluente.

2.2.1.2 Clasificación [33]

Los filtros biológicos se clasifican:

Según carga hidráulica u orgánica:

- Carga hidráulica: Gasto aplicado por unidad de superficie del filtro en vista de planta. Las unidades usuales en el sistema decimal son m^3 alimentados por m^2 por día.
- Carga orgánica: masa de materia orgánica biodegradable, medida como el DBO a cinco días y 20°C , aplicada por unidad de volumen de medio filtrante por día. Las unidades usuales en el sistema decimal son Kg de DBO_5 aplicados por m^3 por día.

Filtros de carga baja, intermedia, alta:

- a. Carga baja: Produce una calidad estable del efluente, sencillo y de funcionamiento seguro. Mantienen una carga hidráulica constante, utiliza bombas de succión o sifones dosificadores. Elimina DBO y entrega un efluente altamente nitrificado. Produce malos olores, debe tomarse precaución para el control de insectos (moscas).
- b. Filtros de intermedia y alta carga: Ocurre una recirculación del efluente final y se puede aplicar mayores cargas orgánicas. Se utiliza principalmente en el tratamiento de aguas residuales con un alto contenido de material orgánico y como filtros de pretratamiento.

2.2.1.3 Distintas tecnologías [33]

Las tecnologías empleadas para los tratamientos de aguas grises deben ajustarse a los requerimientos microbiológicos, físicos y químicos para su respectiva reutilización. A continuación, se presentan algunos sistemas utilizados para el tratamiento de aguas grises:

- a. Humedales artificiales: Eficiente en la remoción de contaminantes como DQO, DBO y ST, pero no en la eliminación de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. Hay dos tipos, los de flujo superficial y flujo subsuperficiales. La selección del tipo de humedal superficial depende de las necesidades, del nivel de tratamiento y del clima.
- b. Tratamiento de caja de suelo: La DGA desarrolla dos tratamientos, el primero se realiza mediante un sistema aeróbico el cual elimina las partículas más grandes y trabajan con microorganismos que se encargan de la depuración y el segundo es un sistema de pretratamiento anaeróbico – aeróbico recomendado para aguas residuales con alto contenido de grasas y aceites.
- c. Sistema Tohá: Tecnología de tratamiento de aguas residuales, considerada una herramienta sustentable y eficiente. Se basa en la utilización de lombrices de la especie *Eisenia foetida*. Utiliza diferentes capas filtrantes y toda la materia orgánica proveniente de las aguas es consumida por las lombrices.
- d. Alternativas comerciales:
 - Tratamiento biológico con membrana (MBR)
 - Tratamiento con contactadores biológicos rotarios o biodiscos (CBR)
 - Sistema de tratamiento de aguas grises de Greywaternet.

2.2.1.4 Comparación de filtros biológicos

Los filtros biológicos existentes poseen diferentes características según su utilización como se observa en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Ventajas y desventajas de filtros biológicos

Filtro biológico	Remoción de contaminantes	Ventajas	Desventajas
Humedal artificial: Flujo superficial	DQO, DBO y ST. Degrada orgánicos y nutrientes.	Utiliza procesos físicos, químicos y biológicos simultáneamente.	Remueve en bajas cantidades el nitrógeno y fósforo. Lugares con altas temperaturas atraen mosquitos.
Humedal artificial: Flujo subsuperficial	DQO, DBO y ST.	Se puede instalar en un lugar con altas temperaturas.	Remueve en bajas cantidades el nitrógeno y fósforo.
Tratamiento con caja de suelo: Tratamiento aeróbico	Elimina partículas grandes y fibras.	Presenta una zona aeróbica y biológicamente activa donde conviven macro y microorganismos de depuración.	Residuos alimenticios provenientes del agua a tratar, pueden tapar el filtro y generar malos olores. Si se utiliza para riego se debe tener cuidado con el uso de detergentes.

Tabla 2-3: Ventajas y desventajas de filtros biológicos. (Continuación)

Tratamiento con cajas de suelo: Pretratamiento anaeróbico-aeróbico	Elimina partículas grandes y fibras.	Recomendado en aguas residuales con alto contenido de grasas aceites y pocos residuos alimenticios. El efluente se puede utilizar para riego.	Se debe considerar un amplio espacio para instalar el filtro, ya que requiere de tres etapas. También, el fondo debe tener “actifill” al igual como la superficie para evitar la llegada de mosquitos.
Sistema Tohá	ST, nitrógeno, fósforo, Coliformes fecales.	Emplea el uso de lombrices. No requiere la adición productos químicos	La cantidad de lombrices a utilizar debe ser alta.
Alternativas comerciales: Tratamiento MBR	Remueven partículas de hasta 5 mm.	La cantidad de material removido depende de la membrana usada.	Se acumula material, requiere limpieza periódicamente.
Alternativas comerciales: Tratamiento CBR	Sólidos en suspensión, DBO5, nitrógeno, fósforo, Coliformes fecales.	Utiliza un sistema aerobio.	El valor de instalación y mantenimiento son elevados; generación de lodos en el proceso y consume un alto nivel de energía eléctrica.

Tabla 2-3: Ventajas y desventajas de filtros biológicos (Continuación)

Alternativas comerciales: Sistema de tratamiento de aguas grises de Greywaternet	Se adapta a las necesidades del cliente.	Utiliza un sistema natural, sin agregar componentes químicos. Puede operar en climas fríos.	Consiste en tres etapas, por ello se considera un proceso largo.
---	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

2.3 LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA

Se conocen aproximadamente 8.000 variedades de lombrices, pero solo 3.500 variedades han sido estudiadas y clasificadas. La lombriz *Eisenia foetida* o también llamada de manera comercial lombriz roja californiana, corresponde a una de ellas. La cual pertenece al Reino Animal como anélido terrestre de la clase de los Oligoquetos. Es un organismo biológicamente simple, siendo el agua su principal constituyente (entre un 80% a 90%) y es capaz de vivir en cautiverio sin moverse de su lecho. [34]

Si bien este tipo de lombriz se alimenta de desechos orgánicos, puede aportar en el proceso biológico involucrado en la filtración de agua servidas a través de un lecho con lombrices, los microorganismos presentes en el sustrato permiten junto a las lombrices, en más de un 50% la degradación de la materia orgánica. Por otro lado, la lombriz siendo muy útil en la aireación, remoción y porosidad del medio. En la tabla 2-4 se observan las principales características de la lombriz roja californiana.

Tabla 2-4: Características generales de la lombriz

Color	Rojizo o tonos rosados con franjas amarillentas entre los segmentos.
Forma	Cilíndrica.
Tamaño	Adulto alcanza 7- 10 [cm] con un diámetro de 2 a 3 [mm].

Tabla 2-4: Características generales de la lombriz (Continuación)

Peso	Lombriz adulta 1 [g]
Alimentación	Desechos orgánicos o agropecuarios
Reproducción	Hermafrodita insuficiente. Deposita una cápsula, los cuales eclosionan originando lombrices en condiciones de moverse y nutrirse de inmediato
Enfermedades	No sufre enfermedades ni las transmite.
Otros	No posee ojos, orejas y el sentido del olfato no está desarrollado. Succiona los alimentos.

Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Ciclo y reproducción de la lombriz

Cada lombriz está dotada de un aparato genital masculino y de un aparato genital femenino. 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 cocón 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. [35]

Las lombrices recién nacidas, cuyo número oscila entre 2 a 21 ejemplares, son de color blanco, se vuelven rosadas a los 5 o 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], como se aprecia en la figura 2-1; su diámetro oscila entre 3 a 5 [mm] y tiene un peso que oscila entre 0,4 y 0,6 [g], aunque en estado adulto pueden alcanzar 1 [g]. La lombriz se vuelve 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. [35]

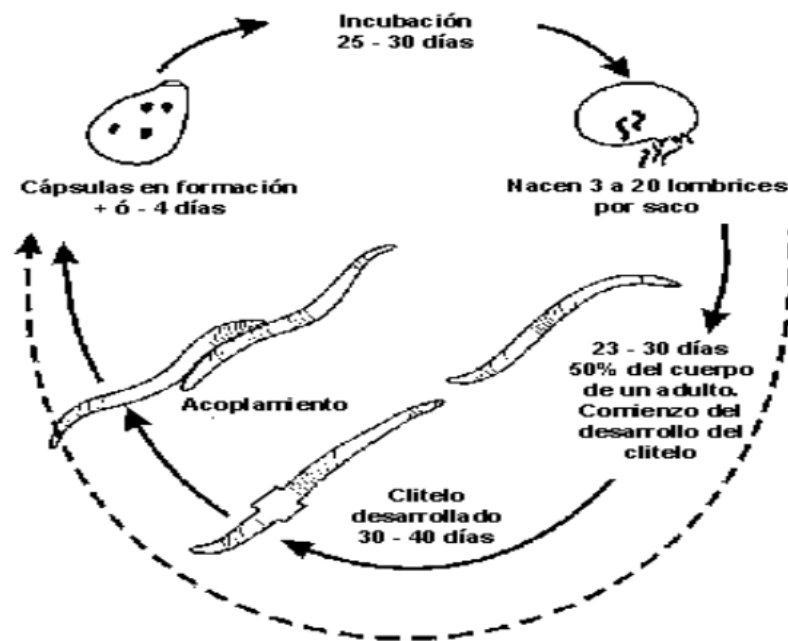


Figura 2 -1: Ciclo y reproducción de la lombriz roja californiana.

Fuente: Evaluación de la reproducción y desarrollo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y componentes fisicoquímicos del lombricompost con la utilización de tres tipos de sustratos.

2.3.2 Condiciones óptimas de la lombriz [36]

Para una correcta función de las lombrices rojas californianas se debe cumplir con las condiciones señaladas a continuación:

- Iluminación:** La lombriz es sensible a los rayos ultravioletas, se recomienda ubicarlas en lugares que haya sombra o en lugares cubiertos.
- Humedad:** Entre 70 – 80%, es un elemento de vital importancia, afecta a la producción de humus o a la reproducción.
- Temperatura:** 15 – 24 ° C.
- pH:** 6,8 – 7,2.
- Aireación:** La lombriz requiere aire para su proceso vital, es necesario remover con una herramienta cada siete días.

2.3.3 Dieta adecuada para la lombriz

La dieta de la lombriz roja californiana es variable y se basa en alimentos orgánicos, se destacan los siguientes:

- Restos de la actividad forestal. (Aserrín, hojas, ramas)
- Residuos vegetales procedentes de la actividad agrícola. (Podas de árboles o arbustos, malezas)
- Residuos de la actividad ganadera (Estiércol, pelos)
- Restos de frutas y verduras.

Debe existir una correcta proporción al momento de alimentar a la lombriz *Eisenia foetida*, vertiendo material verde (frutas, verduras, estiércol, malezas) y al mismo tiempo material café (aserrín, hojas, ramas) para un correcto funcionamiento del sistema donde se encuentran. Algunos productos como los desechos de frutas y verduras requieren una fermentación previa o un “pre-compostaje”, para que no afecte negativamente en el esófago de las lombrices y, además no genere una temperatura elevada a partir de la descomposición de estos residuos orgánicos. [36,37]

Es recomendable alimentarlas cada 3 o 4 semanas, y también trozar los desechos orgánicos para acelerar el proceso.

2.3.4 Comportamiento de la lombriz

La lombriz roja californiana se encarga de consumir la materia orgánica de los afluentes residuales transformándolo por oxidación en anhídrido carbónico y agua. De acuerdo con investigaciones realizadas, la especie de lombriz *Eisenia foetida* es la más adecuada, debido a que genera mayor reducción de DQO de 86,5% y DBO de 87,1% en comparación a otras especies de lombriz. [38]

Un nivel adecuado en el que la lombriz presenta las mejores condiciones para alimentarse es a una temperatura entre 15 – 24 °C, una humedad entre 70 – 80 %, un pH entre 6,0 – 8,0, una conductividad eléctrica de 3,0 [s/m] y un porcentaje de proteínas entre 7,5 – 13% como se aprecia en la tabla 2-5.

Tabla 2-5: Parámetros del alimento de la lombriz *Eisenia foetida*.

Parámetro	Nivel Adecuado	Peligro de muerte
Temperatura	14 – 24 °C	< 5°C > 37 ° C
Humedad	70 – 80 %	< 70% > 80%
Ph	6,0 – 8,0	<4,5 > 8,5

Tabla 2-5: Parámetros del alimento de la lombriz *Eisenia foetida* (Continuación)

Conductividad eléctrica	3,0 s/m	> 8,0 s/m
Proteínas	7,5 – 13 %	< 7,5% > 18 %

Fuente: Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio (2016).

2.3.5 Humus

El humus de lombriz es considerado un fertilizante orgánico y ecológico, resultado de la transformación, por parte de las lombrices rojas californianas, de los residuos orgánicos. Entre sus características se encuentran que tiene un tamaño de partícula muy fino, rico en nutrientes, no tiene malos olores y tampoco exceso de humedad y facilita el desarrollo de la planta. La composición de este producto se muestra en la tabla 2-6. [36,37]

Tabla 2- 6: Composición del humus de lombriz.

Humedad	30 – 60 %
pH	6,8- 7,2
Nitrógeno	1 - 2,6 %
Fósforo	2-8%
Potasio	1-2,5%
Calcio	2-8%
Magnesio	1-2,5%
Materia orgánica	30-70%
Sodio	0,02%
Hierro	0,02%

Fuente: Uso potenciales del humus (abono orgánico lixiviado y solido) en la empresa fertilombriz.

2.3.6 Lixiviado

El lixiviado o humus de lombriz líquido es un fertilizante líquido que se caracteriza por ser un producto completamente natural. Es capaz de aumentar la reabsorción de minerales que se encuentran en el suelo como el Fósforo, Nitrógeno, Potasio, Hierro, Magnesio, entre otros. Siendo este producto muy apropiado para cualquier tipo de cultivos. Es un producto neutro, ya que el pH se encuentra entre 6,8 y 7,8. [39]

2.4 MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME)

Los Microorganismos Eficientes o eficaces (ME) corresponden a cultivos mixtos de microorganismos benéficos, como: bacterias fotosintéticas, productoras de ácido láctico, levadura, actinomicetos y hongos de fermentación; que pueden aplicarse como inoculante para incrementar la diversidad microbiana. Estos microorganismos son utilizados en aguas residuales y/o con materia orgánica, y logran secretar sustancias como enzimas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y sustancias antioxidantes. Creando un ambiente que ayude al proceso de separación sólido/líquido. [40,41]

A lo largo del tiempo se han desarrollado investigaciones y estudios empleando los ME en sistemas de tratamientos de aguas residuales, utilizándolos específicamente en lodos activados, estabilización de lodos sépticos y evaluando su efectividad para reducir olores y lodos generados en las PTAS. Obteniendo entre los resultados la disminución de malos olores, DQO, consumo de oxígeno, producción de lodos, pH, y además presentando significativas mejoras en otros parámetros. [40,41]

2.4.1 Tipos de ME [40,41]

2.4.1.1 Bacterias fotosintéticas

Las bacterias fotosintéticas como *Rhodopseudomonas palustris*, son microorganismos capaces de producir aminoácidos, ácidos orgánicos y sustancias bioactivas como hormonas, vitaminas y azúcares, promoviendo el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Se encuentra principalmente en suelo y aguas, posee un metabolismo muy versátil al degradar y reciclar gran variedad de compuestos aromáticos. Crece tanto en ausencia como en presencia de oxígeno. Funcionan como un componente importante en los ME, ya que ayudan a mantener el balance con otros microorganismos benéficos, permitiendo coexistir y funcionar con los mismos.

2.4.1.2 Bacterias Ácido-Lácticas

Las bacterias Ácido- Lácticas como *Lactobacillus sp*, producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico es un componente con propiedades bactericidas que puede suprimir a

los microorganismos patógenos, mientras ayuda a la descomposición de la materia orgánica.

No se tiene información relevante acerca de la forma en la que actúan estas bacterias en el tratamiento de las aguas contaminadas, pero teniendo en cuenta sus características, se plantea que al disminuir el pH se genera una inhibición de patógenos.

2.4.1.3 Levaduras

Las levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, son capaces de sintetizar sustancias antimicrobiales, útiles para el crecimiento y actividad de otras especies de ME a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Degradan proteínas complejas y carbohidratos. Como parte de su metabolismo fermentativo, las levaduras producen etanol en altas concentraciones. La temperatura óptima para las poblaciones de levadura es de 28.5 °C

2.4.1.4 Actinomicetos

Funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos. Benefician el crecimiento y actividad del *Azobacter* y de las micorrizas.

2.4.1.5 Hongos de fermentación

Los hongos de fermentación como el *Aspergillus* y el *Penicillium*, actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, ésteres y sub - sustancias antimicrobianas. Esto es lo que produce la desodorización y previene la aparición de insectos perjudiciales.

2.4.2 Condiciones ideales para ME [41]

Los ME son compuestos por seres vivos, son sensibles a las sequias, por eso durante el verano, cuando el sol es más fuerte, la aplicación debe ser al atardecer o en días nublados.

Se recomienda diluirlo y verterlo cada tres días. En caso de utilizar agua clorada se debe dejar en reposo por 12 horas, de manera que el cloro se volatilice, y no interfiera con el accionar de los microorganismos.

Tienen una duración de 6 meses a partir de la fecha de envasado, es conveniente almacenarlo en un lugar donde la temperatura sea constante. No se aconseja almacenarlo dentro de invernaderos por las variaciones de temperatura. En caso de que presente mal olor, no debe ser utilizado. Puede haber variaciones de color, pero la calidad del producto no cambia.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1 PROPUESTA DE FILTRO BIOLÓGICO [42]

3.1.1 Sistema Tohá

El filtrado biológico propuesto en el estudio realizado es el Sistema Tohá o también conocido como lombrifiltro, es un sistema de tratamiento de aguas no convencional; el cual se caracteriza principalmente por utilizar lombrices de la especie *Eisenia foetida*. En Chile, ya es empleado desde la V hasta la X región, en donde tratan aguas domésticas en comunidades rurales, condominios, municipalidad e industrias de alimentos. Considerado un modelo económico, eficiente y simple. A diferencia de los sistemas tradicionales que emplean lombrices; el alimento de las lombrices es proporcionado a través de las aguas residuales domésticas que percolan a través de los diferentes medios filtrantes.

3.1.1.1 Funcionamiento

Se constituye por tres etapas que se detallan a continuación:

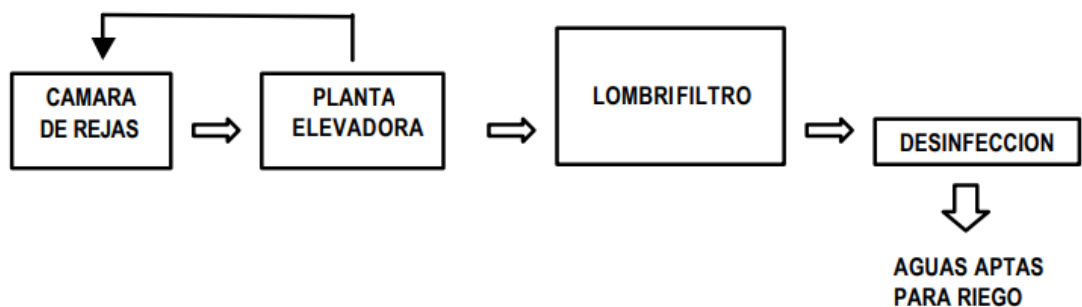


Figura 3-1: Funcionamiento del sistema Tohá.

Fuente: Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales.

Pretratamiento:

- a. Cámara de rejas: Tamiza el agua y evita la entrada de materiales que no pueden ser tratados por el sistema.
- b. Planta elevadora: Eleva el caudal y el líquido se divide en cámara de rejas y en el lombrifiltro.

Tratamiento biológico:

- a. Lombrifiltro: Compuesto por cuatro capas de medios filtrantes, descritas a continuación. (Ver figura 3-2).
 - a.1 Lombrices: En la parte superior se encuentra una gran cantidad de lombrices, con un espesor de 25 [cm]. Aquí queda retenida toda la materia orgánica presente en el agua que es distribuida a través de aspersores de manera uniforme al lombrifiltro, esta materia orgánica es consumida por una población de microorganismos, y las lombrices se encargan de oxidarla a anhídrido carbónico y agua.
 - a.2 Aserrín o viruta: Se encuentra una capa de aserrín o viruta que se encarga de suplir de alimento en caso de que la carga contaminante no sea suficiente, el espesor de esta capa es de 25 [cm]. Este aserrín debe ser de madera de ulmo o tepa, para no generar daños a las lombrices.
 - a.3 Arena: Ubicada bajo del aserrín o viruta, encargada de retener sólidos que no hayan sido degradados por los microorganismos o lombrices rojas californianas. Para que evitar que se junte el aserrín con la arena va una malla entre los medios filtrantes. El espesor de la arena es de 25 [cm].
 - a.4 Grava o piedras: En la parte inferior se ubica una capa de grava o piedras, donde se forma una flora bacteriana que ayuda a degradar el material orgánico que no es degradado por las lombrices. Como resultado del proceso, se obtiene un efluente y humus. La granulometría de las piedras debe ser de dos tamaños (pequeño y grande) y cumplir un espesor de 25 [cm].

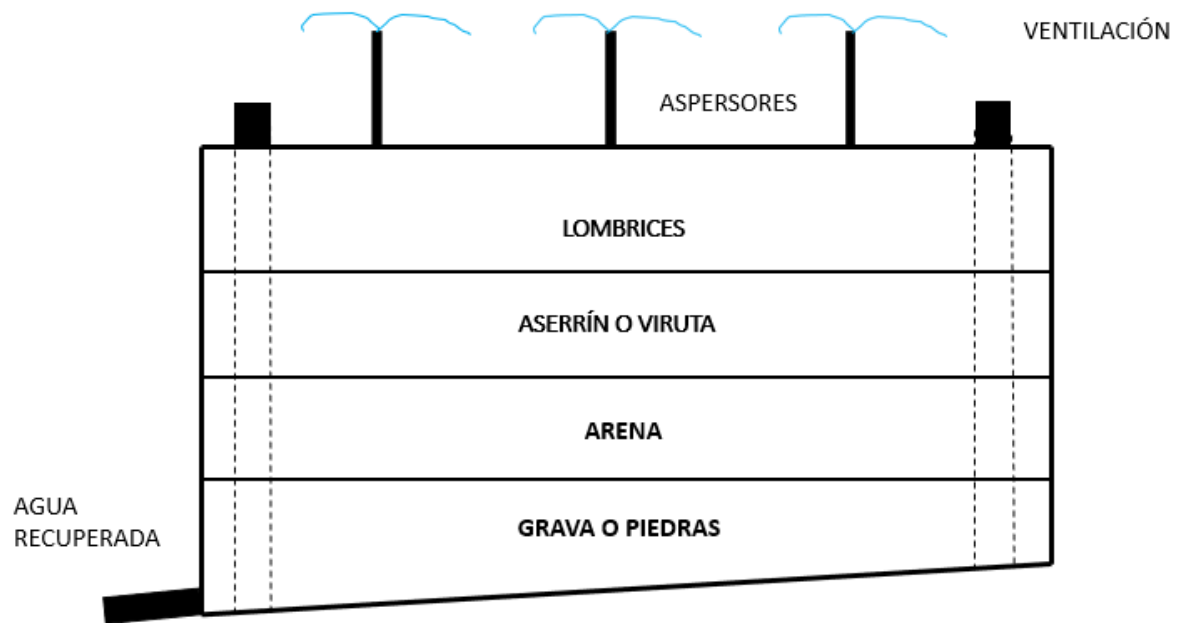


Figura 3-2: Capas del lombrifiltro

Fuente: Elaboración propia

Postratamiento

Cámara de desinfección que puede ser ultravioleta o cloración para eliminar todas las bacterias patógenas.

3.1.1.2 Diseño del Lombrifiltro

Para diseñar de manera correcta el lombrifiltro hay que considerar:

- Número de lombrices que puede cohabitar por unidad de área.
- Cantidad de materia orgánica que éstas son capaces de digerir.
- Tasa máxima de riego que puede soportar el lecho para evitar la muerte de las lombrices por falta de oxígeno, que corresponde a $1\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

Además, debe contar con tubos de ventilación de PVC de 110 [mm] de diámetro, cada 2 metros, los cuales van de manera vertical sobresaliendo 20 [cm] en la parte superior. Estos tubos se perforan cada 20 [cm] para brindar una ventilación óptima al sistema. También, debe contener una forma de pendiente para que se pueda recuperar el agua.

3.1.1.3 Mantenimiento del Sistema

Para procurar el correcto funcionamiento del sistema del sistema Tohá, se requiere realizar las siguientes labores de mantención:

- Se debe mover la viruta o aserrín 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.
- Desmalezar el lecho al detectarse el crecimiento de algún tipo de plantas.
- Con una frecuencia de 4 meses debe realizarse la adición de viruta o aserrín al lecho.
- Limpieza periódica de los aspersores para garantizar en todo momento una uniformidad de riego en la superficie.

3.1.1.4 Eficiencia del tratamiento

Desde que el agua es asperjada sobre el filtro y sale del sistema transcurren aproximadamente 40 minutos, es por lo que es considerado un proceso rápido.

El tratamiento biológico es de tipo aeróbico, dado que la acción de la *Eisenia Foetida* ayuda a mantener la permeabilidad del lecho, debido a que las lombrices consumen el material orgánico retenido en el filtro no produce lodos inestables si no que, en su lugar se obtiene humus.

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. No obstante, su principal desventaja, es la sensibilidad a variaciones bruscas de carga orgánica y parámetros químicos de agua residual.

El agua obtenida al final del proceso obtiene la eliminación de parámetros como DBO, ST, aceites, grasas, nitrógeno, fósforo y coliformes, como se muestra en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Parámetros que remueve el Sistema Tohá

Parámetros	Porcentaje de remoción
DBO	95%
Sólidos Totales	95%
Sólidos Suspendidos Volátiles	93%
Aceites y Grasas	80%
Nitrógeno Total	60% - 80%
Fósforo total	60% - 70%
Coliformes fecales	99%

Fuente: Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales.

DISCUSIÓN

En este estudio se evalúa, analizando diversas tesis la capacidad de reutilizar el agua mediante un filtro biológico con un actor principal como la lombriz *Eisenia foetida*. El filtro por utilizar es un medio efectivo y con trayectoria modificada según las necesidades de la empresa o la comunidad, en donde se vaya a utilizar.

En Chile la reutilización de aguas es escasa y el modo de operación del alcantarillado no permite su separación para recuperar las aguas grises provenientes del hogar.

Los sistemas de tratamientos biológicos comparados en este estudio corresponden a humedales artificiales como el flujo superficial y subsuperficial, logrando remover la DQO, DBO y ST, sin embargo elimina en bajas cantidades el nitrógeno y el fósforo; el tratamiento con cajas de suelo que se basa en un tratamiento aeróbico y en pretratamiento anaeróbico – aeróbico, teniendo la capacidad de remoción de partículas grandes y fibras, a pesar de ello no permite reutilizar aguas que contengan detergentes; alternativas comerciales como MBR, CBR y el sistema de tratamiento de aguas grises de Greywaternet, los cuales son adaptados a diferentes necesidades, presentan grandes costos de instalación o mantenimiento; y por último el Sistema Tohá siendo la principal opción por la utilización de lombrices rojas californianas, un método económico, simple, eficiente y no genera residuos.

El Sistema Tohá logra reducir contaminantes presentes en el agua gris obteniendo como resultado agua apta para riego

Por otro lado, hay que tener algunas consideraciones referentes a la construcción y funcionamiento del tratamiento biológico o lombrifiltro. En primer lugar, se debe incorporar una gran cantidad de lombrices rojas californianas para que cumplan el objetivo principal. En segundo lugar, el aserrín que debe ser usado para la cama de las lombrices debe ser de madera blanca, como madera de ulmo o de tepa, debido a que el que proviene de madera roja contienen un alto porcentaje de taninos y lignina; el tanino actúa como veneno para la lombriz. Y, por último, 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.

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Conforme a lo expuesto en este estudio se puede asegurar el cumplimiento de los objetivos propuestos.

- Las aguas grises son parte importante de las aguas residuales, generadas a través de diferentes artefactos sanitarios presentes en el hogar. Son una buena opción para ser reutilizadas y aprovechadas. El estudio se enfoca en las aguas residuales de baja carga, correspondientes a duchas, lavamanos y tinas de baño.
- Se identifica toda normativa vigente en Chile según lo relacionado con el tratamiento, disposición y reutilización de aguas grises para diferentes actividades.
- Entre los métodos estudiados se identifican humedales artificiales, tratamientos con caja de suelo y otras alternativas comerciales, considerando el más adecuado al Sistema Tohá por su capacidad de remover ciertos parámetros, el tiempo que demora en obtener el efluente y no generar lodos, si no que produce humus.
- La lombriz *Eisenia foetida* se encarga de consumir la materia orgánica de los afluentes residuales transformándolo por oxidación en anhídrido carbónico y agua. De acuerdo con investigaciones realizadas, la especie es la más adecuada para este sistema de tratamiento de aguas.
- El sistema propuesto es el adecuado para la recuperación de estas aguas para utilizarlas en regadío y cumplen con los requerimientos señalados en la Ley N° 21.075 la cual “REGULA LA RECOLECCIÓN, REUTILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE AGUAS GRISES”. Con la utilización del lombrifiltro, se obtienen 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.

Se aconseja incorporar el uso de Microorganismos Eficientes, que aportan en el tratamiento, reduciendo malos olores, mejoran la calidad del agua y del suelo. Además, pueden coexistir y complementarse con comunidades microbianas y la lombriz en cuestión.

Se recomienda elaborar el sistema propuesto. Realizar análisis químicos y microbiológico caracterizando el agua filtrada, comparándola con normas vigentes.

REFERENCIAS

- [1] AIDIS Chile (2017). Aguas Grises: Un recurso latente, recuperado 10 de abril 2020. < <http://www.aidis.cl/wp-content/uploads/2016/10/revista-aidis-2017-.pdf> >
- [2] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2018). Situación de los recursos hídricos en Chile, recuperado 27 de mayo 2020.
<https://www.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25323/2/Informe_Recursos_Hidricos_en_Chile.pdf >
- [3] Fernández Cirelli Alicia (2012). El agua: Un recurso esencial, recuperado el 20 mayo 2020. < <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf> >
- [4] Gálvez Ordoñez Juan SENAMHI (2011). Cartilla técnica: Ciclo hidrológico, recuperado el 20 de mayo 2020. < https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf >
- [5] Comisión Nacional del Agua (2010). Estadísticas del Agua en México, edición 2010, recuperado el 20 de mayo 2020.
<<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/Publicaciones/Publicaciones/eam2010-16Junio2010.pdf> >
- [6] Organización Meteorológica Mundial (1997). ¿Hay suficiente agua en el mundo?, recuperado 24 de mayo 2020
<http://www7.uc.cl/sw_educ/hidrologia/Capitulo_1/aguamundo.pdf >
- [7] UNESCO (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos; No dejar a nadie atrás, recuperado el 13 de abril 2020
<<https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf> >
- [8] International Water Management Institute (2007). Water for food Water for life, recuperado el 14 de abril 2020.
<https://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files_new/synthesis/Summary_SynthesisBook.pdf >
- [9] ONU-Agua (2005). El agua, fuente de vida, recuperado el 31 de mayo 2020
<<https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>>

- [10] Capítulo 3: Contaminación del agua, recuperado el 29 de mayo 2020.
<http://aguas.igme.es/igme/educacion_ambiental/guia_didactica/pdf/in_03.pdf>
- [11] Tema 11: La contaminación del agua, recuperado el 25 de mayo 2020.
<<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/965/course/section/1090/Contaminacion%2520del%2520agua.pdf>>
- [12] UNESCO (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo; Agua para un mundo sostenible, recuperado el 30 de mayo 2020.
<http://www.unesco.org/new/fileadmin/multimedia/hq/sc/images/wwdr2015facts_figures_spa_web.pdf>
- [13] UNESCO (sin fecha). El 3^{er} Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el mundo: El agua en un mundo en constante cambio, recuperado el 30 de mayo 2020.
<http://www.unesco.org/new/fileadmin/multimedia/hq/sc/pdf/wwap_wwdr3_facts_and_figures_sp.pdf>
- [14] Tercer Foro Mundial del Agua Kyoto (2003). Informe de avance sobre la iniciativa regional para América Latina y el Caribe: Agua y pobreza, recuperado el 30 de mayo 2020.<
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/agua-y-pobreza-informe-de-avance.pdf>
- [15] Oficina de Información Diplomática (2017). Ficha país: República de Chile, recuperado el 02 de junio 2020.
<http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/chile_ficha%20pais.pdf>
- [16] Documento del Banco Mundial (2011). Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos, recuperado el 02 de junio 2020.
<https://dga.mop.gob.cl/eventos/Diagnostico%20gestion%20de%20recursos%20hidricos%20en%20Chile_Banco%20Mundial.pdf>
- [17] Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. Chile Cuida su Agua, recuperado el 03 de junio 2020.
<https://www.mop.cl/Documents/enrh_2013_ok.pdf>

- [18] Vargas Lidia, Yactayo Maldonado Víctor (2004). Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida, capítulo 9: Filtración, recuperado el 23 de junio 2020.
<<http://www.ingenieroambiental.com/4014/nueve.pdf> >
- [19] Barraque. Ch y otros (1979). Manual técnico del agua, capítulo 9: Filtración del agua, recuperado el 24 de junio 2020.
<<https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/fildegremont.pdf> >
- [20] Capítulo 3: Filtración, recuperado el 25 de junio 2020.
<http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo3.pdf >
- [21] I.C.T, S.L. Instrumentación Científico Técnica. Microfiltración, recuperado el 25 de junio 2020.
<<http://www.ictsl.net/plaintext/assets/filterlab2009microfiltracion.pdf> >
- [22] Totagua. Tecnologías de Ultrafiltración, recuperado el 25 de junio 2020.
<<http://www.totagua.com/pdf/equipos-depuracion/ultrafiltracion.pdf> >
- [23] Riaño Néstor (2007). Fundamentos de química analítica básica. Análisis Cuantitativo.
- [24] Técnicas de filtración S.A TEFSA. Filtros de presión, recuperado el 25 de junio 2020.
<<http://www.sobitec.cl/wp-content/uploads/07-Filtros-a-Presion.pdf> >
- [25] Carbotecnia. Tratamiento de agua y aire. (2004). Boletín Técnico: Filtros de grava, arena sílica y antracita, recuperado el 06 de julio 2020.
<<https://www.carbotecnia.info/PDF/boletines/AG-009.pdf> >
- [26] Rocha Castro Edmundo (2016). Ingeniería de Tratamientos y Acondicionamiento de Aguas, recuperado el 06 de julio 2020.
<<http://www.geocities.ws/edrochac/sanitaria/filtracion4.pdf>>
- [27] Máster en ingeniería del agua. Manual del carbón activo, recuperado el 07 de julio 2020.
<<http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf>>
- [28] Carbotecnia. Medios Granulares, Antracita mineral.
< <https://www.carbotecnia.info/PDF/medfiltrantes/Antracita.pdf> >

- [29] Sierra Alejandra, Simonne Eric y Treaddwell Danielle. Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas, recuperado el 12 de julio 2020. <<https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS35600.pdf> >
- [30] El proceso de nutrición en las plantas, recuperado el 27 de agosto 2020. <<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448180895.pdf> >
- [31] Franco Alvarado María (2007). Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile, recuperado 05 de agosto 2020. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco_m.pdf?sequence=3&isAllowed=y >
- [32] Arango Ruiz Álvaro (2004). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua, recuperado el 08 de agosto 2020. <<https://www.redalyc.org/pdf/695/69510210.pdf> >
- [33] Niño Rodríguez Elkin, Martínez Medina Néstor (2013). Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá.
- [34] Agroflor. Manual Lombricultura, recuperado 23 de agosto 2020. <<http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf> >
- [35] Somarriba Reyes Ricardo, Guzmán Guillén Fidel (2004). Guía de Lombricultura, recuperado 23 de agosto 2020. <<https://core.ac.uk/download/pdf/35166214.pdf> >
- [36] Gastón López Jessaily, Miguel Martínez Marcos. Evaluación de la eficacia de cuatro dietas alimenticias sobre el crecimiento, desarrollo y producción de abono de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*).
- [37] Agrolanzarote. Manual práctico para Lombricultura, recuperado 25 de agosto 2020. <<http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/01Actualidad/documentos/manual-lombricultura.pdf> >
- [38] Manrique Delgado Erika, Castañeda Piñeros Jennifer (2016). Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio, recuperado 08 de agosto 2020. <<http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/578/1/6111676-2016-2-IQ.pdf> >

- [39] Escobar Carvajal Alejandro (2013). Usos potenciales del humus (abono orgánico lixiviado y solido) en la empresa fertilombriz, recuperado 29 de agosto 2020.
<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/936/1/usos_potenciales_humus_abono_organico_lixiviado_solido_empresa_fertilombriz.pdf>
- [40] Cardona Gómez Juanita, García Galindo Luisa (2008). Evaluación del efecto de los Microorganismos Eficaces (ME) sobre la calidad de un agua residual doméstica, recuperado el 30 de agosto 2020.
<<https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis204.pdf>>
- [41] Toalombo Iza Rita (2012). Evaluación de Microorganismos Eficientes autóctonos aplicados en el cultivo de cebolla blanca (*Allium fistulosum*), recuperado el 30 de agosto 2020. <
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2217/1/Tesis-22agr.pdf>>
- [42] Salazar Miranda Patricia (2005). Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales, recuperado 08 de agosto 2020.
< <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf> >

ANEXOS

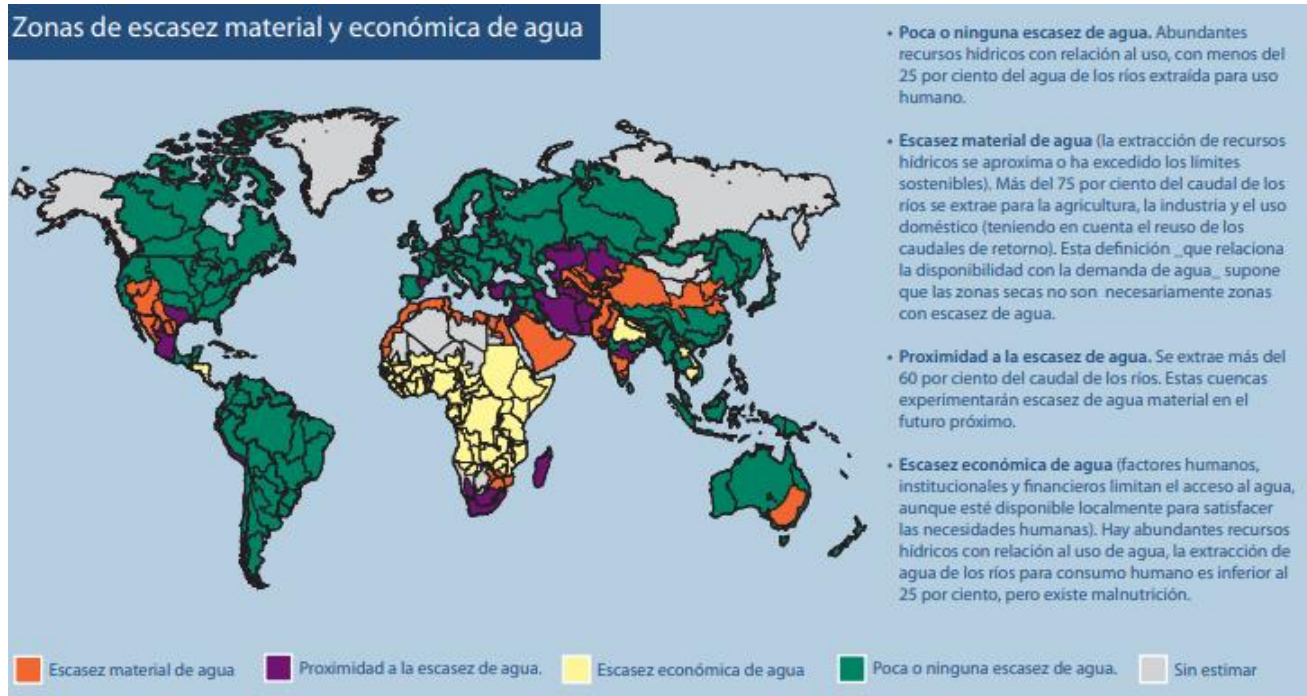
ANEXO A: USO DEL AGUA POR SECTORES A NIVEL MUNDIAL

CUADRO 1.4: EXTRACCIÓN DE AGUA POR PRINCIPALES SECTORES DE USO

Continente Regiones	Extracción total por sectores						Extracción total de agua*	Extracción total de agua dulce	Extracción de agua dulce en % de RHRI
	Urbano		Industrial		Agrícola				
	km³/año	%	km³/año	%	km³/año	%			
África	21	10	9	4	184	86	215	215	5
África septentrional	9	9	5	6	80	85	94	94	201
África subsahariana	13	10	4	3	105	87	121	121	3
Américas	126	16	280	35	385	49	791	790	4
América septentrional	88	15	256	43	258	43	603	602	10
América central y el Caribe	6	26	2	11	15	64	24	24	3
América del Sur	32	19	21	13	112	68	165	165	1
Asia	217	9	227	9	2 012	82	2 456	2 451	20
Asia occidental	25	9	20	7	227	83	271	268	55
Asia central	5	3	8	5	150	92	163	162	61
Asia meridional	70	7	20	2	914	91	1 004	1 004	57
Asia oriental	93	14	150	22	434	64	677	677	20
Asia sudoriental	23	7	30	9	287	84	340	340	17
Europa	61	16	204	55	109	29	374	374	6
Europa occidental y central	42	16	149	56	75	28	265	265	13
Europa oriental y Federación de Rusia	19	18	56	51	35	32	110	110	2
Oceanía	5	17	3	10	19	73	26	26	3
Australia y Nueva Zelandia	5	17	3	10	19	73	26	26	3
Islas del Pacífico	0.01	14	0.01	14	0.05	71	0.1	0.1	0.1
Mundo	429	11	723	19	2 710	70	3 862	3 856	9
Ingresos altos	145	16	392	43	383	42	920	916	10
Ingresos medios	195	12	287	18	1 136	70	1 618	1 616	6
Ingresos bajos	90	7	44	3	1 191	90	1 324	1 324	18
Ingresos bajos y déficit de alimentos	182	8	184	8	1 813	83	2 180	2 179	16
Menos adelantados	10	5	3	1	190	94	203	203	5

* Incluye el uso de aguas desalinizadas

ANEXO B: MAPA ZONAS DE ESCASEZ MATERIAL Y ECONÓMICA DEL AGUA



ANEXO C: TABLA DE PARÁMETROS SEGÚN INDICADOR PARA EL USO DE AGUA DE REGADÍO

Indicador	Unidad	Requisito
pH	Unidad	5,5 – 9,0
Aluminio (Al)	mg/L	5,00
Arsénico (As)	mg/L	0,10
Bario (Ba)	mg/L	4,00
Berilio (Be)	mg/L	0,10
Boro (Bo)	mg/L	0,75
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01
Carbaril	g/L	70,00
Cianuro (CN)	mg/L	0,20
Cloruros (Cl-)	mg/L	200,00
Cobalto (Co)	mg/L	0,05
Cobre (Cu)	mg/L	0,20
Cromo (Cr)	mg/L	0,10 (1)
Fierro (Fe)	mg/L	5,00
Fluoruros	mg/L	1,00
Litio (Li)	mg/L	2,50
Litio (cítricos) (Li)	mg/L	0,075
Manganeso (Mn)	mg/L	0,20
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	0,20
Plata (Ag)	mg/L	0,20
Plomo (Pb)	mg/L	5,00

TABLA ANEXO C: PARÁMETROS SEGÚN INDICADOR PARA EL USO DE AGUA DE REGADÍO (CONTINUACIÓN)

Selenio (Se)	mg/L	0,02
Sodio (Na)	%	35,00
Sulfatos (SO_4^{-2})	mg/L	250,00
Vanadio (V)	mg/L	0,10
Zinc (Zn)	mg/L	2,00
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000

ANEXO D: TABLA COMPOSICIÓN Y PARÁMETROS DEL AGUA RESIDUAL

TABLA 3-16
Composición típica del agua residual doméstica bruta

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1.200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l: 5 días, 20 °C (DBO ₅ , 20 °C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1.000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros ^a	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales ^b	n.º/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	<100	100-400	>400

^a Los valores se deben aumentar en la cantidad en que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro.

^b Consultar la Tabla 3-18 para obtener los valores típicos correspondientes a otros microorganismos.