



TRABAJO FINAL DE MÁSTER
SISTEMA INTEGRADO DE LOMBRIFILTROS Y FILTROS
VERDES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES URBANAS

INTEGRATED SYSTEM OF LOMBRIFILTERS AND
GREEN FILTERS FOR THE TREATMENT OF URBAN
WASTEWATER

Presentado por:

D./D^a DOLORES FERNÁNDEZ MARTOS

Dirigido por:

Dr. D. PEDRO LETON GARCÍA

Alcalá de Henares, a 14 de septiembre de 2021

TRABAJO FINAL DE MÁSTER
SISTEMA INTEGRADO DE LOMBRIFILTROS FILTROS VERDES PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

INDICE

1. RESUMEN.....	5
2. INTRODUCCIÓN	6
2.1 OBJETIVOS	8
2.2 NORMATIVA DE REFERENCIA	8
3. PLAN DE TRABAJO/MATERIAL Y MÉTODOS	9
3.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE.....	9
3.1.1 Descripción de los Sistemas de Tratamiento.....	9
3.1.2 Criterios para el dimensionamiento de los Sistemas de Tratamiento.....	15
3.2 RECOPIACIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE CALIDAD	22
3.2.1 Lombrifiltro.....	22
3.2.2 Filtros Verdes	26
4. DESARROLLO DEL TRABAJO RESULTADOS.....	29
4.1 DOTACIÓN	29
4.2 DIMENSIONAMIENTO.....	30
4.2.1 Lombrifiltro.....	30
4.2.2 Filtros Verdes	32
4.3 ESQUEMA DE TRATAMIENTO	33
4.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.....	34
4.4.1 Pretratamiento	35
4.4.2 Lombrifiltro.....	35
4.4.3 Filtros Verdes	35
4.4.4 Tabla Resumen de Mantenimiento.....	36
5 DISCUSIÓN.....	37
5.1 FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LOS LOMBRIFILTROS Y FILTROS VERDES.....	37
5.2 OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FORMA INTEGRADA	38

6	CONCLUSIONES	39
7	BIBLIOGRAFÍA.....	40
8	ANEXOS.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 3-1.	Lombriz <i>Eisenia Foetida</i>	10
Figura 3-2.	Lombrifiltro previo al inicio operación.	11
Figura 3-3.	Inoculación Lombrifiltro.....	12
Figura 3-4.	Lombrifiltro en Operación.	13
Figura 3-5.	Filtro Verde Redueña. Tomado Bustamante et al., 2001	14
Figura 3-6.	Filtro Verde Carrión de los Cespedés. Tomado de Miguel et al. 2012.....	15
Figura 3-7.	DBO5 (mg O2/l) Afluente/Efluente Planta de Tratamiento Aguas Servidas	23
Figura 3-8.	NTK (mg/l) Afluente/Efluente Planta de Tratamiento Aguas Servidas	23
Figura 3-9.	SST (mg/l) Afluente/Efluente Planta de Tratamiento Aguas Servidas.....	24
Figura 3-10.	DBO5 Afluente/Efluente Plantas de Tratamientos Aguas Servidas C1, C2, C3	24
Figura 3-11.	NTK (mg/l) Afluente/Efluente Plantas de Tratamientos Aguas Servidas C1, C2, C3.....	25
Figura 3-11.	SST (mg/l) Afluente/Efluente Plantas de Tratamientos Aguas Servidas C1, C2, C3	25
Figura 3-12.	Filtro Verde Carrión de los Céspedes. Modificación De Miguel et al., 2012 .	28
Figura 3-13.	Concentración Nitrógeno Total Entrada y Salida La Franca. Modificado de Alvarez et al., 2010.....	28
Figura 4-1.	Esquema de Tratamiento de los Sitemas Integrados	33

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Calidad para Riego. Modificado Guía “Condiciones Básicas para la Aplicación de RILes de Agroindustrias en Riego. SAG 2010.....	26
Tabla 3-2. Tratamiento capacidad en la tierra aplicación sistema de Redueña. Tomado de De Bustamante et al, 2009.....	27
Tabla 4-1. Dotaciones De Referencia para Usos Conectados a Red General.	30
Tabla 4-2. Mantenimiento del Sistema de Tratamiento	36
Tabla 4-2. Debilidades y Fortalezas de los Sistemas de Tratamiento	37

TRABAJO FINAL DE MÁSTER SISTEMA INTEGRADO DE LOMBRIFILTROS Y FILTROS VERDES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

1. RESUMEN

El Proyecto Sistema Integrado de Lombrifiltros y Filtros Verdes para el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, surge de la necesidad de realizar un tratamiento a las aguas residuales para su posterior descarga y/o reutilizamiento, contribuyendo así a la conservación del recurso hídrico, preservando su calidad y cantidad.

Se contempla la integración de diferentes sistemas de tratamiento, como son los lombrifiltros y filtros verdes, aprovechando las ventajas de cada sistema, evitando los problemas que se presentan cuando las tecnologías funcionan de forma separada. A continuación, se analizan las deficiencias y fortalezas de los sistemas presentados, para lo que se realiza un análisis de calidad con los diferentes resultados obtenidos en el monitoreo de cada tecnología de tratamiento, una vez obtenidos estos resultados se realiza y presenta el diseño del sistema integrado.

El Proyecto se presenta para zonas rurales y áreas con valor ecológico, por su bajo costo energético, fácil operación y numerosas ventajas ambientales, frente a los sistemas convencionales de tratamiento, como principales ventajas se destacan evitar problemas de ruidos y olores, no necesitan la adición de químicos y no se generan lodos, evitando así su tratamiento y gestión.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen tecnologías de tratamiento de aguas residuales no convencionales, como los filtros verdes, el lagunaje, el filtro de turba y los humedales construidos con características adecuadas para su implementación en poblaciones rurales y pequeños núcleos urbanos, estos sistemas tienen mucha relevancia a nivel tanto europeo como latinoamericano, ya que existen plantas de tratamiento convencionales para grandes ciudades con mucha densidad de población, pero a nivel rural aún hay muchos lugares que no cuentan con un sistema de depuración adecuado.

A continuación, se detallan algunos de los sistemas planteados para zonas con poca población, también denominados técnicas extensivas.

- **Cultivos fijos sobre soporte fino**, este tipo de sistemas se basan en la circulación del agua a través de varios macizos independientes, donde los mecanismos principales son, la filtración superficial y la oxidación. En este tipo de sistemas se incluyen:
 - La infiltración-percolación sobre la arena, que consiste en un proceso de depuración por filtración biológica aerobia sobre un medio granular fino. El afluente circula sobre varias unidades de infiltración. El agua residual está uniformemente repartida por la superficie del filtro que no está cubierto.
 - Los filtros plantados de flujo vertical son excavaciones en el suelo, estancas, rellenas con capas sucesivas de grava o de arena de una granulometría variable según la calidad del afluente, se reparte directamente, sin decantación previa por la superficie del filtro.
 - los filtros plantados de cañas de flujo horizontal, donde el macizo filtrante está casi totalmente saturado de agua. El afluente se reparte sobre todo el lecho a lo largo y ancho, a través de un sistema repartidor situado a un extremo de la balsa que fluye principalmente en un sentido horizontal a través del sustrato. La descarga al sistema es continua, ya que la carga orgánica aportada es débil. (Comisión Europea 1991)

- **Cultivos Libres**, este tipo de sistemas se basan en el desarrollo de cultivos bacterianos de tipo aerobio en general. En este tipo de sistemas se incluyen:
 - El lagunaje natural, este sistema se basa en la fotosíntesis. La capa de agua superior de las balsas está expuesta a la luz, lo que permite la existencia de algas que producen el oxígeno necesario para el desarrollo y conservación de las bacterias aerobias que son responsables de la degradación de materia orgánica.
 - Las lagunas macrófitas, este tipo de sistemas se basan en reproducir las zonas húmedas naturales que incluyen una capa de agua libre, a la vez que intenta valorizar los intereses de los ecosistemas naturales. Se utilizan frecuentemente para los tratamientos terciarios después de un lagunaje natural, de lagunas opcionales o de lagunaje aireado en los Estados Unidos.
 - El lagunaje aireado, este tipo de sistema se basa en el aporte de oxígeno por parte de un aireador de superficie o una insuflación de aire ([Comisión Europea 1991](#)).

El proyecto sistema integrado de lombrifiltros y filtros verdes para el Tratamiento de Aguas Residuales, se desarrolla para una población hipotética de 250 habitantes, que es representativa de poblaciones rurales y pequeños núcleos urbanos, donde la población crece durante los periodos vacacionales y los sistemas convencionales no son viables por sus costes de construcción y operación.

Para el diseño y operación del sistema de tratamiento integrado, se realiza la evaluación de las fortalezas y debilidades de cada uno de los sistemas por separado a través de los análisis de calidad y la información existente. El presente documento también incluye el dimensionamiento del sistema, para una población de 250 habitantes, para tener una mejor idea del desarrollo del proyecto y sus costos.

2.1 OBJETIVOS

El objetivo principal del Proyecto Sistema Integrado de Lombrifiltros y Filtros Verdes para el Tratamiento de Aguas Residuales, es proporcionar y dar acceso a una tecnología para el tratamiento de las aguas a poblaciones rurales, donde los sistemas convencionales no son viables por sus costes de construcción y operación.

El sistema de tratamiento pretende reducir los niveles de contaminación provocados por vertidos de aguas residuales urbanas sin tratar o cuyo tratamiento ha sido deficiente, este objetivo tiene como fin la preservación de la calidad del recurso hídrico, promoviendo su reutilización y dándole un valor agregado.

Este tipo de sistemas de tratamiento evitan el impacto producido por las plantas de tratamiento convencionales, conocidas como plantas de tratamiento de lodos activados, que tienen un alto consumo energético, utilizan químicos para su funcionamiento, generan impactos por ruidos y olores principalmente, y además requieren el tratamiento de los Lodos generados.

La combinación de los sistemas de Lombrifiltro y filtro verde, busca la sinergia entre la operación de ambos sistemas, aprovechando sus ventajas y evitando inconvenientes. El lombrifiltro mejorará la calidad del efluente, de forma previa al riego del filtro verde, evitando la acumulación de sólidos.

En última instancia, se pretende generar un proceso sostenible, circular y de fácil operación, mediante la utilización de un sistema de tratamiento integrado, que permita la reutilización del recurso hídrico.

2.2 NORMATIVA DE REFERENCIA

Directiva 91/271/CEE, para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, de obligado cumplimiento para todos los países miembros, fue publicada el 21 de Mayo de 1991, en el D.O.C.E.

Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre (BOE nº 312, 30 de diciembre de 1995), se publica en España, para cumplir con la obligatoriedad de la Directiva (de Bustamante et al., 2001).

Norma Chilena N°1.333, norma de calidad del recurso hídrico según su uso o receptor, aprobada por el Decreto Supremo del MOP N° 867/78. Como referencia más elaborada se considera la Tabla 2.4 Resumen de la Concentración Máxima Recomendada para los RILes Agroindustriales a Disponer en Suelos, vía Riego, con respecto a la Norma Chilena NCH 1.333, de la Guía del SAG Condiciones Básicas para la Aplicación de RILes de Agroindustrias en Riego.

3.PLAN DE TRABAJO/MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE

En primer lugar, se realizó la recopilación y análisis de la bibliografía existente relacionada con lombrifiltros y filtros verdes, la mayor parte de la bibliografía se ha obtenido a través del Instituto Madrileño de Estudios Avanzados del Agua (IMDEA Agua) y del Servicio de Evaluación Ambiental en Chile (SEA).

De este análisis se obtuvo la descripción de cada uno de los sistemas y su dimensionamiento para una población hipotética de 250 habitantes, esta población se considera representativa para zonas rurales y núcleos urbanos pequeños.

3.1.1 Descripción de los Sistemas de Tratamiento

En el diseño que se propone, el lombrifiltro se sitúa antes del filtro verde, ya que pretende mejorar la calidad del efluente para después realizar el riego en el filtro verde, evitando problemas generados por acumulación de sólidos y/o una deficiente eliminación del Nitrógeno.

3.1.1.1 Lombrifiltro

Desarrollado por la Universidad de Chile, y también conocido como sistema Tohá el Lombrifiltro constituye un sistema de tratamiento para aguas residuales, la tecnología está compuesta por un filtro percolador conformado por lechos filtrantes a diferentes profundidades y por lombrices de la especie *Eisenia Foetida*. Las lombrices se sitúan en la capa más superficial del sistema, que está compuesta de viruta y chips de madera, se llama lecho a esta capa (Salazar 2005). Ver la figura 3-1 donde se muestran las lombrices.



Figura 3-1. Lombriz *Eisenia Foetida*.

El agua residual es rociada, por medio de un sistema aspersores o goteros, sobre el lecho. El agua percola a través del filtro, donde las lombrices degradan la materia orgánica, transformando el material que compone la capa más superficial en humus. Las lombrices están asociadas a una comunidad bacteriológica que también se encargan de la degradación

de la materia orgánica y otros nutrientes.

En la figura 3-2 se muestra como quedaría el lombrifiltro una vez que se ha terminado su instalación y de forma previa a la inoculación; Es una planta de tratamiento de Riles lácteos con una capacidad de tratamiento de 200 m³/día y unas dimensiones 1.100 m², el proyecto está ubicado al sur de la ciudad de Chillan, de la Región de Ñuble en Chile.



Figura 3-2. Lombrifiltro previo al inicio operación.

Para el correcto funcionamiento del lombrifiltro es necesario que se realice la inoculación de lombrices y microorganismos que se ubican en el lecho. La inoculación se realiza extrayendo material y lombrices de otra planta con características similares, en el caso de no contar con una planta con características similares, se instalará un piloto para el crecimiento y adaptación de las lombrices. En la figura 3-3 se muestra un Lombrifiltro en el momento de

la inoculación, Es una planta de tratamiento de Riles lácteos con una capacidad de tratamiento de 120 m³/día y unas dimensiones 800 m², el proyecto se ubica en Runca situado en Valdivia en el sur de Chile.



Figura 3-3. Inoculación Lombrifiltro.

En la figura 3-4 se muestra el Lombrifiltro en operación, el proyecto corresponde a una planta de tratamiento de aguas residuales con una capacidad de tratamiento de 200 m³/día y unas dimensiones de 100 m², está ubicada en el sector de Panguilemo que se encuentra en Talca en la zona central de Chile.



Figura 3-4. Lombrifiltro en Operación.

3.1.1.2 Filtros Verdes

En los sistemas filtros verdes la operación se realiza aplicando aguas residuales urbanas a un área con vegetación elegida para este fin, una parte del agua se infiltrará en el terreno y será captada por las raíces de las plantas y otra parte se evapora.

En este tipo de sistemas, la depuración se realiza a través de la acción natural del suelo, los microorganismos y las plantas a través de mecanismos físicos, químicos y biológicos (de Bustamante et al., 2001).

En la figura 3-5 se muestra el filtro verde del proyecto de Redueña ubicado en la Sierra Norte de la Comunidad de Madrid en España.

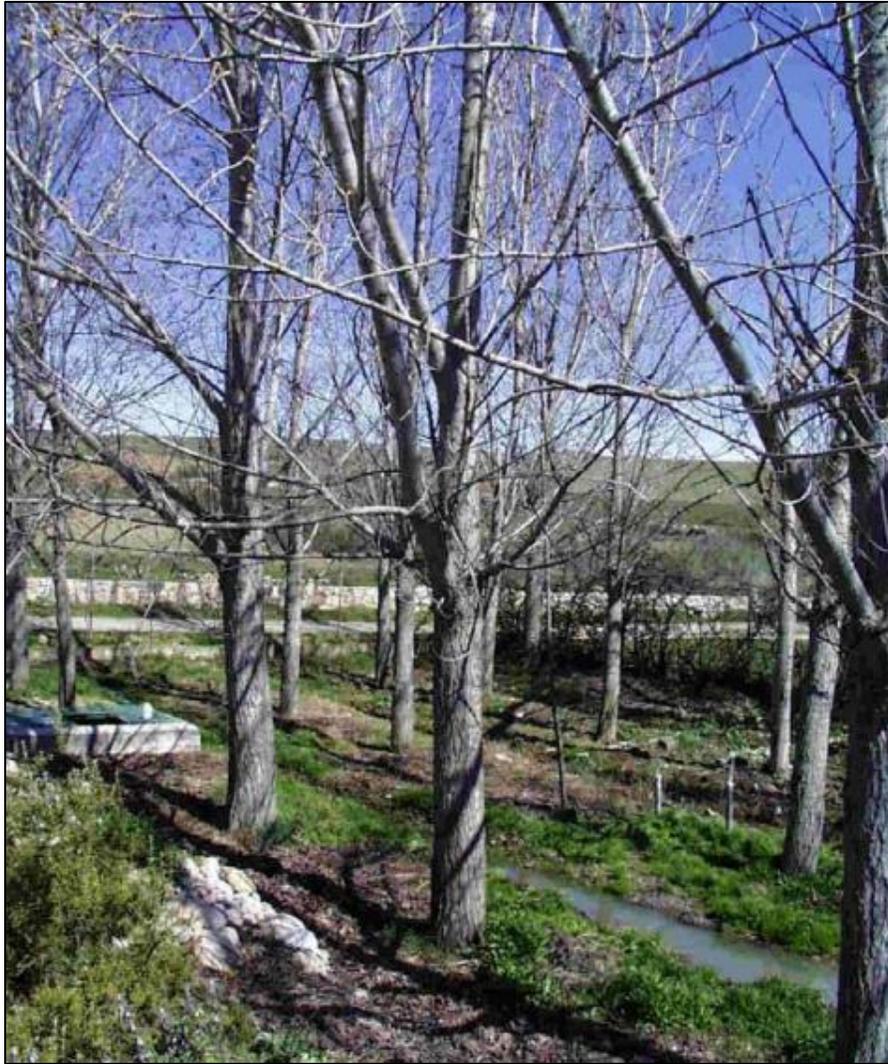


Figura 3-5. Filtro Verde Redueña. Tomado Bustamante et al., 2001

En la siguiente figura se muestra la Parcela de *Jatropha curcas L.* en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Sevilla). El estudio fue realizado en las instalaciones de la Fundación CENTA. Para ello se diseñaron 6 parcelas con unas dimensiones de 300 m² aproximadamente, tres de las cuales fueron regadas con agua de pozo y las otras tres con agua tratada. (de Miguel et al., 2012)



Figura 3-6. Filtro Verde Carrión de los Cespedés. Tomado de Miguel et al. 2012

3.1.2 Criterios para el dimensionamiento de los Sistemas de Tratamiento.

3.1.2.1 Lombrifiltro

En los sistemas lombrifiltros los parámetros que permiten una correcta operación del sistema son aquellos que permiten que la comunidad biológica desarrolle su actividad en condiciones óptimas. Esta información fue obtenida de la Declaración de Impacto Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Lllallauquén (Chile) (Fernández et al., 2016). Los parámetros para considerar son:

- **Temperatura en el lecho:** la temperatura en el lecho de tratamiento es un factor que determina la actividad biológica en el BioFiltro. La comunidad desarrolla su máxima actividad a temperaturas de entre 15 y 25 grados centígrados. Por debajo de 5 grados centígrados y por encima de los 35, habrá una actividad muy baja por parte de los

organismos.

- **pH de entrada:** la comunidad biológica desarrolla su máxima actividad en la franja del pH neutro, entre 6 y 7.5. los organismos siguen teniendo actividad en rangos de pH de 4 a 9. A partir de ese rango extremo, el pH puede acabar con la vida de la comunidad en periodos de tiempo breves.
- **Salinidad del efluente:** la salinidad afecta al metabolismo de la comunidad biológica. Se ha observado que las lombrices no soportan salinidades mayores de 20.000 $\mu\text{S/cm}$.
- **Humedad en el lecho:** se establece un rango viable para la comunidad biológica entre 85 y 98%, siendo el óptimo un 90%, por encima del 98% las lombrices se asfixian, ya que las lombrices obtienen el oxígeno del aire, no del agua, y un lecho saturado de agua no permite el acceso del aire a las mismas. Por debajo de 85% las lombrices se introducen en el lombrifiltro a zonas más húmedas y menor cantidad de oxígeno lo que conlleva un descenso en su actividad.

El diseño sistema de tratamiento biológico se fundamenta en dos factores Esta información fue obtenida de la Declaración de Impacto Ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Lllallauquén (Chile) (Fernández et al., 2016):

- La tasa hidráulica (t_h), considerándose como tal el caudal máximo que el BioFiltro puede recibir por unidad de superficie,
- La carga contaminante (t_c), considerándose como tal la máxima cantidad de DBO_5 que el BioFiltro puede recibir por unidad de superficie.

Si se considera la carga hidráulica, se parte de que para aguas servidas la máxima carga hidráulica considerada, según la experiencia, es de 600 $\text{l/m}^2/\text{día}$.

Por otro lado, si se considera la carga contaminante, primeramente, es necesario calcular la cantidad de carga orgánica, en forma de demanda bioquímica de oxígeno, que se descargará sobre el BioFiltro:

$$c = Q_d \cdot \text{DBO}_5$$

Partiendo de que la carga contaminante máxima, dada las características del ril, puede establecerse en 350 $\text{g DBO}_5/\text{m}^2$, se tiene lo siguiente:

$$S_{min,c} = \frac{c}{t_c}$$

3.1.2.2 Filtros Verdes

Para la construcción de un Filtro Verde es necesario realizar una evaluación la zona donde se pretende instalar, los estudios deben considerar lo siguiente:

- Factores Agrícolas: usos del suelo; cultivo seleccionado; técnicas agrícolas.
- Factores de Calidad: características de las aguas residuales; capacidad de autodepuración del medio (geológico y biótico); legislación vigente.
- Factores del Medio Físico: climatología, topografía, litología, edafología e hidrogeología.
- Factores Tecnológicos: control y gestión automatizados.
- Factores Socioeconómicos: impacto medioambiental; costes de instalación y mantenimiento en el entorno de la economía sustentable. (de Bustamante et al., 2001)

De forma posterior a la evaluación del área, se comienzan a manejar los criterios de diseño, que se **basan fundamentalmente en si se quiere o no producir la recarga del acuífero subyacente**. La decisión para adoptar va a depender de la calidad del efluente obtenido y condicionará la superficie de la instalación. La superficie del filtro verde puede estimarse realizando un balance hídrico del sistema, en el que, partiendo del agua total a aplicar al terreno, suma de la precipitación natural y del agua residual, y considerando la parte que regresa a la atmósfera por evaporación y la absorbida por la vegetación e incorporada en su masa bruta o devuelta a la atmósfera por transpiración, se está en condiciones de evaluar la cantidad que debe quedar adecuadamente depurada, ya que se infiltra a zonas más profundas, incorporándose a las aguas subterráneas del acuífero correspondiente.

Desde un punto de vista ambiental, interesa que el mayor volumen posible de agua llegue a infiltrarse hasta el acuífero, ya que contribuye a su recarga. Para evitar la contaminación de las aguas subterráneas, se realiza un seguimiento en tiempo real de la calidad y cantidad del agua infiltrada, que permite actuar de manera inmediata sobre el caudal de riego (de Bustamante et al, 2001).

Existen diferentes metodologías para el cálculo del dimensionamiento de los filtros verdes, para obtener la superficie necesaria se cuenta con distintos métodos en base a los siguientes parámetros:

- La permeabilidad del suelo,
- El cálculo de la carga hidráulica basada en el balance de nitrógeno
- El cálculo del balance hídrico.

Los resultados obtenidos mediante trabajos experimentales señalan que el balance hídrico es el mejor método para aplicar en el filtro verde, ya que optimiza la superficie requerida y los rendimientos de depuración de agua. (de Bustamante et al, 2009).

Para realizar el diseño de un sistema de tratamiento de Filtro Verde, es necesario considerar el agua que se va a añadir, con niveles contaminación que varían y que modifican el equilibrio hídrico natural. Otros parámetros que deben tenerse en cuenta son las necesidades hídricas de la vegetación en función del período vegetativo, y el grado de depuración final debe cumplir los objetivos de calidad (de Bustamante et al, 2009).

En el informe “Comparación de diferentes metodologías para el diseño de sistemas de aplicación de suelo: Estudio de caso en la EDAR de Redueña” Bustamante et al 2009 concluyó que para este caso la metodología basada en el equilibrio hídrico es la más adecuada para esta localización ya que garantiza la contribución hídrica necesaria para mantener la plantación, este método consiste en la realización de un balance hídrico (de Bustamante et al, 2009).

Un filtro verde es un sistema donde se va a producir una interacción entre las aguas tratadas y los organismos, junto con el suelo y la roca, son esas interacciones las que proporcionan al sistema las propiedades para realizar una depuración natural, por lo que es necesaria la caracterización del medio geológico y conocer cuáles son los factores y procesos que pueden intervenir, y el alcance y los efectos de tales interacciones. Esto permite desarrollar un diseño adecuado que alcance una mayor eficiencia, económica y ambiental, en la aplicación de la

tecnología (de Bustamante et al, 2010).

A) Especies de Plantas Utilizadas para filtros verdes

Para una correcta caracterización y descripción de especies se ha utilizado la web de arbolapp.es, de donde se extrae la mayor parte de la información. A continuación, se describen las especies con relevancia, para la realización de un filtro verde.

- Taray (*Tamarix canariensis*). Se presenta en forma arbustiva, y su altura puede llegar a ser de hasta 10 metros. Posee muchas ramas con colores de pardo a púrpura oscuro son muy numerosas, en éstas ramas se sitúan pequeñas flores de color rosado o blanco, que se agrupan en ramilletes. La floración ocurre en las estaciones de primavera y verano. Presenta frutos en forma de cápsula triangular, que contienen muchas semillas con de pelos largos.

Son especies que se encuentran en terrenos húmedos con altas concentraciones de sales, como salares, en la ribera de los ríos y las depresiones con el nivel freático elevado, se sitúa desde el nivel del mar hasta los 800 m. Suelen encontrarse formando bosquetes abiertos que comparten con otras especies de ecología afín.

Existe una enorme presencia de esta especie en Castilla - La Mancha, en el Parque de las Tablas de Daimiel. Tanto a las ramas como a la corteza se le atribuyen propiedades medicinales, sobre todo de tipo astringente.

- Sauce (*Salix Alba*) El sauce blanco alcanza hasta 25 m y es el que tiene el mayor porte de todos los de nuestro territorio. Esta especie posee un tronco con corteza grisácea, agrietada y totalmente recto. Tiene hojas caducas, simples, alternas, lanceoladas u oblongo-lanceoladas, con brillo por el haz y blanquecinas por el envés, lo que la diferencia de otras especies, las hojas poseen unas dimensiones de hasta 10 centímetros de largo y 2,5 centímetros de ancho, de margen serrado y punta alargada. Florece en los meses de marzo a junio en largos filamentos llamados amentos. Cuando maduran, sus frutos se encuentran en forma de cápsula, y se liberan las semillas que se encuentran en un material algodonoso favoreciendo así

su dispersión por el viento.

El sauce blanco se encuentra en áreas asociadas al recurso hídrico, habitualmente en los terrenos fértiles de las vegas. Soporta temperaturas muy bajas y lo podemos observar hasta los 1900 m de altitud desde el nivel del mar.

Se encuentra en Europa, Asia y norte de África de forma espontánea, pero se ha plantado en diversos lugares desde hace mucho tiempo, por lo que es difícil saber con precisión su área natural. En la Península y Baleares aparece en forma dispersa y es bastante común.

- Álamo común o chopo blanco (*Populus alba*), es un árbol caducifolio que puede medir hasta 25 m de altura, de tronco recto y cilíndrico. La corteza es verdosa o grisácea y se agrieta longitudinalmente con el tiempo

Es un árbol que se sitúa en las zonas bajas, ya que no resiste las heladas, por lo que en general ocupa las zonas más fértiles de las vegas en los cursos medios y bajos de los ríos. Se puede encontrar formando bosquetes con otras especies de las orillas de los ríos y asociado al recurso hídrico. Soporta suelos arcillosos y se da bien en los calcáreos.

Las hojas son alternas, anchas y de forma muy variable, simétricas o no, verde claras por el haz y blanquecino o plateado por el envés. Las flores aparecen en ramilletes alargados colgantes, llamados amentos. Sus frutos se encuentran en forma de cápsula que al madurar se abren y liberan las semillas envueltas en una sustancia algodonosa favoreciendo así su dispersión por el viento.

En la Península crece como natural y es característico del centro y sur de Europa, oeste de Asia y norte de África, es una especie que se usa mucho como ornamental o para repoblaciones.

- Álamo Canadiense (*Populus euroamericana*) por ser una especie asociada a sistemas hídricos y adecuada a las condiciones climáticas del entorno.

Este árbol es un cruce artificial creado en el siglo XVIII entre el chopo común (*Populus nigra* L.) y el chopo americano (*Populus deltoides* Bartram ex Marshall).

De tronco recto y puede llegar a un máximo de altura de hasta 40 metros, tiene una

corteza es grisácea, lisa de joven y agrietada en los ejemplares adultos. Con hojas anchas, grandes y triangulares o deltoideas anchas. El margen es serrado u ondulado, el rabillo es muy largo y aplanado lateralmente. Las flores masculinas y femeninas crecen agrupadas en ramilletes, alargados y colgantes llamados amentos. Cuando maduran sus frutos en forma de cápsula se abren al madurar.

Crece en todo tipo de suelos, pero no le vienen bien los permanentemente encharcados y sin renovación del agua, ni tampoco los climas muy cálidos de inviernos atemperados. Se encuentra hasta los 1500 metros desde el nivel del mar y es de crecimiento rápido. Se reproduce muy bien de forma vegetativa, simplemente por enraizamiento o haciendo estaquillas con sus ramas jóvenes. No es una especie longeva.

El chopo canadiense se encuentra en toda la península Ibérica. Por su fertilidad, el cultivo para la producción maderera se realiza sobre todo en vegas y tierras bajas de aluvión.

- Piñón (*Jatropha curcas*) forma parte de la familia de oleaginosas, procede de zonas tropicales y subtropicales y con múltiples usos entre los que destaca la producción de biodiésel. Es un cultivo rústico, con poca necesidad de recurso hídrico y que se adapta con facilidad a suelos sin nutrientes bien drenados. (de Miguel et al, 2012), además se ha demostrado que el riego de esta especie con aguas residuales urbanas no proporciona un efecto negativo a corto plazo, convirtiéndose en una opción en el sector de las energías renovables (de Miguel et al, 2013).

En el estudio realizado para el efecto del riego a corto plazo en *J. curcas* se llevó a cabo el análisis del comportamiento vegetativo, en el estudio se concluyó que no existen diferencias significativas en los nutrientes acumulados en sus hojas, ni en la altura, diámetro de la corona y diámetro del collar, sin embargo, los nutrientes que proporciona el efluente tampoco producen un efecto positivo en la producción de biomasa y se necesitaba un programa de fertilización para agregar suficientes nutrientes.

Además, la calidad del agua del acuífero se vio ligeramente afectada en términos de nitrógeno total después del riego cuando se produjeron las lluvias, debido al proceso

de lixiviación de nitrógeno, aunque no se han superado los límites de la legislación europea de aguas subterráneas (91/676/CEE) en ningún caso.

Este estudio trabaja en la línea de transformar las aguas residuales en bioenergía. Así, el uso de agua regenerada para el riego de *J. curcas* L. podría disminuir la presión sobre la disponibilidad de agua en los recursos locales, y podría proporcionar una fuente alternativa de energía limpia. Sin embargo, es necesaria más investigación para tener información válida de las afecciones ambientales en el suelo y las aguas subterráneas y se requiere un estudio más largo para comprobar los posibles efectos de la calidad del agua en el sistema de riego y la producción de semillas, y el rendimiento en la transformación biodiésel (de Miguel et al, 2013).

3.2 RECOPIACIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE CALIDAD

3.2.1 Lombrifiltro

Para la realización del análisis de calidad se consideran los siguientes parámetros, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Nitrógeno kjeldahl (NTK) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), se eligen estos parámetros por su relevancia en los sistemas dentro de los sistemas de tratamiento.

En primer lugar, se realizaron los gráficos para el análisis de calidad del Afluente y Efluente, en una planta de tratamiento de aguas servidas que se encuentra en funcionamiento, la operación se inició en 2016. La planta da servicio a instalaciones turísticas y tiene una capacidad de tratamiento de 500 m³/día.

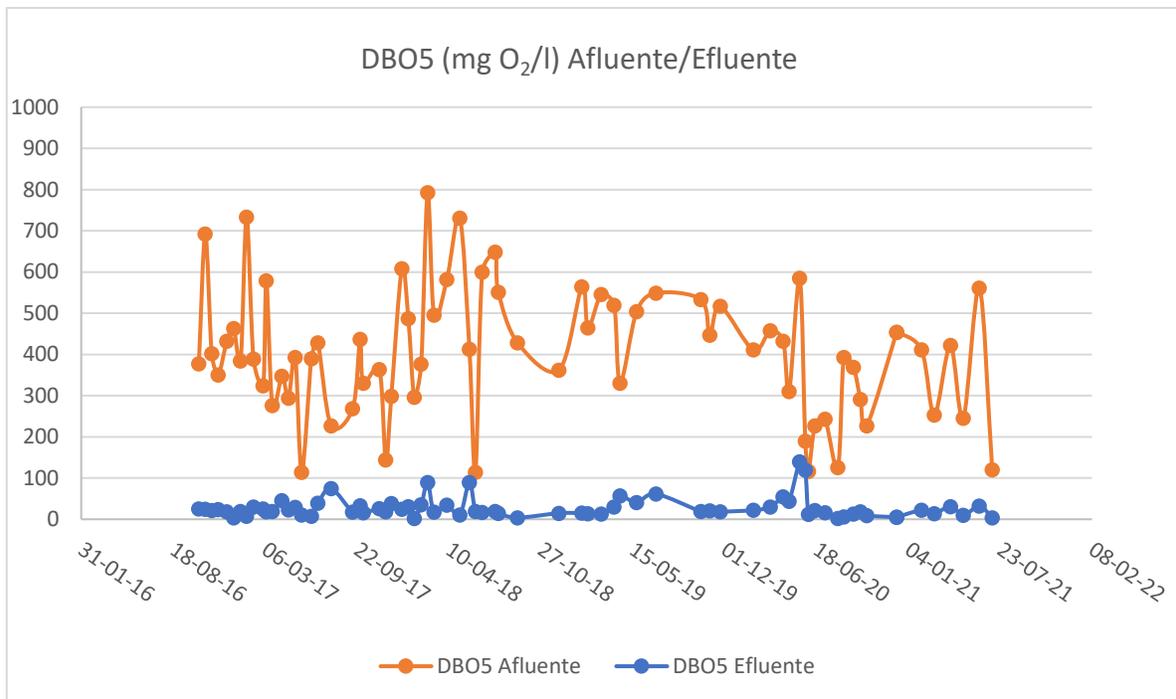


Figura 3-7. DBO5 (mg O₂/l) Afluyente/Efluente Planta de Tratamiento Aguas Servidas

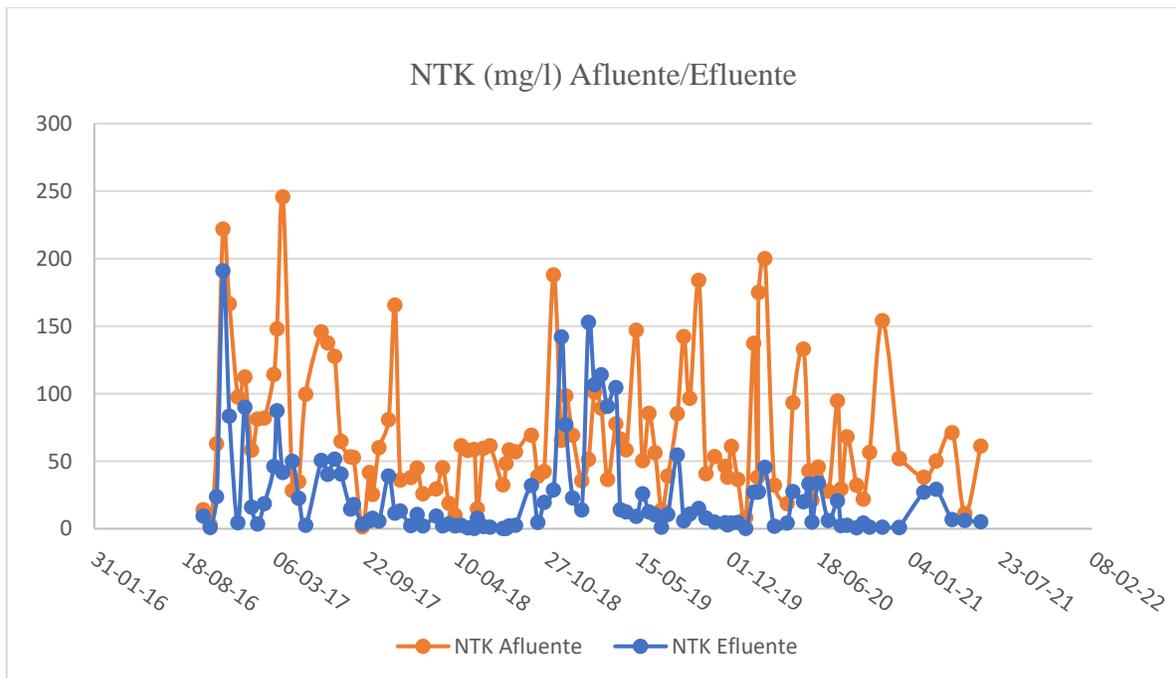


Figura 3-8. NTK (mg/l) Afluyente/Efluente Planta de Tratamiento Aguas Servidas

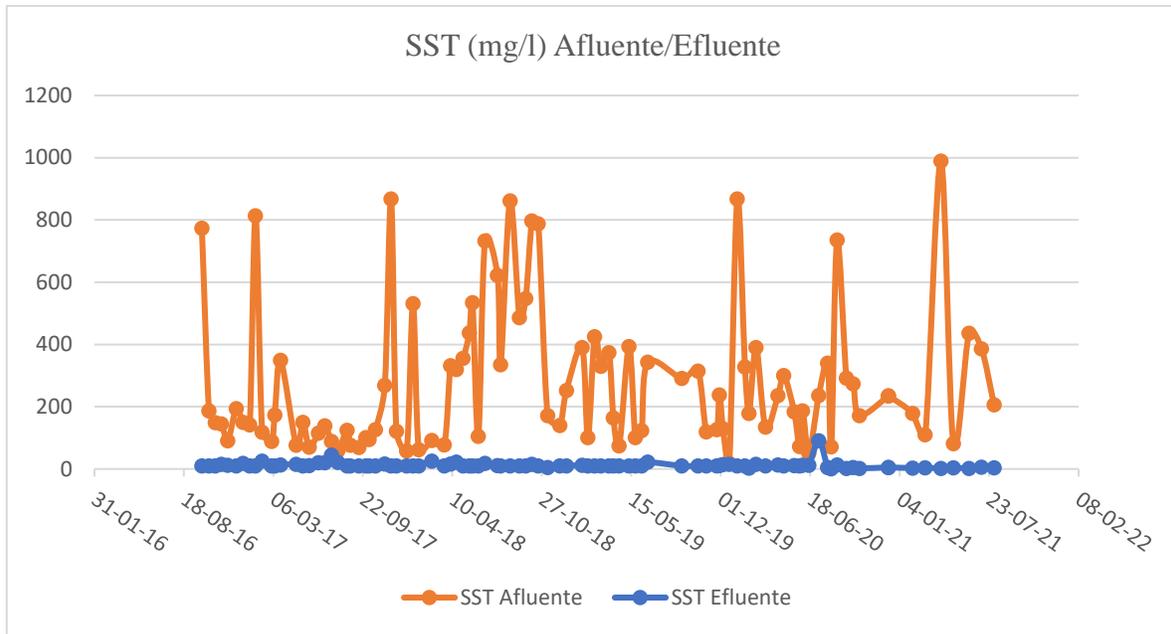


Figura 3-9. SST (mg/l) Afluente/Efluente Planta de Tratamiento Aguas Servidas

A continuación, se muestran las tablas y gráficos para tres plantas que se encuentran en funcionamiento en la actualidad, desde el inicio de operación en el mes de marzo hasta el mes de julio, periodo que se considera representativo para observar los resultados de la planta de tratamiento. Las plantas dan servicio a tres estaciones de servicio, las tres plantas tienen una capacidad de tratamiento de 100 m³/día.

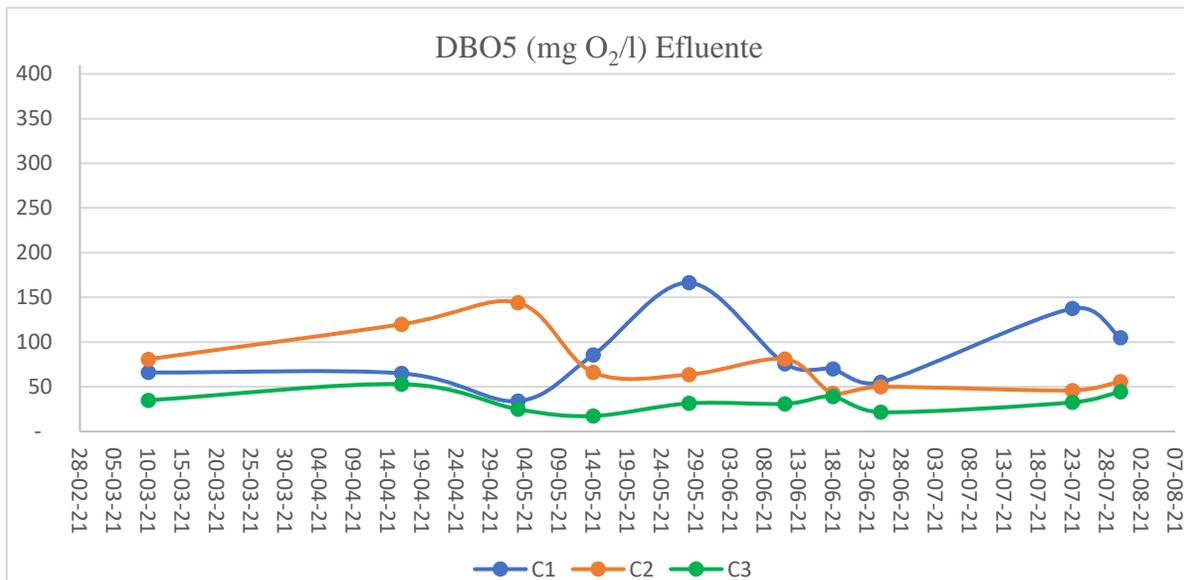


Figura 3-10. DBO5 Afluente/Efluente Plantas de Tratamientos Aguas Servidas C1, C2, C3

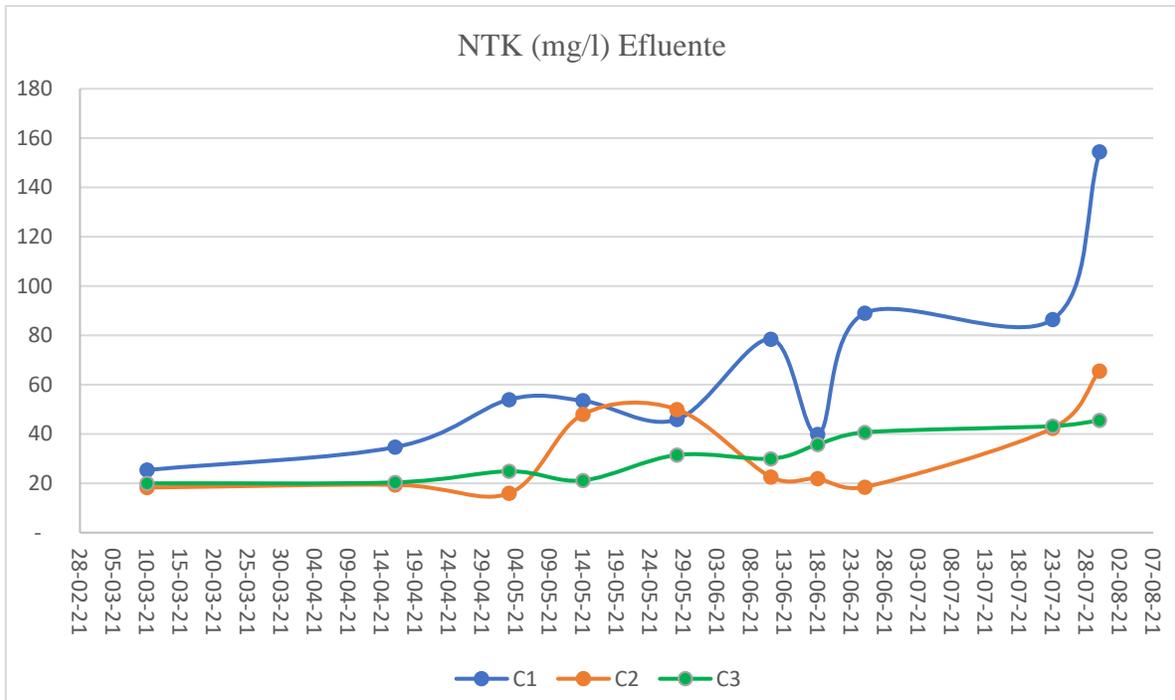


Figura 3-11. NTK (mg/l) Afluente/Efluente Plantas de Tratamientos Aguas Servidas C1, C2, C3

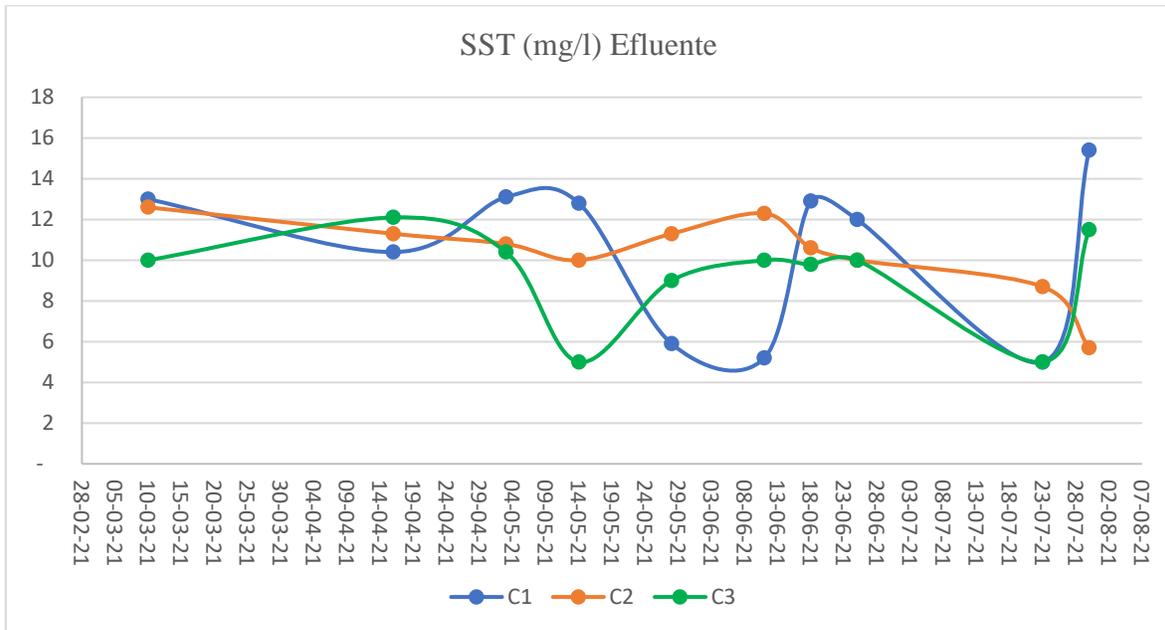


Figura 3-11. SST (mg/l) Afluente/Efluente Plantas de Tratamientos Aguas Servidas C1, C2, C3

Considerando que las plantas se encuentran ubicadas en Chile, la normativa de cumplimiento para el riego con aguas tratadas es la siguiente, ver tabla de cumplimiento de normativa.

Tabla 3-1. Calidad para Riego. Modificado Guía “Condiciones Básicas para la Aplicación de RILes de Agroindustrias en Riego. SAG 2010.

Parámetro	Unidad	Valores Máximos	
		Nch 1.330	Recomendados
Aceites y Grasas (AAyGG)	mg/l	-	10
Cloruros (Cl ⁻)	mg/l	200	300 (3)
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	Mg O ₂ /l	-	410
Detergentes	mg/l	-	0,5
Fósforo	mg/l	-	4,3 - 7,9 (4)
Nitrógeno Total (orgánico + inorgánico)	mg/l	-	30 (5)
pH	upH	5,5 - 9,0	5,5 - 8,5 (6)
Sólidos Suspendidos	mg/l	80	80
Temperatura	°C	-	35

En el análisis de calidad realizado, se muestra una excelente eliminación de Sólidos Suspendidos, una óptima reducción de la demanda biológica de oxígeno y una deficiente eliminación de Nitrógeno.

3.2.2 Filtros Verdes

Se han realizado diversas investigaciones en la Estación Depuradora de Redueña, EDAR de Redueña, con el fin estandarizar una metodología de diseño y control que permita optimizar su gestión, en la investigación se obtuvieron datos del afluente del filtro verde, la carga máxima semanal de DBO5 era de 2.036 e-h en 1997.

El filtro verde de Redueña está situado en un terreno baldío en el que se han plantado chopos (*Populus euroamericana*) por ser una especie higrófila y adecuada a las condiciones climáticas del entorno. El agua residual se reparte mediante surcos. El rendimiento del sistema de depuración se determina mediante el análisis del influente y de los lixiviados a diferentes profundidades. Los rendimientos medios obtenidos son del 85% para los sólidos

en suspensión, del 98% para la DBO₅, el 93% para la DQO y el 95% para el amonio (de Bustamante et al, 2001).

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de las experiencias realizadas en la parcela de Redueña, demuestran que la calidad de los efluentes infiltrados (de Bustamante et al, 2009).

Tabla 3-2. Tratamiento capacidad en la tierra aplicación sistema de Redueña. Tomado de De Bustamante et al, 2009

Parámetro	% de reducción	[C ₀]	[C _f]
DBO ₅ (mg/l)	98	166	3.3
QO D (mg/l)	93	286	20
Sólidos en suspensión (mg/l)	85	64	30.6
N (mg/l)	70	51	15
P (mg/l)	80	10	2

En los estudios realizados en las instalaciones que la Fundación CENTA tiene en Carrión de los Céspedes, Sevilla. El sistema de tratamiento se llevó a cabo mediante aireación prolongada, seguida de un filtro de arena con el fin de evitar problemas de colmatación en el sistema de riego. (de Miguel et al., 2012) Ver la Siguiete Figura.

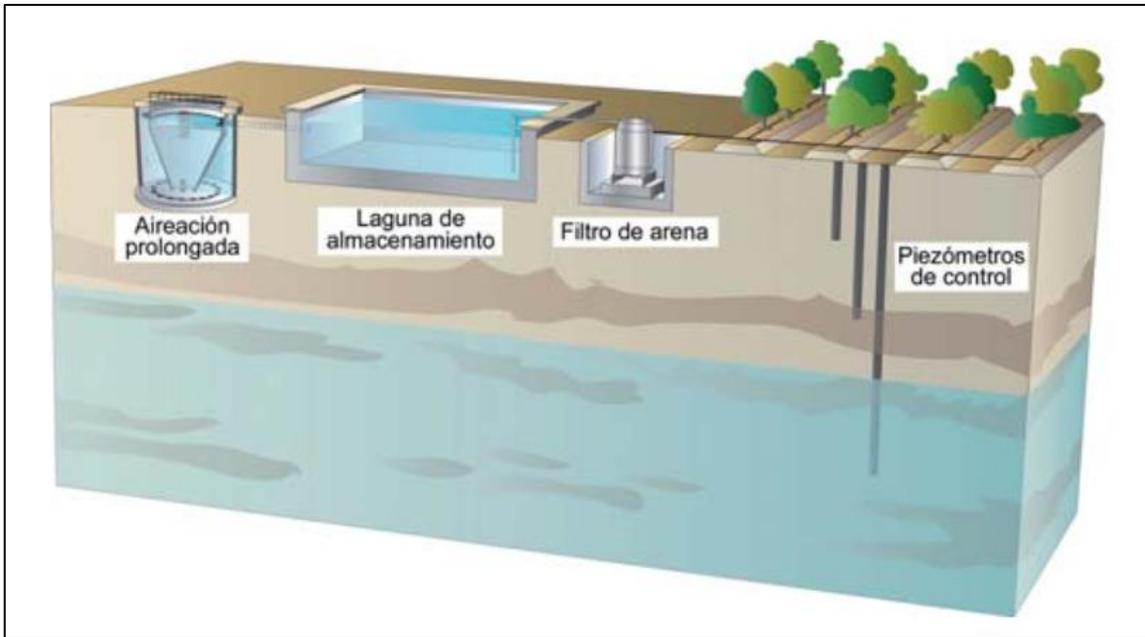


Figura 3-12. Filtro Verde Carrión de los Céspedes. Modificación De Miguel et al., 2012

En la siguiente figura se muestra las concentraciones de nitrógeno total a la entrada y salida del sistema de tratamiento de La Franca en Asturias.

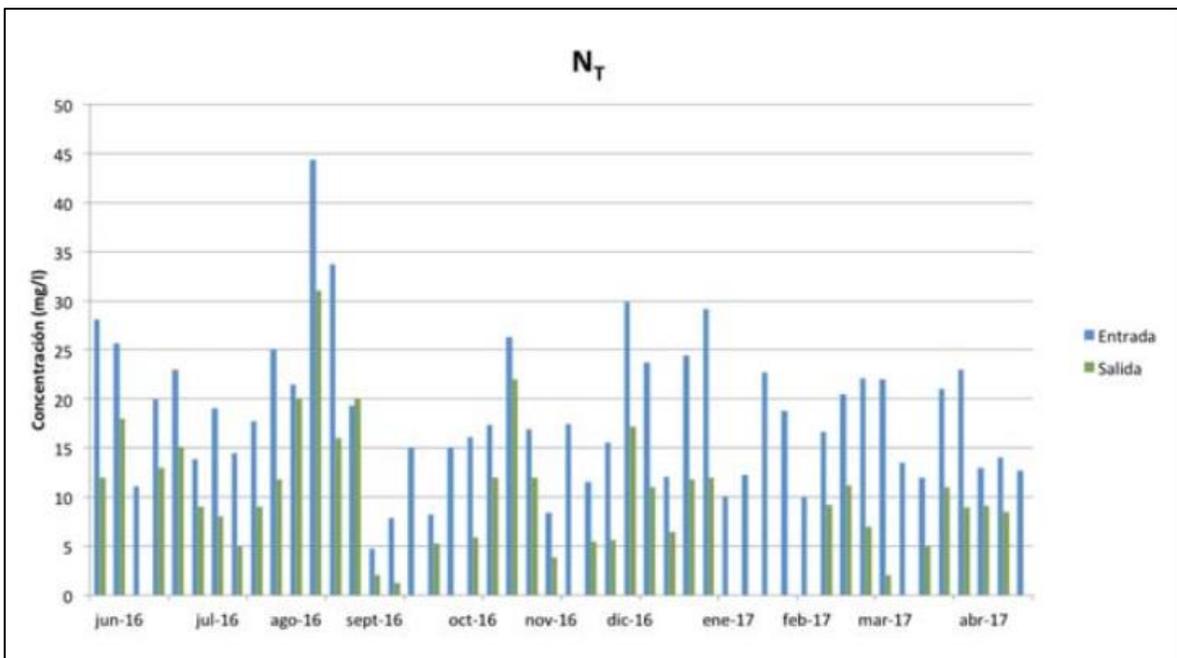


Figura 3-13. Concentración Nitrógeno Total Entrada y Salida La Franca. Modificado de Alvarez et al., 2010

Eliminación de Nitrógeno total

En la Figura 3-13 se muestran las concentraciones medias semanales de Nitrógeno Total NT de entrada y salida al FV durante el periodo analizado (junio 2016 – abril 2017). Se puede observar como existe una clara variación estacional del contenido de NT a la entrada del Filtro Verde. En general los meses que presentan concentraciones más elevadas son los meses de verano y los que coinciden con días festivos. La reducción en la concentración de NT a la salida del FV es evidente y los datos demuestran que el sistema es capaz de mantener en el tiempo rendimientos elevados, con hasta un 68% de eliminación (descartando los valores atípicos) mejorando claramente la calidad del vertido. La reducción de la concentración de NT se asocia a la asimilación por parte de las plantas, a la acumulación en el suelo y a la desnitrificación heterotrófica llevada a cabo por la comunidad microbiana, cuya actividad se estimula mediante el aporte de materia orgánica fácilmente asimilable (sustrato vegetal y virutas). La presencia de materia orgánica, además, favorece el establecimiento de condiciones anóxicas (sin oxígeno), requisito indispensable para que la desnitrificación tenga lugar. (Álvarez et al., 2017)

4. DESARROLLO DEL TRABAJO RESULTADOS

4.1 DOTACIÓN

Se ha realizado el cálculo de la dotación de una población hipotética de 250 habitantes que se considera representativa de poblaciones rurales y pequeños núcleos urbanos, siguiendo los criterios de la Tabla 4-1, se considera un valor de 280 l/h/día para una población menor a 2.000 habitantes y con actividad comercial media.

Tabla 4-1. Dotaciones De Referencia para Usos Conectados a Red General.

POBLACIÓN ABASTECIDA	ACTIVIDAD INDUSTRIAL-COMERCIAL DEL NUCLEO		
	ALTA	MEDIA	BAJA
Menos de 2.000 habitantes	-	280	220
De 2.000 a 50.000 habitantes	340	300	240
De 50.000 a 100.000 habitantes	320	290	260
De 100.000 a 500.000 habitantes	300	270	-
Mas de 500.000 habitantes	270	-	-

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, el caudal a considerar es de 70.000 l/día o 70 m³/día.

4.2 DIMENSIONAMIENTO

4.2.1 Lombrifiltro

Proyección de una Estación Depuradora de Aguas Residuales para 250 personas

Dimensionamiento del Lombrifiltro

Para el dimensionado del lecho biológico se considerará como caudal de diseño el calculado en el punto anterior:

$$Q_d = 70 \text{ m}^3/\text{día}$$

El diseño sistema de tratamiento biológico se fundamenta en dos factores: la tasa hidráulica (t_h), considerándose como tal el caudal máximo que el BioFiltro puede recibir por unidad de superficie, y la carga contaminante (t_c), considerándose como tal la máxima cantidad de DBO₅ que el BioFiltro puede recibir por unidad de superficie. Si se considera la carga hidráulica, se parte de que para aguas servidas la máxima carga hidráulica considerada, según

la experiencia, es de 600 l/m²/día, con lo que:

$$S_{min,t} = \frac{Q_d}{t_h} = \frac{70.000}{600} = 117 \text{ m}^2$$

Por otro lado, si se considera la carga contaminante, primeramente, es necesario calcular la cantidad de carga orgánica, en forma de demanda bioquímica de oxígeno, que se descargará sobre el BioFiltro:

$$c = Q_d \cdot DBO_5 = 70.000 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 28.000 \text{ g/día}$$

Partiendo de que la carga contaminante máxima, dada las características del ril, puede establecerse en 350 g DBO₅/m², se tiene lo siguiente:

$$S_{min,c} = \frac{c}{t_c} = \frac{28.000}{350} = 80 \text{ m}^2$$

Por tanto, la superficie mínima del BioFiltro será la máxima de las dos obtenidas, es decir:

$$S_{min} = \max\{S_{min,t}, S_{min,c}\} = \max\{117, 80\} = 117 \text{ m}^2$$

Así, buscando dimensiones óptimas para esa superficie mínima, se llega a que la dimensión del BioFiltro será de 12 metros de largo y 10 metros de ancho, con lo que su superficie será:

$$S = 10 \cdot 12 = 120 \text{ m}^2$$

Para optimizar el riego del sistema, se puede dividir el sistema en dos sectores distintos regados por bombas diferentes, lo cual permitirá seguir regando en caso de que alguna de las piscinas esté en mantención y no pueda recibir afluente.

4.2.2 Filtros Verdes

En el momento de diseñar un filtro verde, lo más importante a considerar, es que se va a añadir una cierta cantidad de agua que va a modificar el balance hídrico natural (el agua que se va a aplicar es la desechada por las actividades humanas de un núcleo urbano en el que existe un ingreso de agua natural, debido a la pluviometría, y otro de origen antrópico que es el agua para el suministro de las necesidades de la población) (de Bustamante et al., 2001).

Una vez realizado el análisis sobre las diferentes metodologías y criterios de diseño, se determina que el Filtro Verde óptimo sería el que incluye dos etapas. Para la primera etapa se utilizaría vegetación hidráulica de árboles y pastizales que funciona durante el período estival y con caudales máximos de aguas residuales, y la segunda etapa está cubierta por pastizales, que funciona durante el invierno y con menores caudales de aguas residuales (de Bustamante et al., 2009).

Para el correcto dimensionamiento del filtro verde no solo es necesario tener en cuenta el efluente de la planta de tratamiento, sino también las condiciones climáticas de la zona como datos de precipitación y evapotranspiración potencial para realizar un correcto balance hídrico.

Para el dimensionamiento del filtro verde se ha tomado como referencia la investigación realizada en la que se comparan de diferentes metodologías para el diseño de sistemas de aplicación de suelo, en la estación depuradora de aguas residuales de Redueña, donde se ha definido que para el correcto dimensionamiento del filtro verde no solo es necesario tener en cuenta el efluente de la planta de tratamiento, sino también las condiciones climáticas de la zona, datos de precipitación y evapotranspiración potencial para realizar un correcto balance hídrico (de Bustamante et al., 2009). Además, se estableció un concepto de multietapas que incluye dos etapas. Una primera etapa es con vegetación hidráulica de árboles y pastizales que funcionará durante el período estival y con caudales máximos de aguas residuales, y una segunda etapa está cubierta por pastizales, que funcionarán durante el invierno y con menores caudales de aguas residuales. Para este caso, donde se consideran variaciones estacionales de caudal y una población aproximada de 250 habitantes, la superficie más óptima ha sido de

0,75 hectáreas (de Bustamante et al., 2009).

4.3 ESQUEMA DE TRATAMIENTO

Se ha diseñado un sistema que integra ambas tecnologías buscando una sinergia en su operación. En la siguiente figura se muestra el Sistema de Tratamiento propuesto, donde el lombrifiltro se sitúa de forma previa con el objetivo de reducir al máximo los sólidos suspendidos y mejorar la calidad del efluente, lo que espera mejorar las condiciones del cultivo elegido para la realización del filtro verde.

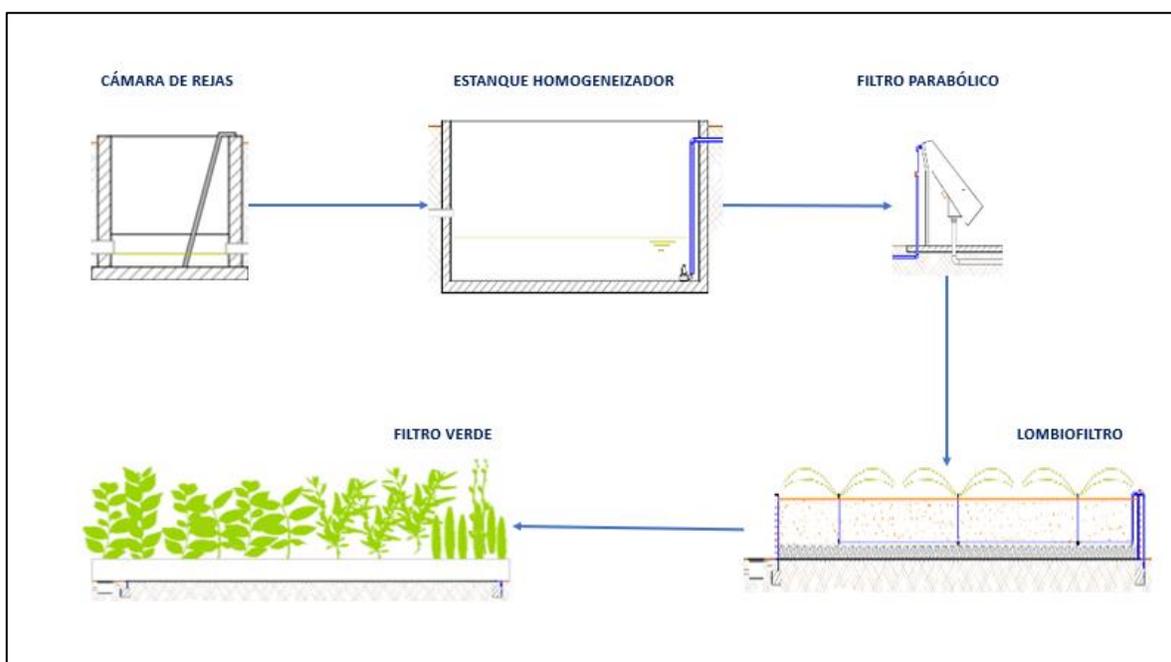


Figura 4-1. Esquema de Tratamiento de los Sistemas Integrados

El esquema de tratamiento propuesto se compone de las siguientes unidades:

1. Sistema de Rejas. Tiene la función de retener los sólidos más gruesos que se encuentran en las aguas residuales y que originarían obstrucciones en el sistema
2. Estanque Homogeneizador. Tiene la función de homogeneizar el afluente y evitar picos de caudal y carga sobre el sistema.
3. Filtro Parabólico. Tiene la función de retener sólidos finos que pueden suponer un problema para el funcionamiento de sistema.

4. Lombrifiltro. En este sistema en base a lombrices se reduce la carga orgánica y de nutrientes como el nitrógeno, y el fosforo.
5. Filtro Verde. Este sistema se basa en la infiltración y durante este proceso se produce una depuración.

Se plantean dos tipos de filtro verde:

Filtro verde convencional, que funciona como un humedal, donde se produce una recarga del acuífero por infiltración.

Filtro verde como sistema de descarga a un curso superficial, donde el filtro verde sustituye el ducto de descarga convencional, se instalará una canaleta con especies vegetales donde también se producirá una mejora sobre el efluente previa a la descarga final.

A) Especie de planta elegida para el filtro verde

La especie seleccionada es Piñón (*Jatropha curcas*), ya que tiene múltiples usos entre los que destaca la producción de biodiésel. Es un cultivo rústico, con poca necesidad de recurso hídrico y que se adapta con facilidad a suelos sin nutrientes bien drenados. Aunque por norma general es cultivado en seco, las experiencias en sistemas de riego demuestran una mejora sustancial de sus rendimientos (de Miguel et al., 2012).

El riego de esta especie con aguas regeneradas no tiene un impacto negativo a corto plazo, sin embargo, la calidad del agua del acuífero se vio ligeramente afectada en términos de nitrógeno total después del riego cuando se produjeron las lluvias, debido al proceso de lixiviación de nitrógeno (de Miguel et al, 2012). En el lombrifiltro se realizaría una eliminación de Nitrógeno Total, de forma previa al riego del cultivo.

4.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Considerando que el sistema se plantea para poblaciones rurales y pequeños núcleos urbanos que presentan un aumento de población en periodos vacacionales, las labores de mantenimiento más complejas se realizarán en periodos donde tengamos el caudal mínimo

para afectar lo menos posible la operación de la planta de tratamiento.

4.4.1 Pretratamiento

En primer lugar, se señalan las labores de operación y mantención afines a ambos sistemas que se realizan en el pretratamiento, que está compuesto por los siguientes elementos:

- Sistema de rejas donde se eliminan sólidos más gruesos, por lo que se realiza una limpieza de forma diaria para evitar la acumulación de sólidos y la obstrucción del caudal.
- Estaque homogeneizador, que tiene como función la acumulación del Afluente (Influente) y la homogeneización de este para evitar picos de caudal, es donde se realiza la regulación de pH si es que es necesaria.
- Filtro Parabólico para retener de sólidos más finos por lo que se realiza una limpieza de forma diaria para evitar la acumulación de sólidos y la obstrucción del caudal.

4.4.2 Lombrifiltro

Las labores de operación en el sistema Lombrifiltro dada su estructura son las siguientes:

- Horqueteo o arado del lecho, cada dos tres días, con la finalidad de que haya una aireación y no se produzcan condiciones anaerobias.
- Recambio de *chips* o viruta, el recambio de chips o viruta se realiza aproximadamente cada dos años, momento en el que el humus tiene la suficiente maduración
- Control y recambio de aspersores para evitar su obstrucción o mal funcionamiento.

4.4.3 Filtros Verdes

Las labores de operación en el sistema Filtro verde dada su estructura son las siguientes:

- Eliminación de la costra que se forma en la capa superficial del terreno.
- Poda de los árboles.
- Rotación de las parcelas de riego,
- Limpieza de los depósitos encargados de recoger la muestra,

- Inspección de los troncos, hojas y ramas de los árboles para detectar posibles plagas,
- Eliminación de las hierbas que crecen alrededor de los troncos de los árboles.

4.4.4 Tabla Resumen de Mantenimiento

A continuación, se muestra una tabla resumen con el mantenimiento de cada uno de los componentes de la planta de tratamiento.

Tabla 4-2. Mantenimiento del Sistema de Tratamiento

UNIDADES	DIARIA	SEMANAL	TRIMESTRAL	ANUAL
Cámara de reja	Extracción de sólidos retenidos	-	Vaciado y limpieza con agua a presión	-
Homogeneizador	Eliminación de flotantes	-	Vaciado y limpieza con agua a presión	-
Filtro parabólico	Extracción de sólidos retenidos Chequeo	-	Mantenimiento general del equipo Limpieza de sistema	-
Lombrifiltro	funcionamiento y eliminación de pozas	Horqueto del lecho	de irrigación y sistema de drenaje. Cámaras de inspección.	Renovación de viruta.
Filtro verde		Eliminación de la costra Rotación del cultivo	Eliminación de malas hierbas	Poda

5 DISCUSIÓN

5.1 FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LOS LOMBRIFILTROS Y FILTROS VERDES

Una vez realizado el análisis sobre ambos sistemas, se observa que existen debilidades y fortalezas de ambos sistemas para su operación de forma separada o de manera conjunta, en la siguiente tabla se resumen debilidades y fortalezas de los sistemas funcionando por separado.

Tabla 4-2. Debilidades y Fortalezas de los Sistemas de Tratamiento

LOMBRIFILTRO		FILTRO VERDE	
FORTALEZAS	DEBILIDADES	FORTALEZAS	DEBILIDADES
Bajo costo energético	Extensa superficie de terreno para su instalación	Bajo costo energético	Extensa superficie de terreno para su instalación
No generan impactos negativos de ruido y olor	Protección de las condiciones climáticas	No generan impactos negativos de ruido y olor	Requiere estudios específicos sobre la edafología del lugar
No se generan Lodos sino Humus	Puede presentar problemas para la eliminación de Nitrógeno	Fácil Operación	Puede haber colmatación por sólidos
Fácil Operación			Puede presentar problemas para la eliminación de Nitrógeno

Tanto los lombrifiltros como los filtros verdes son sistemas de tratamiento que tienen un bajo costo energético, al no necesitar sistemas de aireación y otros dispositivos que consumen energía, lo que además de suponer un ahorro energético, reduce los costes de operación.

Es de gran relevancia considerar la extensión de terreno que se utilizará para la instalación del proyecto, considerando un caso hipotético con una población de 250 habitantes, necesitaríamos aproximadamente 0,75 ha para el filtro verde y 170 m² para el lombrifiltro. La elección de una especie vegetal que tenga un valor social y económico es un factor clave para la optimización del filtro verde, por esto se propone una especie (*Jatropha curcas*), con un enfoque de futuro a la producción de biodiesel.

5.2 OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FORMA INTEGRADA

Del funcionamiento de ambos sistemas de forma integrada se prevé un resultado positivo, en cuanto a calidad del efluente, ya que en primera instancia tendríamos una excelente disminución de Sólidos Suspendidos Totales (SST), por parte del lombrifiltro, evitando así colmatación por sólidos dentro del filtro verde, también existe una buena disminución de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), mejorando así la calidad del agua de riego, sin embargo, la reducción del Nitrógeno Total (NT) ha sido deficiente, lo que no sería un inconveniente para la operación del filtro verde ya que parte de este nitrógeno es asimilado por las plantas y se evitaría la su infiltración en el acuífero.

Para el funcionamiento de ambos sistemas de forma integrada también, existen algunos inconvenientes entre los que destacaría el aumento de costes sobre el proyecto original y la extensa superficie de terreno que es necesaria para su funcionamiento.

6 CONCLUSIONES

Del análisis realizado y la discusión planteada, se concluye que el proyecto “Sistema Integrado de Lombrifiltros y Filtros Verdes para el tratamiento de las Aguas Residuales”, es viable y podría ser operado en la siguiente secuencia:

1. Sistema de Rejas. Tiene la función de retener los sólidos más gruesos que se encuentran en las aguas residuales y que originarían obstrucciones en el sistema
2. Estanque Homogeneizador. Tiene la función de homogeneizar el afluente y evitar picos de caudal y carga sobre el sistema.
3. Filtro Parabólico. Tiene la función de retener sólidos finos que pueden suponer un problema para el funcionamiento de sistema.
4. Lombrifiltro. En este sistema en base a lombrices se reduce la carga orgánica y de nutrientes como el nitrógeno, y el fosforo.
5. Filtro Verde. Este sistema se basa en la infiltración y durante este proceso se produce una depuración.

Para la operación de los sistemas de forma integrada se aprovechan las fortalezas de cada uno de los sistemas con una relación sinérgica, se destacan las ventajas ambientales del uso de este sistema, donde se evitan impactos de ruido y olor, no hay generación de lodos y también se reduce la adicción de químicos.

Por otro lado, no existen estudios previos que avalen la instalación y operación de este tipo de sistemas funcionando de forma conjunta. La instalación de un piloto de prueba y el monitoreo ambiental de este piloto, mediante análisis de calidad periódicos durante un periodo de tiempo prolongado podría generar resultados más concluyentes respecto a este proyecto.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez A., Meffe R., Pérez A., Díaz A., Terrero P., Campos E., Bustamante I. (2017). Regeneración de aguas tratadas mediante filtros verdes intensivos. *Revista Técnica de Medio Ambiente* N° 199 (pp 78-85)
- Comisión Europea. Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medias colectividades (500-5.000 H.E) .Guía : aplicación de la directiva del Consejo n° 91/271 del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas urbanas residuales.
- De Bustamante, I.; Alpuente, J.; Sanz, J.; López, P.; Dorado, M.; López, F., Roquero, E. (2001). Nueva Metodología de Diseño, Control y Gestión de Filtros Verdes. Aplicación a Sistemas en Funcionamiento. VII Simposio de Hidrogeología (pp 585-594).
- Salazar I. (2005) Tesis Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela de Construcción Civil
- De Bustamante I., Lillo, J., Sanz, J., de Miguel, A., García, E., Carreño, F., Gómez, D., Martín, T., Martínez, F., Corvea J. (2009). A comparison of different methodologies for designing land application systems: Case study at the Redueña WWTP. *Desalination and Water Treatment* (pp 98-102).
- De Miguel, A., Martínez-Hernández, V., Leal, A., González-Naranjo, V., De Bustamante I. (2012) Del residuo al recurso: Reutilización de aguas para riego de biocombustibles. *InfoEnviro* (pp 1-3)
- De Miguel, A., Martínez, V., Leal, A., González-Naranjo, V., de Bustamante, I., Lillo, J., Martín, E., Salas, J.J., Palacios-Díaz, M.P. (2013) Short-term effects of reclaimed water irrigation: *Jatropha curcas* L. cultivation. *Ecological Engineering. The Journal of Ecosystem Restoration.* (pp 44-51).

- Servicio agrícola Ganadero de Chile (2010). Guía: Condiciones Básicas para la Aplicación de RILes de Agroindustrias en Riego

LISTADO DE PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- <https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/nuestrosparques/daimiel/visita-virtual/flora/Taray.aspx> (25-08-2021)
- <https://www.arbolapp.es/especies> (25-08-2021)
- <https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedienteEvaluación.php?modo=ficha&idexpediente=2131946650> Ficha del Proyecto: Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de la Localidad de Llallauquén (sea.gob.cl)
- <https://www.iagua.es/noticias/espana/instituto-imdea-agua/17/06/09/sauces-depurar-agua-residual>

8 ANEXOS

Se incluyen análisis de calidad utilizados para la realización de los gráficos de calidad.



Área de Aguas, Alimentos y Análisis Químicos
Unidad de Análisis de Aguas y Riles
Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA)
Código SMA N°016-01

Informe N° 1534778
03 de Enero de 2020

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL SOLICITANTE, TITULAR, MUESTREO Y OTROS:

Identificación del Titular
Nombre del proyecto
Instrumento Ambiental aplicable
Identificación del Solicitante
Atención
Actividad a realizada
Dirección del Muestreo
Emplazamiento del Muestreo
Coordenadas UTM del emplazamiento
Muestra
N° Interno del Laboratorio
Fechas del Muestreo
Fecha de Recepción

RESULTADOS DE LABORATORIO:

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Aceites y Grasas (mg/L)	103.48	12-12-19	*SM 5220 B Of.2012
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	624	06-12-19	NCh 2313/5 Of.2005
Fosforo (mg/L)	7.14	16-12-19	NCh 2313/25 Of.1997
Nitrogeno Total Kj (mg/L)	61.0	20-12-19	NCh 2313/28 Of.2009
Sólidos Suspendedos (mg/L)	130	06-12-19	NCh 2313/3 Of.1995
pH	7.0	06-12-19	IE-E.13-CHA basado en la NCh 2313/1 Of.95

RESULTADOS DE TERRENO:

Procedimiento de muestreo y composición de muestra: según se indica en la N.Ch. 411/10 Of. 2005. La composición de la muestra se realiza mediante alícuotas isovolumétricas provenientes de cada uno de los envases utilizados en el robot de muestreo.

a.) Determinaciones: en las muestras Puntuales:

Frecuencia de los Aforos: 1 hora

Hora	Fecha	Muestra N°	pH	Temperatura (°C)
21:00	05-12-2019	1	7.70	29.5
22:00	05-12-2019	2	7.30	28.5
23:00	05-12-2019	3	6.90	28.0
00:00	06-12-2019	4	6.60	28.5
01:00	06-12-2019	5	7.20	28.5
02:00	06-12-2019	6	7.40	29.5
03:00	06-12-2019	7	7.10	31.0
04:00	06-12-2019	8	7.00	29.0
05:00	06-12-2019	9	6.90	28.5
06:00	06-12-2019	10	6.60	28.5
07:00	06-12-2019	11	6.50	28.5
08:00	06-12-2019	12	7.30	30.0

INFORME DE ENSAYO

DATOS DEL SOLICITANTE, TITULAR, MUESTREO Y OTROS:

Identificación del Titular
Nombre del proyecto
Instrumento Ambiental aplicable
Identificación del Solicitante
Atención
Actividad a realizada
Dirección del Muestreo
Emplazamiento del Muestreo
Coordenadas UTM del emplazamiento
Muestra
N° Interno del Laboratorio
Fechas del Muestreo
Fecha de Recepción

RESULTADOS DE LABORATORIO:

Parámetros	Valor Medido	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Aceites y Grasas (mg/L)	1,72	12-12-19	NCh 2313/6 Of.97
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	28,6	06-12-19	NCh 2313/5 Of 2005
Fosforo (mg/L)	2,32	16-12-19	NCh 2313/25 Of.1997
Nitrogeno Total Kj (mg/L)	4,03	20-12-19	NCh 2313/28 Of 2009
Sólidos Suspendidos (mg/L)	14	06-12-19	NCh 2313/3 Of.1995
pH	7,5	06-12-19	IE-E.13-CHA basado en la NCh 2313/1 Of.95

RESULTADOS DE TERRENO:

Procedimiento de muestreo, composición de muestra y medición de caudal: según se indica en la N.Ch. 411/10 Of. 2005. El caudal se determina mediante el método de área velocidad. La composición de la muestra se realiza mediante alícuotas proporcionales al caudal, provenientes de cada uno de los curvas utilizados en el robot de muestreo.

a.) Determinaciones en las muestras: Puntuales:

Tipo Conducto: Tubería		Diámetro (mm): 300		Frecuencia de los Aforos: 1 hora			
Hora	Fecha	Muestra N°	pH	Temp. (°C)	Altura (cm)	Velocidad (m/s)	Caudal (L/s)
22:00	05-12-19	1	7,00	28,7	4,4	0,08	1,41
23:00	05-12-19	2	7,40	28,8	4,5	0,09	1,66
00:00	06-12-19	3	7,40	29,0	4,5	0,08	1,61
01:00	06-12-19	4	7,40	29,1	4,6	0,23	5,45
02:00	06-12-19	5	7,30	29,2	4,6	0,29	7,25
03:00	06-12-19	6	7,30	29,3	4,4	0,20	4,70
04:00	06-12-19	7	7,50	29,4	4,1	0,07	1,38
05:00	06-12-19	8	8,20	29,4	4,1	0,06	0,96
06:00	06-12-19	9	8,00	29,5	4,2	0,03	0,45
07:00	06-12-19	10	7,60	29,5	4,9	0,06	0,95
08:00	06-12-19	11	7,60	29,2	4,2	0,04	0,93
09:00	06-12-19	12	7,60	28,4	3,1	0,06	1,52

Volumen de Descarga durante el monitoreo (VD) (m³): 101,85

INFORME DE ENSAYO N° 3909258

N° de Muestra	3909258
Fecha Emisión Informe	12/05/2021
Entidad	Laboratorio Biodiversa Concepción
Dirección	Arrau Mendez sh, Recinto La Mochita, Pedro de Valdivia, Concepción. Fono: (56) 41-2347854.
Página	Página 1 de 2

IDENTIFICACION DEL CLIENTE

Nombre Titular
Solicitante
Dirección
Comuna

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra
Punto de Control
Dirección de Muestreo
Tipo de Muestreo
Fecha Inicio de Muestreo
Fecha de Recepción
Responsable Recolección

RESULTADOS DE ANALISIS

Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido	DS-90 Tabla N°1	Fecha y Hora Inicio Ensayo	Fecha y Hora Fin Ensayo	Horas de envase	Método de Ensayo
Aceites y Grasas (H)	mg/L	<14	20	04/05/2021 09:18	07/05/2021 17:56	20,9	NCh2313/06 Of.2015
Conductividad (B)	uS/cm	519 a 25°C		04/05/2021 08:00	04/05/2021 13:00	19,6	SM 23th/2510 B
Coliformes Fecales (I)	NMP/100 ml	<2,0 E+00	1000	04/05/2021 08:45	06/05/2021 09:00	20,3	SM 22th/9221BE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (B)	mg/L	34,10	35	04/05/2021 08:10	09/05/2021 12:00	19,7	NCh2313/05. Of05
Demanda Química de Oxígeno (D)	mg/L	97,00		04/05/2021 08:00	04/05/2021 10:30	19,6	NCh2313/24 Of.97
Nitrógeno Kjeldahl (D)	mg/L	54,0	50	04/05/2021 09:18	07/05/2021 17:56	20,9	NCh2313/28 Of.2009
Sólidos Suspendedos Totales (B)	mg/L	13,1	80	04/05/2021 08:00	04/05/2021 14:30	19,6	NCh2313/03 Of.95

Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de BIODIVERSA S.A.
El laboratorio sólo se hace responsable por los resultados de las muestras ensayadas.



INFORME DE ENSAYO N° 3909117

N° de Muestra	3909117
Fecha Emisión Informe	12/05/2021
Entidad	Laboratorio Biodiversa Concepción
Dirección	Arrau Mendez s/n, Recinto La Mochita, Pedro de Valdivia, Concepción. Fono: (56) 41-2347854.
Página	Página 1 de 2

IDENTIFICACION DEL CLIENTE

Nombre Titular

Solicitante

Dirección

Comuna

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra

Punto de Control

Dirección de Muestreo

Tipo de Muestreo

Fecha Inicio de Muestreo

Fecha de Recepción

Responsable Recolección

RESULTADOS DE ANALISIS

Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido	DS-90 Tabla N°1	Fecha y Hora Inicio Ensayo	Fecha y Hora Fin Ensayo	Horas de envase	Método de Ensayo
Aceites y Grasas (H)	mg/L	<14	20	04/05/2021 09:18	07/05/2021 17:56	24,1	NCh2313/06 Of.2015
Conductividad (B)	uS/cm	143 a 25°C		04/05/2021 08:00	04/05/2021 13:00	22,8	SM 23th/2510 B
Coliformes Fecales (I)	NMP/100 ml	<2,0 E+00	1000	04/05/2021 08:45	06/05/2021 09:00	23,6	SM 22th/9221BE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (B)	mg/L	24,80	35	04/05/2021 08:10	09/05/2021 12:00	23,0	NCh2313/05. Of05
Demanda Química de Oxígeno (D)	mg/L	67,00		04/05/2021 08:00	04/05/2021 10:30	22,8	NCh2313/24 Of.97
Nitrógeno Kjeldahl (D)	mg/L	24,9	50	04/05/2021 09:18	07/05/2021 17:56	24,1	NCh2313/28 Of.2009
Sólidos Suspendidos Totales (B)	mg/L	10,4	80	04/05/2021 08:00	04/05/2021 14:30	22,8	NCh2313/03 Of.95

Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de BIODIVERSA S.A.
 El laboratorio sólo se hace responsable por los resultados de las muestras ensayadas.



INFORME DE ENSAYO N° 4066830

N° de Muestra	4066830
Fecha Emisión Informe	02/08/2021
Entidad	Laboratorio Biodiversa Concepción
Dirección	Arrau Mendez s/n, Recinto La Mochita, Pedro de Valdivia, Concepción. Fono: (56) 41-2347854.
Página	Página 1 de 2

IDENTIFICACION DEL CLIENTE

Nombre Titular
 Solicitante
 Dirección
 Comuna

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra
 Punto de Control
 Dirección de Muestreo
 Tipo de Muestreo
 Fecha Inicio de Muestreo
 Fecha de Recepción
 Responsable Recolección

RESULTADOS DE ANALISIS

Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido	DS-90 Tabla N°1	Fecha y Hora Inicio Ensayo	Fecha y Hora Fin Ensayo	Horas de envase	Método de Ensayo
Aceites y Grasas (H)	mg/L	<14	20	24/07/2021 08:15	29/07/2021 17:28	23,4	NCh2313/06 Of.2015
Conductividad (B)	uS/cm	723 a 25°C		24/07/2021 08:00	24/07/2021 10:00	23,1	SM 230b/2510 B
Coliformes Fecales (I)	NMP/100 ml	<2,0 E+00	1000	24/07/2021 09:00	26/07/2021 09:00	24,1	NCh2313/22. Of.95
Demanda Bioquímica de Oxígeno (B)	mg/L	32,67	35	24/07/2021 08:15	29/07/2021 13:00	23,4	NCh2313/05. Of.05
Demanda Química de Oxígeno (D)	mg/L	77,00		24/07/2021 08:00	24/07/2021 10:30	23,1	NCh2313/24 Of.97
Nitrógeno Kjeldahl (D)	mg/L	43,2	50	24/07/2021 08:15	27/07/2021 17:19	23,4	NCh2313/28 Of.2009
Sólidos Suspendidos Totales (B)	mg/L	<5,0	80	24/07/2021 08:00	24/07/2021 12:50	23,1	NCh2313/03 Of.95

Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la aprobación escrita de BIODIVERSA S.A.
 El laboratorio sólo se hace responsable por los resultados de las muestras ensayadas.

