



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



UPCT

Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería Agronómica



ETSIA

*Grado en Ingeniería Agronómica  
y de Sistemas Biológicos*

# **Diseño y construcción de un sistema de bio-purificación para la gestión de residuos de fitosanitarios en la ESEA Tomás Ferro**

**Autor:** D. Francisco Javier Gabarrón Leyva

**Dirección:** D. Bernardo Martín Górriz

**Codirección:** D. Jesús Ochoa Rego

Cartagena, Enero de 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi profesor de varias asignaturas y director de este trabajo Bernardo Martín por su ayuda a lo largo de estos años, por todo lo que me ha enseñado, por su interés, colaboración y por toda la confianza que ha depositado en mí.

A mi codirector Jesús Ochoa, por aceptar colaborar en este trabajo, por su ayuda y por sus consejos.

También me gustaría agradecer por su inestimable colaboración al personal de la ESEA Tomás Ferro, especialmente a Francisco y a José, que me han ayudado en el montaje y mantenimiento y supervisión del sistema de bio-purificación diseñado.

Por último, a mi familia, amigos cercanos y compañeros por estar siempre a mi lado y por su constante apoyo.

## RESUMEN

La aplicación de productos fitosanitarios se ha convertido en estas últimas décadas en un recurso esencial para el control de organismos perjudiciales para la agricultura. Sin embargo, el uso de estos conlleva un importante riesgo para la salud y el medio que les rodea como consecuencia de su elevada toxicidad y persistencia.

El riesgo de contaminación de los recursos hídricos se asocia a fuentes difusas o no puntuales, como pueden ser la escorrentía y deriva en la aplicación. Sin embargo, las fuentes puntuales también contribuyen de manera significativa a la contaminación a través de actividades como la limpieza interior y exterior del equipo de tratamiento fitosanitario, eliminación de volumen sobrante, etc. Para solucionar este problema, es necesaria la gestión de estos volúmenes de residuos mediante técnicas que permitan reducir o eliminar las sustancias tóxicas que los integran.

El objetivo de este trabajo ha sido el de diseñar y construir un sistema de bio-purificación sencillo y de bajo costo en la ESEA Tomás Ferro para la gestión de los residuos fitosanitarios procedentes de la actividad en la finca. El sistema propuesto cuenta con una mezcla de sustratos con determinados microorganismos adaptados que actúan mediante procesos de biodegradación para la eliminación de las materias activas. El proceso consta de tres pasos: (1) recogida de los residuos, (2) transporte al depósito de almacenamiento, y (3) distribución en la mezcla activa para su degradación.

Para el diseño y dimensionamiento del sistema se ha tenido en cuenta las características climatológicas, las características de la explotación y las instalaciones existentes. El sistema de bio-purificación diseñado está compuesto por dos contenedores donde se encuentra el sustrato activo y donde se utiliza una cubierta de vegetación con tres especies diferentes y dos sistemas de riego.

En el sistema de bio-purificación se realizaron ensayos durante 10 meses. Como conclusiones del trabajo cabe destacar que mediante la distribución por goteo se obtienen un mejor desarrollo de la cubierta vegetal; que las tres especies empleadas dieron resultados satisfactorios; y que, a un precio competitivo frente a otras opciones, el sistema ha demostrado ser una herramienta eficiente para la gestión de residuos, cumpliendo con las necesidades de la ESEA Tomás Ferro con un coste económico inferior a la recogida y gestión de los residuos por una empresa autorizada.

# INDICE

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Productos fitosanitarios .....	2
1.1.1. Uso de productos fitosanitarios en España .....	4
1.2. Legislación .....	5
1.3. Riesgos derivados de la utilización de productos fitosanitarios .....	6
1.4. Comportamiento de los productos fitosanitarios en el medio ambiente.....	7
1.4.1. Procesos de transporte .....	9
1.4.1.1. Adsorción .....	9
1.4.1.2. Lixiviación .....	9
1.4.1.3. Volatilización .....	10
1.4.1.4. Absorción por plantas y microorganismos.....	10
1.4.1.5. Escorrentía.....	10
1.4.1.6. Erosión .....	11
1.5. Contaminación de las aguas .....	11
<b>2. Justificación y objetivos .....</b>	<b>12</b>
2.1. Justificación.....	12
2.2. Objetivos.....	13
<b>3. Características y elementos para el diseño de un sistema de bio-purificación</b>	<b>15</b>
3.1. Introducción a los sistemas de bio-purificación .....	15
3.2. Tipos de sistemas.....	15
3.2.1. Sistema “Biobed”.....	15
3.2.2. Sistema “biofilter” .....	17
3.3. Elementos del diseño del sistema .....	19
3.3.1. Área de llenado y limpieza .....	19
3.3.2. Deposito colector .....	20

3.3.3.	Incorporación del agua residual al sistema de bio-purificación.....	21
3.3.4.	Impermeabilización del sistema.....	22
3.3.5.	Cubierta para la lluvia.....	22
3.3.6.	Drenaje del sistema.....	22
3.3.7.	Vegetación en el sistema.....	23
3.4.	Gestión del sustrato activo después de su uso.....	24
3.5.	Proceso de degradación.....	24
3.5.1.	Degradación química.....	25
3.5.2.	Biodegradación.....	26
3.5.3.	Fotodegradación.....	28
3.6.	Consideraciones para el dimensionamiento del sistema.....	29
3.6.1.	Factores que determinan el volumen a tratar.....	29
3.6.2.	Limpieza interna del pulverizador y restos de tratamiento.....	30
3.6.3.	Limpieza externa del equipo de tratamiento.....	32
<b>4.</b>	<b>Dimensionamiento de la instalación para la ESEA Tomás Ferro.</b> .....	<b>33</b>
4.1.	Características de la explotación.....	33
4.1.1.	Tratamientos fitosanitarios.....	35
4.1.2.	Volumen de residuos generados.....	36
4.2.	Dimensionamiento.....	38
4.2.1.	Tamaño y esquema del sistema.....	38
4.2.2.	Contenedor, estructura y cubierta.....	39
4.2.3.	Mezcla de sustrato seleccionada.....	39
4.2.4.	Cubierta vegetal.....	40
4.2.5.	Distribución del agua contaminada.....	40
<b>5.</b>	<b>Adquisición de los materiales y montaje</b> .....	<b>41</b>
5.1.	Materiales.....	41
5.1.1.	Depósito.....	41

5.1.2.	Contenedores .....	41
5.1.3.	Estructura y cubierta .....	42
5.1.4.	Materiales para el riego.....	43
5.1.5.	Materiales para la instalación eléctrica .....	44
5.1.6.	Planta seleccionada y sustrato.....	45
5.2.	Montaje.....	46
5.2.1.	Colocación de la estructura y cubierta.....	46
5.2.2.	Drenaje y biomezcla .....	47
5.2.3.	Instalación eléctrica .....	48
5.2.4.	Plantación de la cubierta vegetal .....	50
5.2.1.	Instalación de riego.....	51
5.3.	Costes de la instalación .....	52
<b>6.</b>	<b>Puesta en marcha y seguimiento del sistema .....</b>	<b>55</b>
6.1.	Puesta en marcha del sistema .....	55
6.2.	Evolución tras un mes de funcionamiento.....	55
6.3.	Evolución tras dos meses de funcionamiento.....	57
6.4.	Evolución tras tres meses de funcionamiento.....	59
6.5.	Evolución tras seis meses de funcionamiento .....	61
6.6.	Evolución tras ocho meses de funcionamiento.....	63
6.7.	Evolución tras 10 meses de funcionamiento .....	65
<b>7.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>68</b>
7.1.	Evaluación del sistema de riego .....	68
7.2.	Evaluación de las especies plantadas.....	71
7.3.	Evaluación económica.....	72
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>74</b>
<b>9.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>75</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del caldo a emplear en los tratamientos fitosanitarios vía líquida. .....	3
Figura 2. Principales grupos de productos fitosanitarios comercializados en España (Año 2016).....	4
Figura 3. Evolución del mercado fitosanitario en España (2011-2015).....	5
Figura 4. Procesos que afectan a los productos fitosanitarios en el medio ambiente.....	8
Figura 5. Ejemplo de sistema "biobed" en una explotación. ....	16
Figura 6. Esquema de un sistema "biobed" utilizado como zona de llenado y limpieza. .....	17
Figura 7. Ejemplo de sistema "biofilter" en una explotación. ....	18
Figura 8. Esquema de un sistema "biofilter". ....	19
Figura 9. Sistema biobed utilizado como zona de limpieza. ....	20
Figura 10. Distribución del agua a tratar en la superficie de un biobed utilizando mangueras de riego por goteo.....	21
Figura 11. Esquema representativo del sistema cerrado y abierto. ....	23
Figura 12. Influencia en la degradación de un herbicida en función de la temperatura del sustrato activo. ....	27
Figura 13. Influencia de la humedad del sustrato activo sobre la degradación de un herbicida. ....	27
Figura 14. Imagen aérea de la ESEA Tomás Ferro. ....	33
Figura 15. Zona de llenado y limpieza en ESEA Tomás Ferro. ....	34
Figura 16. Equipo de tratamiento fitosanitario de la ESEA Tomás Ferro.....	35
Figura 17. Esquema simplificado del sistema de bio-purificación diseñado. ....	38
Figura 18. Depósito del sistema de bio-purificación.....	41
Figura 19. Contenedor del sistema de bio-purificación.....	42
Figura 20. Estructura para el soporte de la cubierta. Medidas exteriores.....	43

Figura 21. Bomba sumergible para alimentación del sistema. ....	44
Figura 22. Montaje de la estructura y cubierta. ....	47
Figura 23. Incorporación de grava y mezcla de sustratos.....	48
Figura 24. Esquema para automatización de drenaje de agua. ....	49
Figura 25. Instalación eléctrica en la caja de conexiones.....	49
Figura 26. Plantación de la cubierta vegetal.....	50
Figura 27. Tuberías de distribución del agua contaminada. ....	51
Figura 28. Resultados tras un mes de funcionamiento. Riego por aspersión. ....	56
Figura 29. Resultado tras un mes de funcionamiento. Riego por goteo.....	57
Figura 30. Resultados tras dos meses de funcionamiento. Riego por aspersión. ....	58
Figura 31. Resultados tras dos meses de funcionamiento. Riego por goteo. ....	58
Figura 32. Resultados tras tres meses de funcionamiento. Riego por aspersión. ....	60
Figura 33. Resultados tras tres meses de funcionamiento. Riego por goteo. ....	60
Figura 34. Sistema de bio-purificación tras 3 meses de funcionamiento. ....	61
Figura 35. Resultados tras seis meses de funcionamiento. Riego por aspersión.....	62
Figura 36. Resultados tras seis meses de funcionamiento. Riego por goteo. ....	62
Figura 37. Resultados tras ocho meses de funcionamiento. Riego por aspersión. ....	63
Figura 38. Resultados tras ocho meses de funcionamiento. Riego por goteo. ....	64
Figura 39. Sistema de bio-purificación tras ocho meses de uso.....	64
Figura 40. Sistema de bio-purificación tras diez meses de funcionamiento. ....	65
Figura 41. Resultados tras diez meses de funcionamiento. Riego por aspersión. ....	66
Figura 42. Resultados tras diez meses de funcionamiento. Riego por goteo. ....	67
Figura 43. Cálculo del área de la cubierta vegetal con 6 meses de desarrollo a través de “imageJ”. ....	70
Figura 44. Evolución del área de la cubierta vegetal según el método de riego. ....	71

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución del gasto mundial en protección de cultivos (%).....	1
Tabla 2. Eficiencia obtenida por un sistema de bio-purificación con distintas mezclas de productos. ....	25
Tabla 3. Máximo volumen residual para pulverizadores hidráulicos (barras) .....	31
Tabla 4. Máximo volumen residual para pulverizadores hidroneumáticos (atomizadores) .....	31
Tabla 5. Coste de los materiales utilizados por capítulos.....	53
Tabla 6. Coste de la mano de obra.....	53
Tabla 7. Coste de la maquinaria. ....	53
Tabla 8. Coste total del sistema de bio-purificación. ....	54

## 1. Introducción

La agricultura se encarga de proporcionar productos vegetales para una alimentación estable de la población con una calidad y cantidad óptimas mientras que el agricultor ha de obtener un beneficio económico por ello. Para que esto sea posible es imprescindible una correcta protección de los cultivos, donde el uso de productos fitosanitarios es el más destacado.

La utilización de productos fitosanitarios es hoy en día indispensable para conseguir los siguientes objetivos:

- Aumento en la productividad de las explotaciones.
- Mayor garantía sanitaria para el consumidor.
- Mayor calidad de los alimentos.

La distribución del gasto mundial en protección de cultivos es:

<b>Productos fitosanitarios sintéticos clásicos</b>	80,50 %
<b>Material vegetal resistente</b>	18,50 %
<b>Toxinas de hongos y bacterias</b>	0,35 %
<b>Productos fitosanitarios de origen botánico</b>	0,35 %
<b>Modificadores del comportamiento</b>	0,15 %
<b>Control biológico</b>	0,15 %

*Tabla 1. Distribución del gasto mundial en protección de cultivos (%).*

*(Jesús Vázquez, 2003)*

Los datos ofrecen una visión muy clara acerca del papel que desempeñan actualmente las diferentes opciones.

De acuerdo con los informes de la FAO, a pesar del uso de productos fitosanitarios en los países desarrollados, las pérdidas de producción llegan a suponer un 25% de las cosechas. Esto conlleva un uso excesivo y continuo de estos, dando lugar a que los residuos generados de su aplicación se conviertan en fuentes de contaminación puntual y difusa.

Esto se debe a que estos residuos tóxicos se desplazan desde las explotaciones donde se han generado hasta aguas superficiales mediante diferentes procesos de transporte, pudiendo llegar hasta aguas subterráneas mediante lixiviación. La contaminación por residuos de productos fitosanitarios genera un elevado riesgo para el medio ambiente, debido a que la mayoría de estos poseen una alta toxicidad y persistencia.

### **1.1. Productos fitosanitarios**

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define al producto fitosanitario, plaguicida o pesticida como “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir la acción de, o destruir directamente, insectos, ácaros, moluscos, roedores, hongos, malas hierbas, bacterias y otras formas de vida animal o vegetal perjudiciales para la salud pública y también para la agricultura.”

Los productos fitosanitarios son mezclas químicas formados por una o varias materias activas y ciertos productos auxiliares, y su uso está destinado a uno de los siguientes usos:

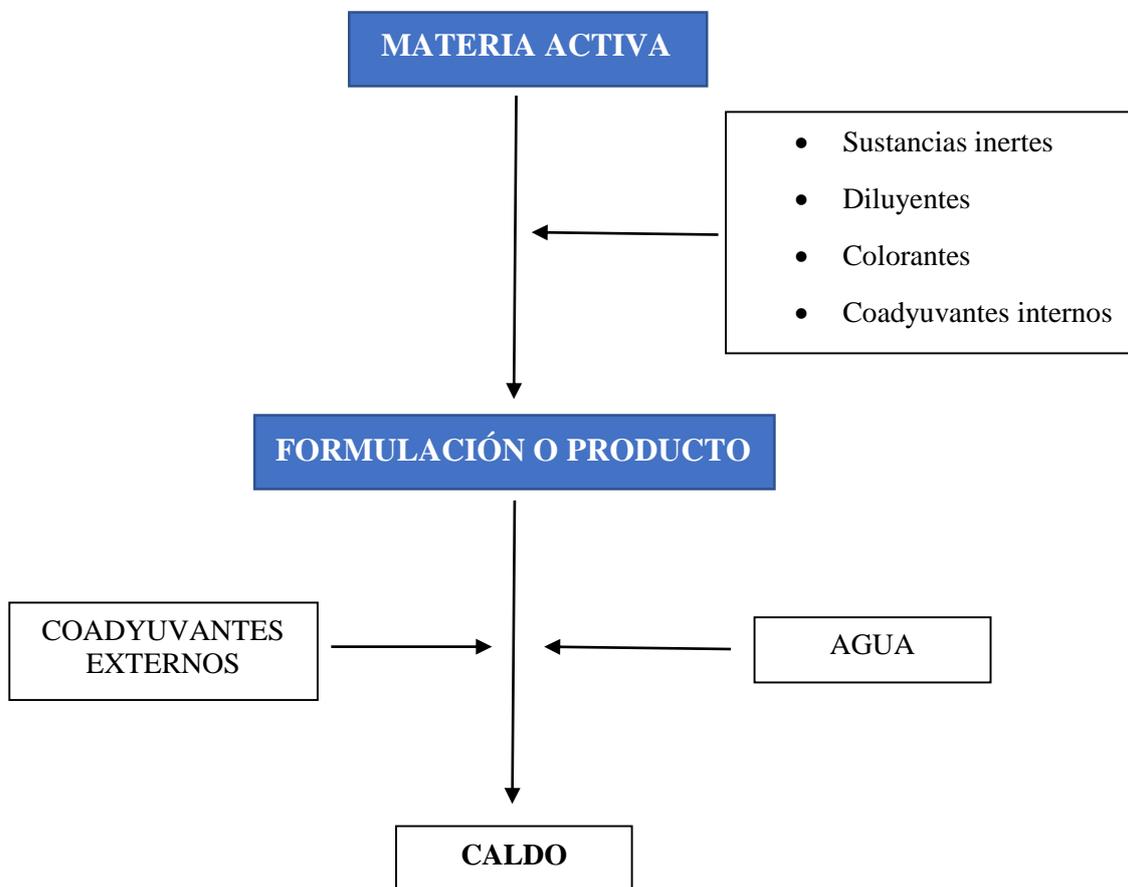
- Proteger o evitar el ataque de organismos nocivos a los cultivos o sus productos.
- Mejorar la conservación de los productos vegetales.
- Influir en el desarrollo de los cultivos (fitorreguladores).
- Destruir la vegetación indeseable (herbicidas).

Los componentes de un producto fitosanitario son:

- **Materia activa:** Parte del fitosanitario que actúa de forma directa contra el organismo nocivo. Estos pueden ser productos orgánicos o inorgánicos, naturales, de síntesis o biológicos.
- **Sustancias inertes:** Su principal función es facilitar la aplicación del producto. Estas sustancias no tienen ningún tipo de acción contra la plaga o enfermedad a controlar.

- **Aditivos:** Son utilizados para dar a los productos características reconocibles para las personas como son el color y olor, cuya finalidad es la de evitar accidentes. Estas sustancias no tienen efecto sobre la acción del producto fitosanitario.
- **Coadyuvantes:** La función de estas sustancias es modificar positivamente alguna de sus características físicas y químicas del fitosanitario. Los coadyuvantes más utilizados son: mojantes, estabilizantes y tensoactivos.

La mayor parte de los tratamientos fitosanitarios se llevan a cabo empleando el producto disuelto en agua, formándose el denominado caldo.



*Figura 1. Composición del caldo a emplear en los tratamientos fitosanitarios vía líquida.*

### 1.1.1. Uso de productos fitosanitarios en España

Debido la importancia ambiental y económica de los productos fitosanitarios, la Directiva de uso sostenible de los productos fitosanitarios establece la elaboración de un informe llamado “Estadísticas sobre la Comercialización de Productos Fitosanitarios”. Este informe muestra los resultados obtenidos a través de una encuesta de comercialización que se realiza de manera anual y recoge las cantidades de sustancias activas empleadas en la actividad agrícola, por categoría de productos y clasificación química. Estos informes se pueden encontrar en la página web del MAPAMA.

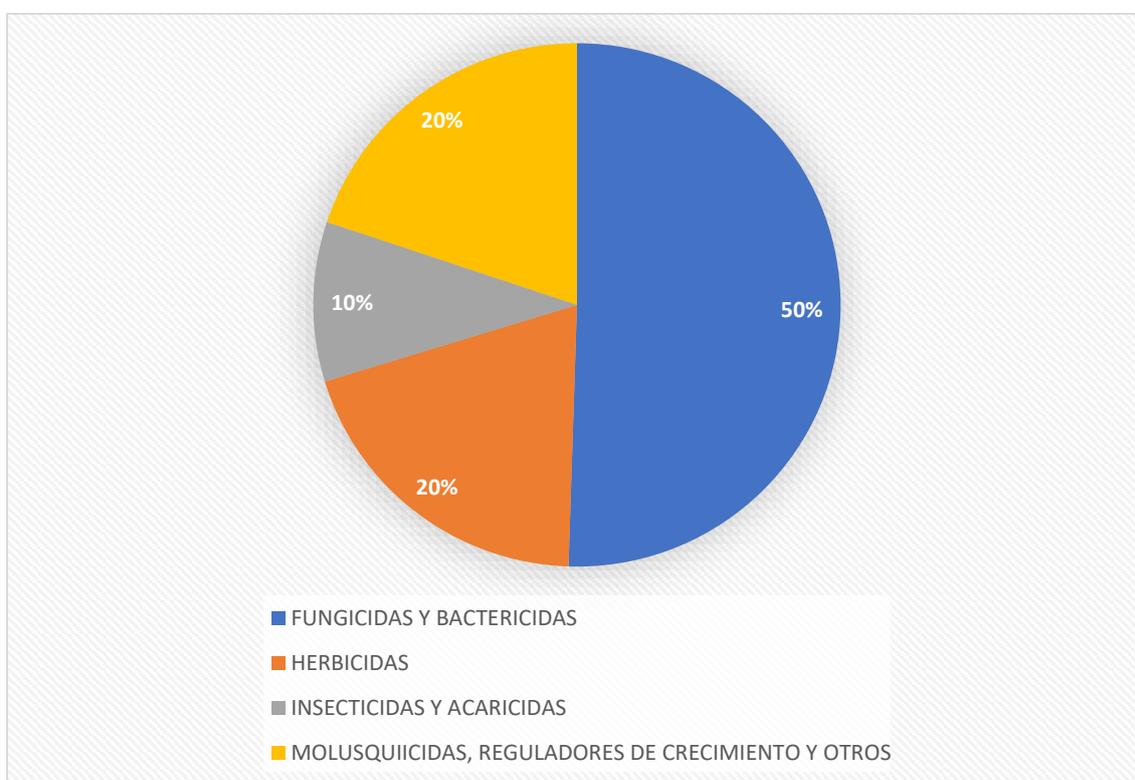
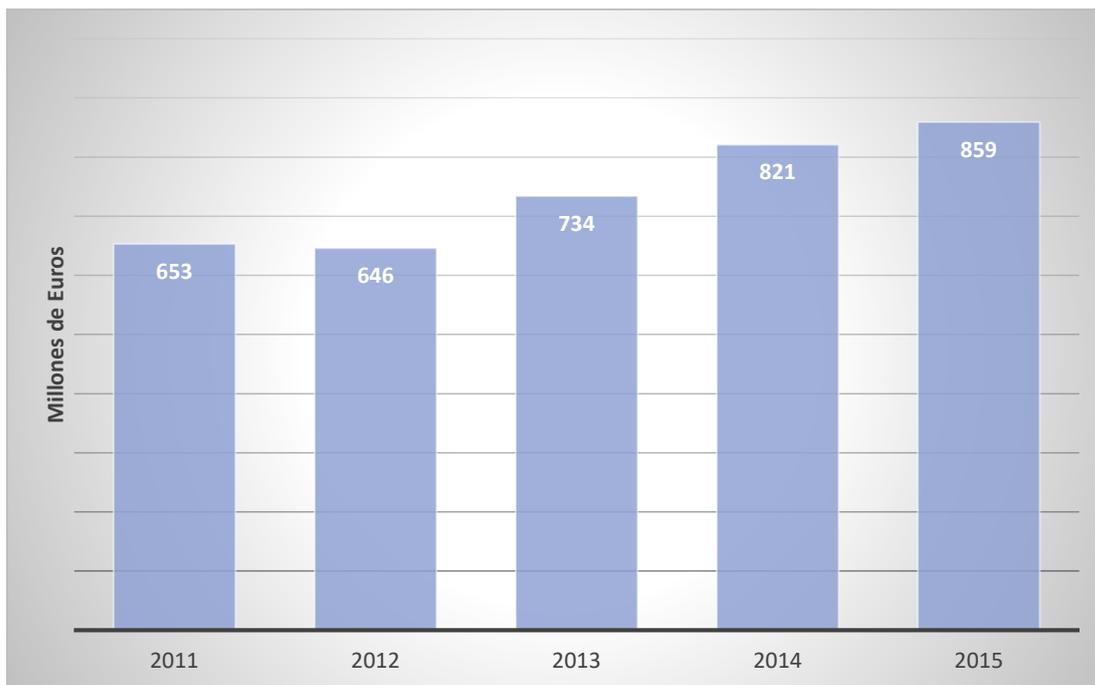


Figura 2. Principales grupos de productos fitosanitarios comercializados en España (Año 2016).

Fuente: MAPAMA



*Figura 3. Evolución del mercado fitosanitario en España (2011-2015).*

*Fuente: AEPLA*

## **1.2. Legislación**

La aplicación de productos fitosanitarios está regulada por la legislación europea y española. Su finalidad es llevar a cabo un uso correcto de los fitosanitarios contribuyendo a la reducción al mínimo posible los daños que estos pueden realizar sobre la salud y el medio ambiente.

Según el BOE, el Parlamento Europeo y el Consejo adoptaron el 21 de octubre de 2009 dos actos legislativos que modifican profundamente la normativa antes vigente en materia de comercialización y utilización de productos fitosanitarios. Estos actos son el Reglamento (CE) n.º 1107/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios y por el que se derogan las Directivas 79/117/CEE y 91/414/CEE del Consejo; y la Directiva 2009/128/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas.

Posteriormente, el Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, establece las disposiciones necesarias para llevar los registros de utilización de productos fitosanitarios y, asimismo, para la adecuación, mejora y simplificación de registros ya existentes, como el de establecimientos y servicios plaguicidas y el libro oficial de movimiento de plaguicidas peligrosos, instrumentos de apoyo imprescindibles para aplicar las políticas de consecución de la sostenibilidad y del control oficial en la utilización de productos fitosanitarios que se establecen en la mencionada Directiva 2009/128/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, sin los cuales no podría darse cumplimiento.

Los objetivos presentes en el RD 1311/2012 son:

- Establecer el marco de acción para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios mediante la reducción de los riesgos y los efectos del uso de los productos fitosanitarios en la salud humana y el medio ambiente, y el fomento de la gestión integrada de plagas y de planteamientos o técnicas alternativos, tales como los métodos no químicos.
- La aplicación y el desarrollo reglamentario de ciertos preceptos relativos a la comercialización, la utilización y el uso racional y sostenible de los productos fitosanitarios, establecidos por la Ley 43/2002, de 20 de noviembre, de sanidad vegetal.

### **1.3. Riesgos derivados de la utilización de productos fitosanitarios**

La aplicación de productos fitosanitarios conlleva un riesgo tóxico relacionado con el producto empleado, esto es debido a la toxicidad de la sustancia activa. Esta toxicidad se define como la capacidad de su materia activa y sus metabolitos para producir, en determinadas dosis, daños a las personas y al medio debido a acciones físico-químicas. Los productos fitosanitarios pueden ocasionar alteraciones más o menos graves en las personas.

La relación utilidad-riesgo es la que debe de marcar las barreras para que los riesgos se minimicen. Esto es lo que se pretende con la normativa, cada vez más estricta, pero también, con la fabricación de productos fitosanitarios cada vez más seguros.

Los residuos de un producto fitosanitario son restos de este que permanecen en los cultivos y en sus productos como consecuencia de su aplicación. Estos residuos generan una importante preocupación actualmente debido a que afectan a toda la población, ya que son consumidores de alimentos. Además, la aplicación de estos productos sobre plantas o sobre el suelo afectan negativamente a los seres vivos que habitan sobre ellos. Todo esto hace la población cada vez esté más sensibilizada con la calidad y seguridad alimentaria.

#### **1.4. Comportamiento de los productos fitosanitarios en el medio ambiente**

Cuando se realiza un tratamiento fitosanitario en los cultivos, se genera un depósito del producto en la planta que va eliminándose con el paso del tiempo. Este tiempo viene influenciado por las características y el tipo de producto aplicado, las características ambientales y el tipo de cultivo tratado. La degradación se puede producir en el interior de la planta en el caso de productos penetrantes, o sobre su superficie.

Una vez aplicado el producto, su concentración en el medio varía como consecuencia de una serie de procesos que determinan su comportamiento y que pueden agruparse en procesos de transferencia o transporte (adsorción-desorción, absorción, lixiviación, escorrentía, volatilización o evaporación, incluyendo el transporte mecánico a través de vapor de agua, difusión, lixiviación o percolación y erosión) y procesos de transformación o degradación (química, fotoquímica y biológica). La medida en que se producen todos estos procesos depende, en gran manera, de las características físico-químicas de cada compuesto y también de las propiedades de las aguas y del suelo, así como de las condiciones ambientales de la zona y del método de aplicación (Arias-Estévez et al., 2008) (Rojas, 2016).

Las dos características más importantes que controlan la migración de los fitosanitarios en aguas y suelos son su movilidad y persistencia. Estos deben ser suficientemente móviles como para alcanzar su objetivo y suficientemente persistentes como para eliminar el organismo específicamente atacado (Morell y Candela, 1998).

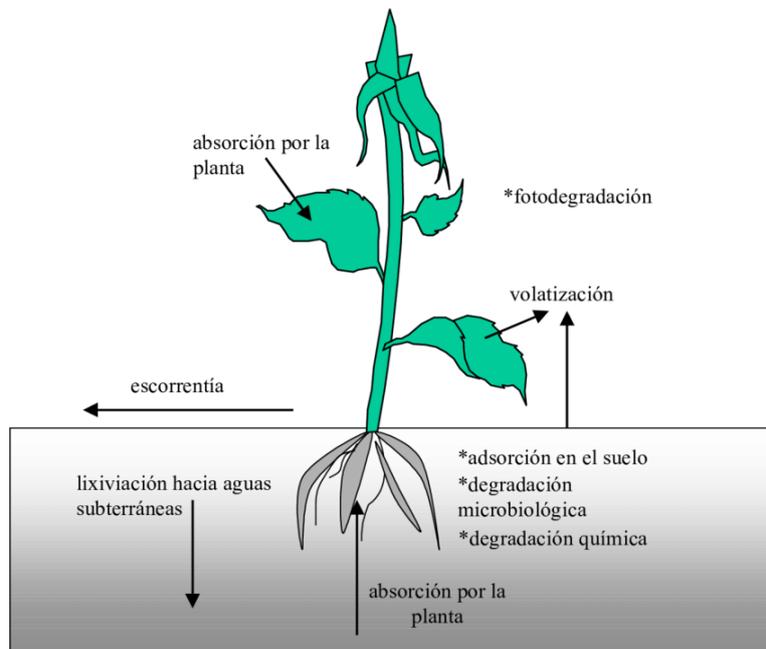


Figura 4. Procesos que afectan a los productos fitosanitarios en el medio ambiente.

Fuente: Malato et al. (2001)

De acuerdo con Rojas (2016), los factores de los que dependen la persistencia y degradación de los productos fitosanitarios son:

- Características y tipo de producto fitosanitario.
- Concentración y proporcionalidad en la aplicación.
- Tipo de suelo.
- pH. En forma general, persisten más en suelos ácidos que en los alcalinos.
- Condiciones climáticas. Los fitosanitarios desaparecen más rápido con las altas temperaturas y una cubierta con cultivos tiende a incrementar la persistencia, probablemente al disminuir el grado de evaporación del suelo.
- Adsorción. Puede tener efectos dispares sobre la degradación: por un lado, puede retrasarla o impedirla, pues al estar el fitosanitario adsorbido no se encuentra biodisponible; pero por otra parte puede acelerarla, ya que alrededor de la superficie coloidal se puede concentrar un mayor número de microorganismos.

Todos estos procesos controlan directamente el transporte de fitosanitarios a través del suelo y su transferencia desde éste al agua, aire o alimentos. El proceso de degradación es uno de los más importantes para la evolución de los residuos fitosanitarios en suelo, ya que dependiendo de éste habrá más o menos cantidad de residuos disponibles para el resto de procesos (Arias-Estévez et al., 2008).

### **1.4.1. Procesos de transporte**

#### **1.4.1.1. Adsorción**

La adsorción del producto fitosanitario al suelo se refiere a la interacción entre estos compuestos y las partículas del suelo. La adsorción afecta al resto de procesos que influyen en el comportamiento del producto fitosanitario en el suelo, determinando su movimiento, actividad biológica y persistencia, ya que normalmente hace que el fitosanitario esté disponible para su transporte o biodegradación (Cruz-Guzmán, 2007).

El contenido en materia orgánica del suelo es un factor decisivo en la adsorción. Cuando este es elevado, el coeficiente de correlación adsorción-materia orgánica también es elevado, teniendo lugar la adsorción principalmente en las superficies orgánicas y enmascarando el efecto de las superficies minerales en este proceso.

#### **1.4.1.2. Lixiviación**

La lixiviación es el proceso por el cual el agua, procedente de la lluvia o el riego, arrastra o disuelve moléculas de fitosanitarios dando lugar a un movimiento vertical a lo largo del perfil del suelo, lo que tiene incidencia o implicaciones tanto en la efectividad biológica del producto de tratamiento como en la contaminación de las aguas subterráneas. El riesgo de contaminación de acuíferos y aguas subterráneas por el transporte vertical está determinado fundamentalmente por el balance entre el movimiento vertical, la velocidad de transporte a través del suelo, y su adsorción y degradación a lo largo del perfil del suelo. Estos dos últimos procesos disminuyen el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas (Cruz-Guzmán, 2007).

#### **1.4.1.3. Volatilización**

La volatilización consiste en el paso del producto fitosanitario a la fase gaseosa, a través de la cual puede transportarse a lugares muy alejados del lugar de aplicación. Este proceso ocurre principalmente durante la aplicación, y posteriormente afecta al pesticida que permanece en la superficie del suelo o de las plantas y, en menor proporción, al que está disuelto en la disolución del suelo. Se estima que la volatilización es la mayor causa de pérdida de los fitosanitarios. En algunos casos, se pueden esperar pérdidas por volatilización de hasta el 90% en un periodo de 48 horas (Rojas, 2016).

#### **1.4.1.4. Absorción por plantas y microorganismos**

El proceso de absorción por plantas y microorganismos de los plaguicidas presentes en el suelo está supeditado, en gran medida, a la fijación de este por los coloides del suelo y constituye un importante objetivo de la aplicación de los productos fitosanitarios a los suelos. Las plantas y microorganismos asimilan plaguicidas acumulándolos y metabolizándolos. Hay una gran variedad de plantas y organismos resistentes a plaguicidas que poseen esta cualidad porque los metabolizan a compuestos no tóxicos, lo que constituye una vía natural de descontaminación (Cruz-Guzmán, 2007).

Una de los procesos claves del funcionamiento del sistema objeto de este trabajo, como se verá en los siguientes capítulos, es el fenómeno de degradación acelerada de sustancias activas. Esto consiste en una degradación rápida, tras repetidas aplicaciones en la misma zona y se debe a una adaptación de los microorganismos del suelo que da lugar a una metabolización rápida, lo que permite su utilización para la biodegradación de plaguicidas en sistemas de bio-purificación (Cruz-Guzmán, 2007).

#### **1.4.1.5. Escorrentía**

El transporte por escorrentía se produce cuando el agua precipitada por lluvia o riego superan la tasa de infiltración del suelo. Este proceso se produce en el caso de productos fitosanitarios relativamente solubles en agua o con este adsorbido a los coloides del suelo.

Los factores más importantes que determinan las pérdidas por escorrentía son las condiciones climáticas, las características del suelo y del fitosanitario, y las prácticas culturales. La presencia de fitosanitarios en las aguas superficiales lejos del agua del lugar de aplicación es un hecho indicativo de este proceso (Cruz-Guzmán, 2007).

#### **1.4.1.6. Erosión**

La erosión de la superficie del suelo provocado por la acción del viento puede producir el transporte de productos fitosanitarios a la atmósfera.

### **1.5. Contaminación de las aguas**

La utilización de estos productos pone en riesgo la calidad de las aguas que se encuentran en las proximidades de los cultivos tratados, ya que estos compuestos se transportan mediante los procesos de movilidad explicados anteriormente y contaminan las aguas superficiales. Además, de forma indirecta se ocasiona la contaminación de aguas subterráneas por la infiltración de los productos a través del suelo.

El riesgo de contaminación del agua superficial por residuos fitosanitarios se asocia con mayor frecuencia a fuentes difusas o no puntuales (desagües subsuperficiales, escorrentía y deriva de pulverización). La contaminación difusa implica la presencia de contaminantes a baja concentración en un área extensa. Sin embargo, las fuentes puntuales también contribuyen significativamente a la contaminación del agua superficial. Actividades en la explotación como derrames de productos fitosanitarios durante el llenado, fugas del equipo de tratamiento, control deficiente del exceso de líquido de pulverización y la contaminación externa e interna del pulverizador pueden causar las principales pérdidas para el medio ambiente. La contaminación puntual implica la presencia de concentraciones elevadas de contaminante en un área más limitada.

Según diversos estudios de monitoreo, la fracción de la entrada por fuente puntual de las aguas residuales de explotaciones agrícolas respecto a la carga total del río de residuos agrícolas se estima desde un 40 % hasta 70 - 90 %. Por lo tanto, las fuentes puntuales deben considerarse como fuentes potenciales de contaminación del agua superficial.

## 2. Justificación y objetivos

### 2.1. Justificación

El uso de productos fitosanitarios en la agricultura conlleva un riesgo de contaminación, por lo tanto, es importante identificar las prácticas que en su uso y manejo plantean mayor relevancia por sus posibles daños.

Los residuos generados en las explotaciones provienen generalmente de los volúmenes sobrantes de su aplicación en los cultivos, los generados en la limpieza interna del pulverizador y la limpieza externa del equipo de tratamiento, y las pérdidas o derrames generados durante el llenado. Varias investigaciones han demostrado que la contaminación generada por fuentes puntuales representa entre el 40 y el 90 % de los residuos presentes en los recursos hídricos, siendo esta su vía de contaminación principal.

Actualmente no hay una solución real disponible para gestionar los residuos de plaguicidas, sino simples recomendaciones. Las soluciones actuales no son completas y sólo transfieren el problema o provocan la generación de nuevos residuos.

El Real Decreto 1311/2012, de 14 de septiembre, por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios, referente a limpieza de los equipos de tratamiento dice:

“Se tomarán todas las medidas necesarias para que, en la eliminación de los restos de mezcla que queden en los tanques tras la aplicación y en la posterior limpieza de los equipos de tratamiento, no se ponga en peligro la salud humana y el medio ambiente, teniendo en cualquier caso carácter obligatorio las siguientes prácticas:

- A. Se prohíbe el vertido de los restos de mezcla excedentes del tratamiento. Su eliminación se realizará aplicándolos en la misma parcela tratada previa su dilución con la cantidad de agua suficiente para que no se exceda la dosis máxima admisible. No obstante, cuando estén disponibles, se dará preferencia a la eliminación de estos restos mediante instalaciones o dispositivos preparados para eliminar o degradar residuos de productos fitosanitarios.
- B. En ningún caso se podrán lavar los equipos a distancias inferiores de 50 metros de las masas de agua superficiales y de los pozos.

C. Los equipos de tratamiento se guardarán resguardados de la lluvia.”

Por lo tanto, en lo referente a vertidos de restos del tratamiento, se deberá aplicar sobre la parcela tratada, aumentando así los riesgos por residuos en el cultivo y la contaminación del medio. Esta medida puede originar problemas con las normas de producción sostenible y las normas privadas como Global GAP, cada vez más restrictivas, que deben ser cumplidas por los agricultores para comercializar sus productos en la UE.

Además, no se tiene en cuenta el tratamiento para los residuos generados por limpieza exterior de maquinaria y equipamiento fitosanitario, lavado del EPI, etc.

En la normativa, se recomienda utilizar instalaciones o dispositivos preparados para la eliminación o degradación de los residuos, en el caso de estar disponibles. La presencia de estos sistemas en las explotaciones agrarias es muy reducida, especialmente en las explotaciones de pequeño y mediano tamaño debido principalmente a su coste y el desconocimiento de la existencia y funcionamiento de estos sistemas.

## **2.2. Objetivos**

El objetivo del presente trabajo fin de grado es el siguiente: Dimensionar un sistema de bio-purificación para degradar por completo los residuos de los productos fitosanitarios contenidos en las aguas residuales producidas en las fincas por excedentes de tratamiento, lavado de EPI, limpieza de maquinaria y equipamiento fitosanitario, remanentes de envases, etc., con un equipo ubicado en las explotaciones.

Este sistema ha sido instalado en la ESEA Tomás Ferro, perteneciente a la UPCT, previo dimensionamiento acorde a las necesidades y condiciones de la finca.

Para dimensionar el sistema de bio-purificación se han abordado una serie de objetivos, que debe cumplir, siendo estos:

- Instalación sencilla.
- Precio de construcción relativamente bajo.
- Eliminar eficazmente los residuos fitosanitarios mediante la degradación de las materias activas.

- Permita adaptarse al diferente tamaño de las explotaciones.
- Sin mantenimiento o escaso mantenimiento durante la operación.
- Respetuoso con el medio ambiente y la salud humana.
- Necesidades de espacio mínimas.
- Soportar los periodos de mayor numero de tratamientos.

Una vez realizado el diseño y montaje del sistema, se pretende realizar un seguimiento del mismo durante 10 meses de funcionamiento, analizando el comportamiento de las especies empleadas en la cubierta vegetal y de los distintos sistemas de riego, así como la existencia de drenaje.

### **3. Características y elementos para el diseño de un sistema de bio-purificación**

#### **3.1. Introducción a los sistemas de bio-purificación**

Un sistema de bio-purificación es una construcción simple y barata, destinada a minimizar los riesgos de contaminación al almacenar y degradar los residuos fitosanitarios generados en la actividad de la explotación agrícola.

Los sistemas de bio-purificación descomponen los residuos de productos fitosanitarios mediante la actuación de determinados microorganismos provenientes de suelo agrícola que durante tratamientos sucesivos se han adaptado a la degradación de las sustancias activas empleadas, y junto con adecuados sustratos, degradan de forma biológica las materias activas presentes.

El sistema es flexible para su adaptación a las condiciones locales, incluidas las variables geoclimáticas y específicas de la finca.

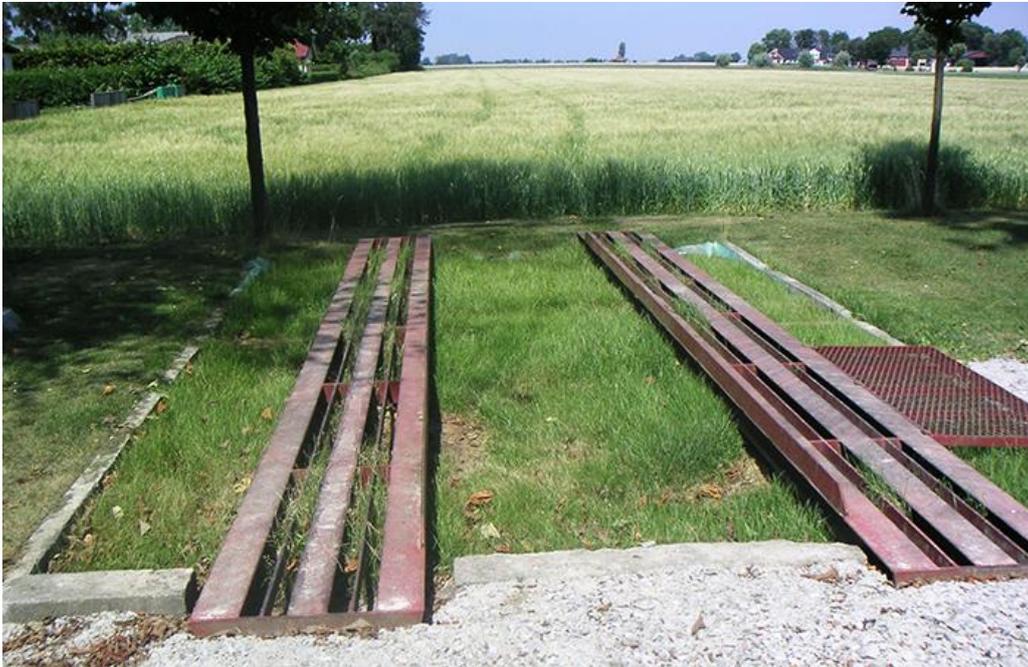
#### **3.2. Tipos de sistemas**

##### **3.2.1. Sistema “Biobed”**

Se trata de excavaciones en el terreno, o construcciones superficiales, que permiten la recogida y el procesado de las aguas residuales. El espacio es impermeabilizado y rellenado posteriormente con una mezcla activa formada por tierra proveniente de las capas superficiales del terreno, que cuenta con los microorganismos naturales que se encargan de la rotura y degradación de las materias activas (TOPPS).

Es habitual que el “biobed” se recubra con una cubierta vegetal para favorecer la eliminación de las aguas residuales a través de la transpiración y optimizar los procesos de degradación. Esta capa mantiene un nivel óptimo de temperatura para la actividad microbiana y regula la humedad del sustrato, entre otras ventajas.

Estos sistemas son construidos de forma que se evite cualquier lixiviación de residuos que contaminen el entorno mediante el empleo de materiales impermeables como el hormigón o plástico resistente.



*Figura 5. Ejemplo de sistema "biobed" en una explotación.*

*Fuente: FAO*

Un sistema biobed medio, contiene aproximadamente de 10 a 30 m<sup>3</sup> de mezcla activa. Normalmente, son empleados para gestionar altos volúmenes de aguas contaminadas en explotaciones agrarias grandes.

La vida útil media del sistema se estima en un periodo de 6 a 8 años, posteriormente se debe reemplazar y gestionar el residuo seco generado (sustrato activo). Para su gestión se recomienda su distribución uniforme en el campo con un remolque esparcidor de estiércol (TOPPS).

Lo más frecuente es que el sistema biobed se emplee en combinación como zona de llenado y limpieza de los equipos de tratamiento, donde el agua residual es distribuida directamente en el sistema o almacenada en depósitos intermediarios que permiten la alimentación indirecta y progresiva del sistema de bio-purificación (Figura 6). En este último caso, los líquidos contaminados pueden distribuirse de forma uniforme y

homogénea en toda la superficie de tratamiento y repartir la cantidad total de forma óptima en el tiempo y permita una mayor eficiencia. En zonas de lluvias abundantes es recomendable cubrir el sistema para un correcto manejo y evitar problemas por saturación con el agua de lluvia (TOPPS).

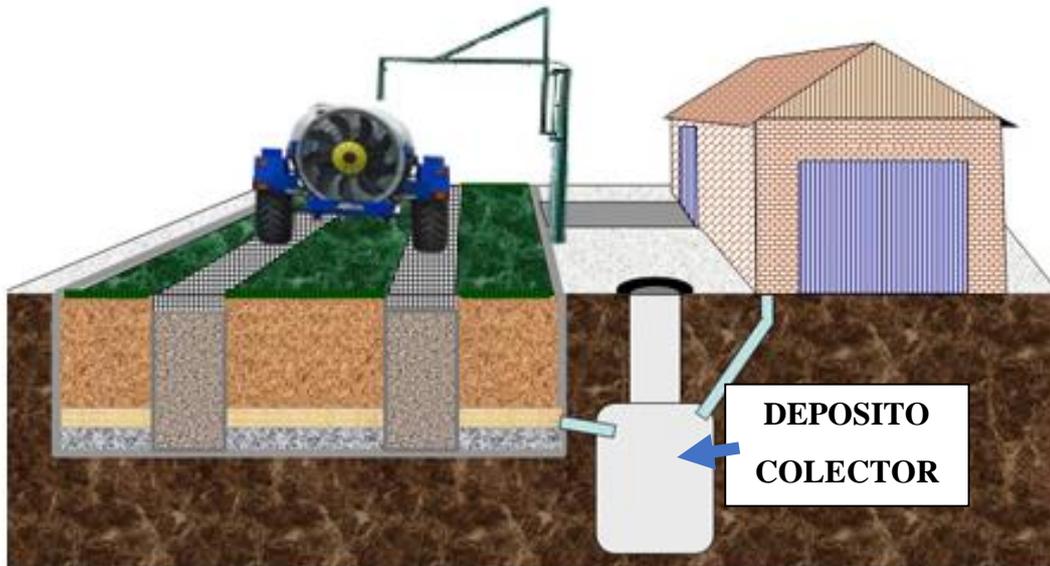


Figura 6. Esquema de un sistema "biobed" utilizado como zona de llenado y limpieza.

Fuente: TOPPS

### 3.2.2. Sistema "biofilter"

El biofilter está formado por un conjunto de contenedores, generalmente 2 o 3 dependiendo de la carga hidráulica, de aproximadamente 1 m<sup>3</sup> de capacidad colocados uno encima del otro de manera vertical. La mezcla de sustrato activo es similar a la del biobed.

En general, el biofilter es un sistema de purificación muy flexible, barato, tamaño reducido y con mucha menor cantidad de sustrato activo. En el caso de prever el manejo de grandes volúmenes se recomienda instalar sistemas biofilter en paralelo (TOPPS).

El agua residual es recogida en la zona de llenado y limpieza, en un depósito o contenedor independiente, y se bombea hasta el contenedor superior donde se encuentra el sustrato

activo. Normalmente, los biofilters son en general sistemas abiertos donde sus lixiviaciones son recuperadas y bombeadas nuevamente al biofilter para su degradación.

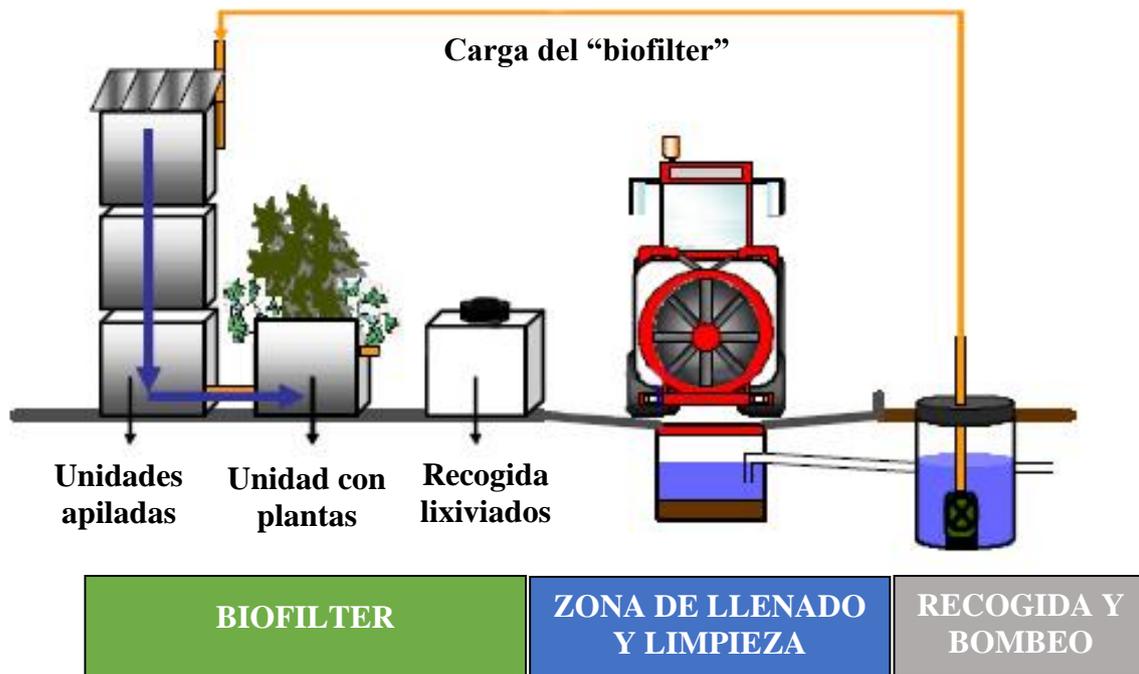
La recogida del líquido contaminado y el posterior bombeo progresivo diario permite distribuir en el tiempo todo el proceso de alimentación de los contenedores, evitando de este modo las sobrecargas del sistema. Este procedimiento además permite el mantenimiento continuo de un grado de humedad adecuado en el sustrato, lo que garantiza la supervivencia de los microorganismos y del material vegetal (TOPPS).

Para favorecer los procesos de retención y/o degradación de las materias activas, el residuo fitosanitario del depósito de almacenamiento se distribuye uniformemente sobre toda la superficie del biofilter mediante un sistema de riego, generalmente por goteo.



*Figura 7. Ejemplo de sistema "biofilter" en una explotación.*

*Fuente: PcFruit*



*Figura 8. Esquema de un sistema "biofilter".*

*Fuente: TOPPS*

La colocación de una cubierta evita la entrada de agua al sistema como consecuencia de las aguas de lluvia, mejorando así el rendimiento del sistema.

Al igual que en sistema biobed, la vida útil del sustrato activo se estima en un periodo de 6 a 8 años, posteriormente se debe reemplazar y gestionar.

### **3.3. Elementos del diseño del sistema**

#### **3.3.1. Área de llenado y limpieza**

La zona de llenado y limpieza se suele situar directamente sobre el sistema biobed, o junto a él, en el caso del biofilter. La construcción del sistema de bio-purificación junto con la de zona de llenado hace posible la combinación de los procesos y disminuye considerablemente el riesgo de contaminación en la explotación.

En el caso del sistema biobed, para colocar el tractor y el equipo de tratamientos sobre él, es necesaria una estructura superior lo suficientemente resistente para soportar el peso de ambas unidades. En otras circunstancias particulares, únicamente se coloca sobre el biobed el equipo de aplicación, quedando fuera el tractor. En estas circunstancias, y dado que el líquido contaminante fluye directamente del equipo de aplicación, la distribución regular en toda la superficie del biobed resulta en algunos casos difícil de conseguir (TOPPS).

La zona de llenado y limpieza, tanto junta como separada al sistema de bio-purificación, debe ser construida con material impermeable, normalmente de hormigón, y deberán drenar directamente sobre el tanque colector del sistema. Es necesario que las zonas de llenado y limpieza cuenten con una pendiente adecuada para garantizar la recogida de las aguas residuales.

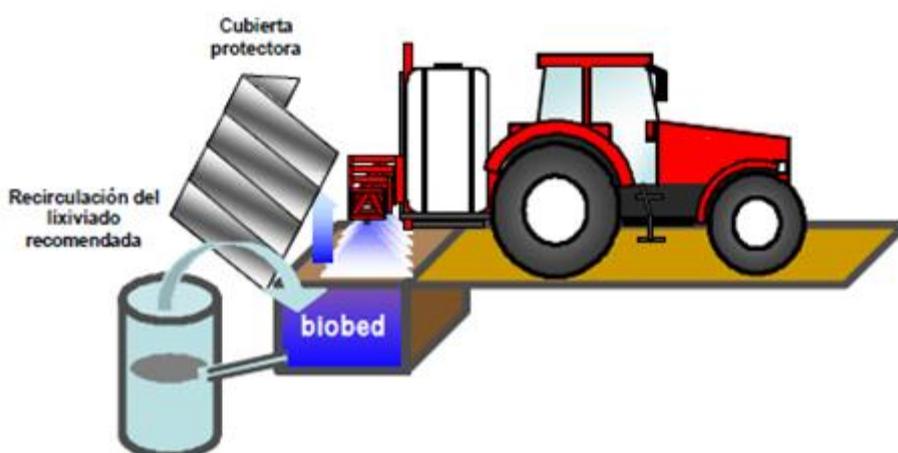


Figura 9. Sistema biobed utilizado como zona de limpieza.

Fuente: TOPPS

### 3.3.2. Depósito colector

Los tratamientos fitosanitarios y, por lo tanto, la limpieza de los equipos, no se realizan de manera uniformemente a lo largo de todo el año. Como se ha comentado anteriormente, para un adecuado funcionamiento, la distribución del agua contaminada en el sistema debe realizarse de forma uniforme a lo largo de todo el periodo activo de este, para asegurar la continuidad en la actividad biológica. La instalación de un depósito

colector de aguas contaminadas, a pesar de tener un coste adicional, es altamente recomendable ya que permite la adecuada gestión del volumen y del tiempo a la hora de alimentar el sistema de bio-purificación de una manera uniforme (TOPPS).

### 3.3.3. Incorporación del agua residual al sistema de bio-purificación

El agua contaminada tiene que ser distribuida de forma homogénea sobre toda la superficie del sistema. Para ello existen varias formas, como la colocación de una manguera de riego por goteo en la parte superior del sistema de bio-purificación. Además, también es común el uso de boquillas de pulverización. Estos métodos pueden emplearse en sistemas de grandes y pequeñas dimensiones.



*Figura 10. Distribución del agua a tratar en la superficie de un biobed utilizando mangueras de riego por goteo.*

*Fuente: Bayer CropScience*

### **3.3.4. Impermeabilización del sistema**

Tanto el sistema biobed como el biofilter deben estar contruidos con materiales impermeables. Normalmente las paredes del biobed se construyen con hormigón, aunque también existe la posibilidad de utilizar materiales plásticos. Por su parte los biofilter están contruidos normalmente a base de contenedores de polietileno de 1 m<sup>3</sup> de capacidad. En ambos casos la vida útil de los materiales plásticos es inferior a la del hormigón (TOPPS).

### **3.3.5. Cubierta para la lluvia**

Es conveniente que los sistemas de bio-purificación se encuentren aislados de la lluvia, fundamentalmente en zonas con alta pluviometría, ya que la instalación de una cubierta mejora el funcionamiento del sistema. En el caso de disponer de una cubierta vegetal en el sistema, es necesario que la cubierta sea de material transparente para asegurar la suficiente luz para el cultivo.

Si la zona de llenado y limpieza no está cubierta, es necesario contar con un sistema que no permita la entrada del agua de lluvia al depósito colector, evitando en cualquier caso problemas de saturación.

### **3.3.6. Drenaje del sistema**

Los sistemas cerrados (sin drenaje) tienen la desventaja de presentar riesgo de saturación en el caso de bajas tasas de evaporación o grandes cantidades de líquido contaminado a tratar. En estos casos, la saturación afecta negativamente a la capacidad de absorción y degradación de las materias activas por parte del sustrato, y se generan elevadas cantidades de lixiviados (Fogg et al, 2004).

Los sistemas abiertos permiten eliminar gran parte del agua contaminada, mientras que el resto es recogida y eliminada como lixiviado. Los datos indican que los sistemas abiertos son capaces de gestionar y depurar una mayor cantidad de agua contaminada para un mismo volumen de sustrato, pero los lixiviados deben ser recogidos convenientemente

en un depósito. Estos lixiviados pueden utilizarse para su aplicación como herbicidas no selectivos en campo, o ser nuevamente reciclados haciéndolos circular nuevamente por el sistema de bio-purificación (TOPPS).



Figura 11. Esquema representativo del sistema cerrado y abierto.

Fuente: TOPPS

En los sistemas abiertos, en el caso de sistema en serie, la parte inferior de cada contenedor permite el drenaje de los lixiviados hacia la siguiente; o hacia el depósito de almacenamiento en el caso del ultimo contenedor en serie o sistema en paralelo. Para ello, lo más común es utilizar una tubería de drenaje con una rejilla en la entrada para evitar una posible obstrucción de este y garantizar así drenaje completo del sistema. Además, es conveniente la utilización de una capa de grava en el fondo del contenedor para evitar la formación de tapones que obstaculicen la salida y no permitan el vaciado completo.

### 3.3.7. Vegetación en el sistema

El uso de una cubierta de vegetación contribuye aumentando la eficiencia del sistema de bio-purificación, especialmente el de la parte superior donde la mayoría de los fitosanitarios se conservan y son degradados. La capa superficial de hierba en la zona de carga del sistema mantiene un óptimo balance de humedad ya que permite la evaporación del agua, a la vez que evita las condiciones de excesiva sequía. Además, el sistema radicular permite optimizar las condiciones del suelo para los microorganismos responsables de la degradación de las materias activas (TOPPS).

La ausencia de vegetación produce una evapotranspiración deficiente y puede generar una costra hidrofóbica en la parte superior del sistema, con una actividad microbiana disminuida. Por otra parte, una costra también promueve el drenaje de agua al fondo del sistema por flujo preferencial, lo que aumenta el riesgo de lixiviación de los residuos.

La incorporación directa de los residuos fitosanitarios en el sistema puede generar en algunos casos problemas de fitotoxicidad de la cubierta vegetal, si estos no están lo suficientemente diluidos (TOPPS).

### **3.4. Gestión del sustrato activo después de su uso**

La vida útil del sustrato activo se sitúa entre 6-8 años en función de las características de la explotación. El momento para reemplazar el sustrato es en primavera, justo antes de la nueva temporada de tratamientos fitosanitarios ya que es en ese momento cuando la concentración de estas sustancias es la más baja.

Este sustrato se puede distribuir en las parcelas de la explotación mediante un equipo esparcidor, para completar allí la degradación de las materias activas.

### **3.5. Proceso de degradación**

La eficiencia del sistema de bio-purificación se basa en la capacidad de la biomezcla para retener las altas cargas y degradar de manera efectiva los residuos fitosanitarios descargados. El proceso de bio-purificación tiene un alto grado de complejidad física, química y biológica.

Los procesos de degradación que afectan a los productos fitosanitarios en el sustrato activo se pueden dividir, según su origen, en tres grandes grupos: degradación química, en la que interviene gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos; degradación microbiana (biodegradación), y fotodegradación. Estos procesos conducen a la desaparición de las materias activas peligrosas, generalmente con formación de compuestos de menor toxicidad, por lo que reducen la contaminación del sistema. (Cruz-Guzmán, 2007).

Según diferentes ensayos, se puede concluir que la eficiencia de degradación de las materias activas recibidas en el sistema excede el 95 %, alcanzando incluso más del 99 % en muchos casos después de un año. (De Wilde *et al.*, 2007).

Como se puede observar en la tabla 2, la mezcla en el sustrato activo de diferentes tipos de productos como herbicidas, fungicidas e insecticidas no repercute o en muy poca medida la eficiencia del sistema. Además, la presencia otras sustancias químicas como el sulfato de cobre, aceite de motor o detergentes no afecta al proceso de biodegradación de los productos fitosanitarios. Por lo tanto, no hay riesgo de acumulación para los años posteriores.

Producto añadido (g sustancia activa/kg de biomezcla)	Diuron 10 días (% degradado)	Diuron 55 días (% degradado)	Glifosato 10 días (% degradado)	Glifosato 55 días (% degradado)
<b>Referencia</b>	34	76	23	49
<b>Sulfato de cobre (0,16 g/kg)</b>	40	82	23	49
<b>Sulfato de cobre (1,66 g/kg)</b>	30	78	20	44
<b>Cuprosan (2,78 g/kg)</b>	17	64	24	50
<b>Mezcla de fungicidas (0,57 g/kg)</b>	32	72	24	47
<b>Detergente (1,66 g/kg)</b>	22	72	21	47
<b>Aceite de motor (16,6 g/kg)</b>	26	73	23	51

Tabla 2. Eficiencia obtenida por un sistema de bio-purificación con distintas mezclas de productos.

Fuente: INRA

### 3.5.1. Degradación química

Las reacciones de degradación química más frecuentes son: hidrolíticas, de sustitución y redox, y pueden ocurrir tanto en disolución como catalizadas por la superficie de las partículas del suelo. Los factores más importantes que afectan a los procesos de degradación química son: pH, potencial redox, temperatura y composición de la disolución y de la fracción coloidal del suelo (Cruz-Guzmán, 2007).

En general, las reacciones químicas de degradación de plaguicidas, salvo en casos puntuales, tienen menos importancia medioambiental que las biológicas, puesto que la tasa de reacción química es más lenta debido a la competición de los oxidantes por la materia orgánica (Cruz-Guzmán, 2007).

### **3.5.2. Biodegradación**

Los procesos de biodegradación se realizan fundamentalmente gracias a la microflora del suelo (bacterias y hongos). Los microorganismos degradadores de productos fitosanitarios se encuentran en suelos y medios acuáticos.

La extensión del metabolismo microbiano puede ir desde transformaciones menores que no afectan significativamente a las propiedades químicas o toxicológicas del plaguicida, hasta procesos de mineralización, como es la degradación del plaguicida hasta la obtención de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc. La tasa de metabolismo puede oscilar entre extremadamente lenta (lo que da lugar a una vida media del pesticida de años) hasta rápida (vida media de días) (Cruz-Guzmán, 2007).

La eficiencia de la biodegradación suele aumentar con la temperatura y con el porcentaje de la humedad del suelo cuando el nivel de humedad es más próximo a la capacidad de retención del suelo, pero se reduce con la saturación. Por otro lado, la proporción y extensión de la degradación de productos fitosanitarios por microorganismos puede variar enormemente, dependiendo de factores como la estructura química del fitosanitario, el tipo de suelo, el número de microorganismos específicos capaces de degradar una sustancia activa en concreto, y otros factores medioambientales.

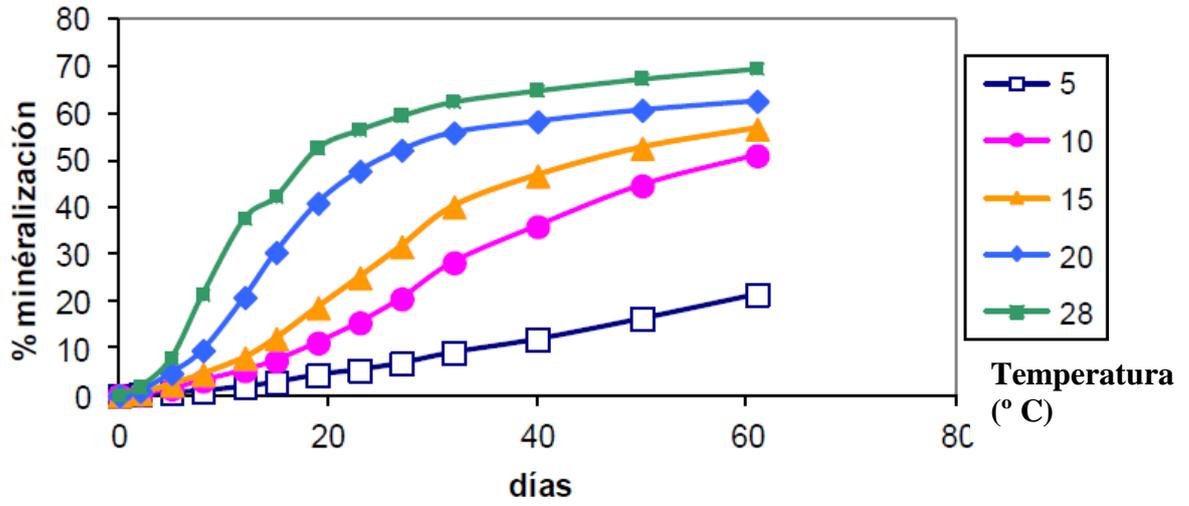


Figura 12. Influencia en la degradación de un herbicida en función de la temperatura del sustrato activo.

Fuente: INRA

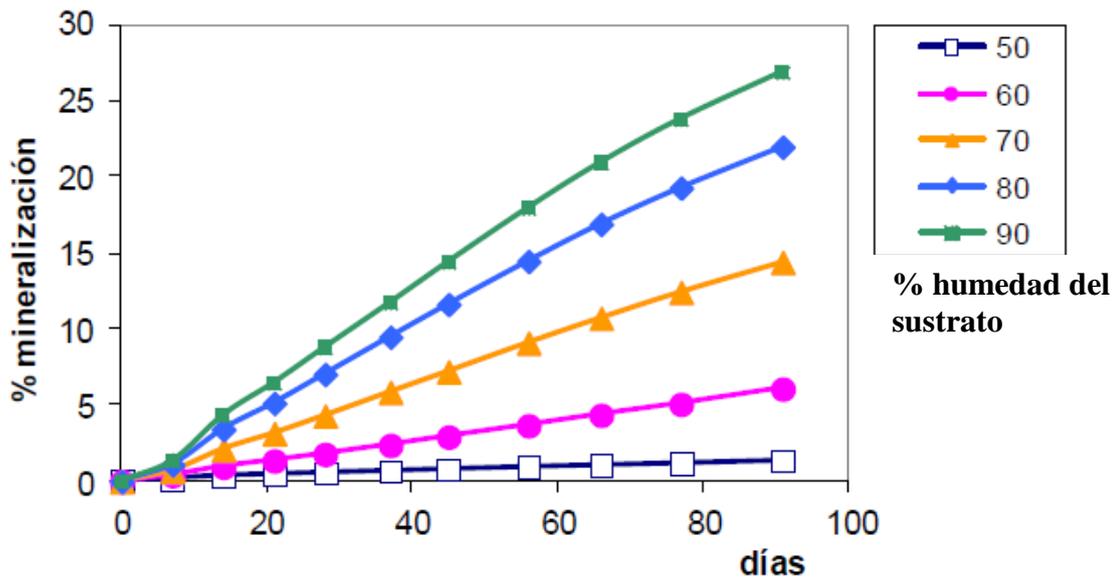


Figura 13. Influencia de la humedad del sustrato activo sobre la degradación de un herbicida.

Fuente: INRA

En condiciones ambientales, la degradación puede verse afectada por varios factores, entre ellos:

- Presencia de oxígeno (condiciones aerobias o anaerobias) y nutrientes.
- Tamaño de la población de los microorganismos necesarios, y la adaptación de estos microorganismos.
- Materia orgánica. Cuanto mayor sea el contenido en ésta, más microorganismos habrá.
- Tipo de suelo.
- Humedad.
- Temperatura.
- pH.

El uso continuado de unas determinadas materias activas durante varios años puede incluso acelerar y mejorar el proceso de bio-purificación debido fundamentalmente a la adaptación de los microorganismos (Fournier et al., 2004).

### **3.5.3. Fotodegradación**

La fotodegradación consiste en la transformación de la materia activa del fitosanitario, inducido por la luz solar, que puede tener lugar mediante reacciones de oxidación, reducción, hidrólisis, sustitución e isomerización. La degradación de los compuestos químicos o plaguicidas por acción de la luz solar ocurre en el rango de longitudes de onda que va de los 240 a 700nm. Esta reacción es importante en los primeros centímetros del suelo, en la superficie de las plantas. A medida que el plaguicida penetra en el suelo los procesos de fotodegradación son menos frecuentes, debido a que la radiación solar se atenúa (hasta un 90% en los primeros 0,2 mm del suelo) (Cruz-Guzmán, 2007).

El proceso de fotodegradación depende de factores como la intensidad y el tiempo de exposición del plaguicida a la radiación solar, la presencia de catalizadores fotoquímicos (que pueden favorecer la descomposición), el pH y el grado de acidez del suelo, el estado

en el que se encuentra el pesticida (sólido, en disolución, vapor, etc.), el grado de adsorción y la estructura química del plaguicida.

### **3.6. Consideraciones para el dimensionamiento del sistema**

#### **3.6.1. Factores que determinan el volumen a tratar**

Las características de la explotación son las que determinan el volumen total de agua contaminada que se va a generar y que el sistema de bio-purificación deberá procesar. Esta información es imprescindible para garantizar el buen dimensionamiento y funcionamiento del sistema.

La carga química e hidráulica depende del tipo de cultivo, esquema de tratamiento, el comportamiento del operador, el tipo de pulverizador empleado, el período de estación y el tipo de sistema bio-purificación.

En primer lugar, los cultivos que son tratados con regularidad generan una carga hidráulica más alta. En segundo lugar, depende del esquema de tratamiento, un agricultor que trata cultivos diferentes con productos fitosanitarios diferentes tendrá que limpiar el equipo a menudo, para evitar la contaminación del cultivo siguiente con un remanente del tratamiento anterior. En tercer lugar, la actitud del operador tiene que ser tenida en cuenta. Un operador que realiza la limpieza externa del equipo de tratamiento cuando este se encuentra húmedo generará un menor volumen de agua contaminada, y si esta limpieza se realiza en campo, el sistema no tiene que purificar este volumen. Un cuarto parámetro importante es el equipo de tratamiento. Según el equipo, el volumen residual interno y la carga externa química e hidráulica serán diferentes. Un quinto punto a tener en cuenta es el período de la estación, que determina cuánta agua contaminada se aporta al sistema. Durante el otoño e invierno, los tratamientos fitosanitarios son escasos, por lo tanto, la cantidad de residuos a tratar son escasos. Finalmente, el tipo de sistema bio-purificación también determina cuánta agua puede ser procesada (De Wilde et al, 2010).

### 3.6.2. Limpieza interna del pulverizador y restos de tratamiento

La limpieza interna del pulverizador es una práctica habitual en cultivos herbáceos, ya que los herbicidas, insecticidas y fungicidas se rocían en su mayoría con el mismo pulverizador. Por el contrario, en el cultivo de frutales, los herbicidas se aplican con máquinas de pulverización específicas, por lo tanto, los equipos de tratamiento no se limpian internamente con frecuencia. Según Wenneker et al. (2008), la limpieza interna ocurre 1-2 veces por temporada, principalmente por razones de mantenimiento, principalmente en fin de la temporada de fumigación, antes de que el rociador se almacene durante el período invernal. Sin embargo, la limpieza de las bombas, mangueras y boquillas es una práctica común al final de la pulverización día, siendo realizada por casi el 95% de los productores. Esta actividad se lleva a cabo con agua del tanque de agua limpia.

Además, independientemente del modo de acción del operario, el tipo de pulverizador será determinante en el cálculo del volumen total de agua contaminada a gestionar. Los pulverizadores hidráulicos convencionales (barras) presentan valores superiores de contaminación en el interior, mientras que los pulverizadores hidroneumáticos (atomizadores) presentan mayor contaminación en el exterior de la máquina. En cualquier caso, las cantidades totales de agua contaminada dependerán de las características particulares de cada caso (longitud de la barra, capacidad del depósito, diseño del equipo...). La capacidad del depósito auxiliar y la disponibilidad de agua para el lavado en la parcela determinarán a su vez la cantidad total de agua contaminada a gestionar por el sistema de bio-purificación en la explotación (TOPPS).

Este volumen residual se define como el volumen de mezcla que no puede ser distribuida por el equipo a la presión de trabajo previamente establecida. En la práctica se establece que este momento ocurre cuando la presión en el manómetro cae un 25%. Los límites máximos recomendados en la norma europea EN 12761-2 para pulverizadores hidráulicos y EN 12761-3 para pulverizadores hidroneumáticos (atomizadores) se muestran en las tablas 3 y 4.

La norma europea EN 12761 permite calcular de forma aproximada la cantidad total de líquido residual que deberá ser tratado, en función de las características del equipo. Si se dispone de información detallada por parte del fabricante del equipo será esta la que se deba utilizar (TOPPS).

Volumen residual total (L) EN 12761-2				
Depósito		Barra		
Capacidad	0,5 %	Ancho (m)	2 (l/m)	Litros totales
<b>800</b>	4	15	30	34
<b>3000</b>	15	21	42	57
<b>4200</b>	21	36	72	93

Tabla 3. Máximo volumen residual para pulverizadores hidráulicos (barras)

Fuente: TOPPS

Volumen residual total (L) EN 12761-3		
Capacidad del depósito	%	Litros totales
<b>400</b>	4 %	16
<b>800</b>	3 %	24
<b>1500</b>	2 %	30

Tabla 4. Máximo volumen residual para pulverizadores hidroneumáticos (atomizadores)

Fuente: TOPPS

El lavado y enjuagado del interior del pulverizador tiene una importancia fundamental en las características del volumen de residuos que serán gestionados por el sistema de bio-purificación. Según ensayos realizados por Debaer et al. (2008), se ha demostrado la importancia de la dilución del volumen residual del pulverizador con la práctica del triple enjuagado.

En los ensayos realizados para pulverizadores hidráulicos, el contenido de materias activas en el volumen residual era de 2900 g mientras que la muestra tras el triple enjuagado era de 40 g, por lo tanto, se redujo un 98,6 % respecto al testigo sin diluir.

### 3.6.3. Limpieza externa del equipo de tratamiento

A parte del volumen residual del depósito y del generado en la limpieza interna de este, hay que tener en cuenta el generado en la limpieza externa del equipo de tratamiento.

Según un estudio realizado por Wenneker et al. (2008), una limpieza externa periódica reduciría el riesgo de acumulación de residuos y de sobredosis durante las actividades de limpieza o lluvia se minimizarían. Sin embargo, es importante reconocer las principales razones para esta situación; p.ej. consideraciones económicas o ignorancia.

Un estudio sobre la limpieza externa del equipo realizado por Debaer et al. (2008) con pulverizadores hidroneumáticos ha mostrado que se puede eliminar con cierta facilidad un 97,5% de los residuos fitosanitarios depositados sobre la superficie externa del depósito del equipo si la limpieza se realiza justo después de la realización del tratamiento, cuando este aún sigue húmedo. Las necesidades de agua para la limpieza son de 2,55 l/m<sup>2</sup> de depósito. Sin embargo, cuando este se realiza tras 10 horas desde el tratamiento, se llega a eliminar solo un 70 % de los residuos con unas necesidades de agua para la limpieza de 12,75 l/m<sup>2</sup> de depósito; y llegando al 40 % si transcurren más de 20 horas con unas necesidades de 127,5 l/m<sup>2</sup> de depósito.

Por lo tanto, este estudio muestra la importancia de la limpieza externa del equipo de tratamiento cuando este aún continúa húmedo, ya que resulta mucho más eficiente y reduce de manera significativa el uso de agua.

Debido a ello, es conveniente la limpieza del equipo en la zona de limpieza en el caso en el que el tratamiento haya sido realizado cerca. En el caso contrario, si este se encuentra lejos de la zona de limpieza es más eficiente llevar a cabo la limpieza externa en campo cuando el residuo continúa húmedo, ya que se estima que la diferencia de gasto de agua para la limpieza de un pulverizador estándar es de 100 litros entre llevarla a cabo cuando este se encuentra húmedo a cuando se encuentra seco.

A través de esta gestión de la limpieza externa se produce un menor volumen de agua contaminada, reduciendo así el volumen a tratar por el sistema de bio-purificación y, por lo tanto, sus necesidades de tamaño.

## 4. Dimensionamiento de la instalación para la ESEA Tomás Ferro

### 4.1. Características de la explotación

La Estación Experimental Agroalimentaria Tomás Ferro se encuentra situada frente al Polígono Industrial de La Palma y cuenta con una superficie de aproximadamente 10 hectáreas. La finca cuenta con numerosos invernaderos destinados especialmente a diversos cultivos hortícolas y ornamentales, también presentes en cultivo al aire libre, y plantaciones de distintas variedades tanto de cítricos como de frutales. El tipo de cultivo es muy importante a la hora de dimensionar el sistema ya que determina la frecuencia de pulverización.



*Figura 14. Imagen aérea de la ESEA Tomás Ferro.*

*Fuente: SIGPAC*

Además, la finca cuenta con una zona de llenado y limpieza para los equipos de tratamiento fitosanitario, situada en la parte lateral de la nave agrícola donde se almacena la maquinaria y los productos fitosanitarios de la explotación, entre otros insumos.



*Figura 15. Zona de llenado y limpieza en ESEA Tomás Ferro.*

La zona de llenado y limpieza cuenta con:

- Pavimento hormigonado y ligeramente inclinado.
- Una entrada de agua con una caída desde arriba.
- Válvula de cuarto de vuelta para apertura y cierre.
- Plataforma adecuada para aproximarse sin dificultad a la boca de llenado.
- Instalación de agua con alta y baja presión.

- Una canaleta para la salida y recuperación del agua de la zona de llenado y limpieza. Cuenta con doble circuito de evacuación para separar las aguas usadas en la limpieza de otras sin contaminar.
- Depósito subterráneo para almacenar el agua residual.
- Fuente lavaojos y fregadero para limpieza de elementos del equipo de protección individual.

#### 4.1.1. Tratamientos fitosanitarios

La ESEA cuenta con dos equipos de tratamiento fitosanitario; un pulverizador hidroneumático (atomizador) marca Hardi de 600 litros y un pulverizador hidráulico de barras marca Hardi de 600 litros, como se pueden ver respectivamente en la Figura 16. Ambos equipos son de acoplamiento suspendido al tractor.



*Figura 16. Equipo de tratamiento fitosanitario de la ESEA Tomás Ferro.*

Para el control de las plagas, enfermedades y malas hierbas se realizan numerosos tratamientos en los distintos cultivos de la finca. A lo largo del año se realizan una media de: 2 aplicaciones de herbicida, donde se utiliza el glifosato o glufosinato amónico como materias activas; y 14 aplicaciones de insecticidas, fungicidas, acaricidas, etc., las materias activas más frecuentes en este caso son imidacloprid, cipermetrina, abamectina, tau-fluvalinato, oxiclóruo de cobre, azufre, spiromesifen y piretinas.

Las aplicaciones de herbicida se realizan con un volumen de caldo de 200 litros por cada tratamiento, mientras que los tratamientos contra plagas y enfermedades se suelen realizar con el equipo de tratamiento lleno (600 litros).

Sin embargo, el número de tratamientos de la ESEA Tomás Ferro son muy variables en cada año, ya que depende de las especies cultivadas para los diferentes proyectos que se llevan a cabo.

#### **4.1.2. Volumen de residuos generados**

Para conocer aproximadamente el volumen de agua residual que se genera en la explotación es necesario calcular el volumen total por restos en el depósito del pulverizador, el volumen generado por la limpieza interior del depósito y el volumen generado por la limpieza externa de los equipos de tratamiento.

En el caso del volumen total de restos de tratamiento en el depósito, es necesario conocer las aplicaciones que se realizan con cada pulverizador y conocer o calcular el volumen que permanece en el equipo y no puede ser distribuido. En el caso del pulverizador hidroneumático, la media de tratamientos es de 10, mientras que con el pulverizador hidráulico es de 6.

Según la normativa para pulverizadores hidroneumáticos EN 12761-3, el volumen residual total para un depósito de 400 litros es del 4 % mientras que para el depósito de 800 litros es del 3 %. Como el depósito del atomizador utilizado en la explotación es de 600 litros, mediante interpolación se obtiene que el volumen residual total es del 3,5 %. Por cada depósito del pulverizador hidroneumático, el volumen residual total es de 21 litros. Por lo tanto, el volumen residual total generado en los 10 tratamientos es de 210 litros.

Según la normativa para pulverizadores hidráulicos EN 12761-2, el volumen residual total para un depósito es del 0,5 % de la capacidad del depósito más 2 litros por metro de longitud de la barra. Como el depósito del atomizador utilizado en la explotación es de 600 litros y la longitud de la barra es de 10 m, el volumen residual total por cada depósito es de 23 litros. Por lo tanto, el volumen residual total generado en los 6 tratamientos es de 138 litros.

El volumen residual total generado en los tratamientos es de 348 litros. Al volumen de restos de caldo que el equipo no es capaz de distribuir hay que añadir, en el caso de que no haya sido pulverizado todo, el excedente del tratamiento realizado. El excedente puede ser un volumen pequeño si los cálculos han sido buenos o puede ser alto si ha habido un error en el cálculo o el tratamiento no se ha realizado de la manera correcta.

Al realizar tratamientos herbicidas y tratamiento para el control de plagas y enfermedades con el pulverizador hidráulico, es imprescindible la limpieza interior del equipo. Según un estudio realizado por el INRA, la tasa de flujo de un limpiador con agua a presión es de aproximadamente 10 litros por minuto. La cantidad de agua puede ser inferior a 100 litros por pulverizador y lavado.

En el caso de la limpieza exterior, como los tratamientos se realizan muy próximos a la zona de limpieza de la explotación, se lava cuando los residuos presentes sobre el equipo de tratamiento aún se encuentran húmedos, siendo su eliminación más fácil y generando menor volumen de agua residual. Según un estudio realizado por Debaer et al. (2008), el agua limpia necesitada para la limpieza exterior, cuando los residuos aún se encuentran húmedos, es de 25-30 litros por lavado.

Se estima que el volumen total de residuos fitosanitarios generados en la explotación, teniendo en cuenta: los restos de tratamiento, la limpieza externa e interna, derrames en la preparación y llenado del equipo, salpicadura o pérdidas del tanque del pulverizador; es de unos 1500 litros.

## 4.2. Dimensionamiento

### 4.2.1. Tamaño y esquema del sistema

El sistema de bio-purificación elegido es un biofilter modificado con cubierta vegetal. La elección del biofilter se basa en que este se adapta mejor a las características de la explotación, el montaje es más sencillo, necesita menos espacio y es más económico.

Según TOPPS, se necesita 1 m<sup>3</sup> de sustrato activo por cada 1500 litros de residuos fitosanitarios. Por lo tanto, para poder gestionar el volumen de residuos fitosanitarios generado a lo largo del año, se ha optado por montar dos contenedores en paralelo que aproximadamente suman entre ambos 1 m<sup>3</sup> de sustrato activo, y así poder comparar su evolución y comportamiento ante diferentes condiciones y manejo.

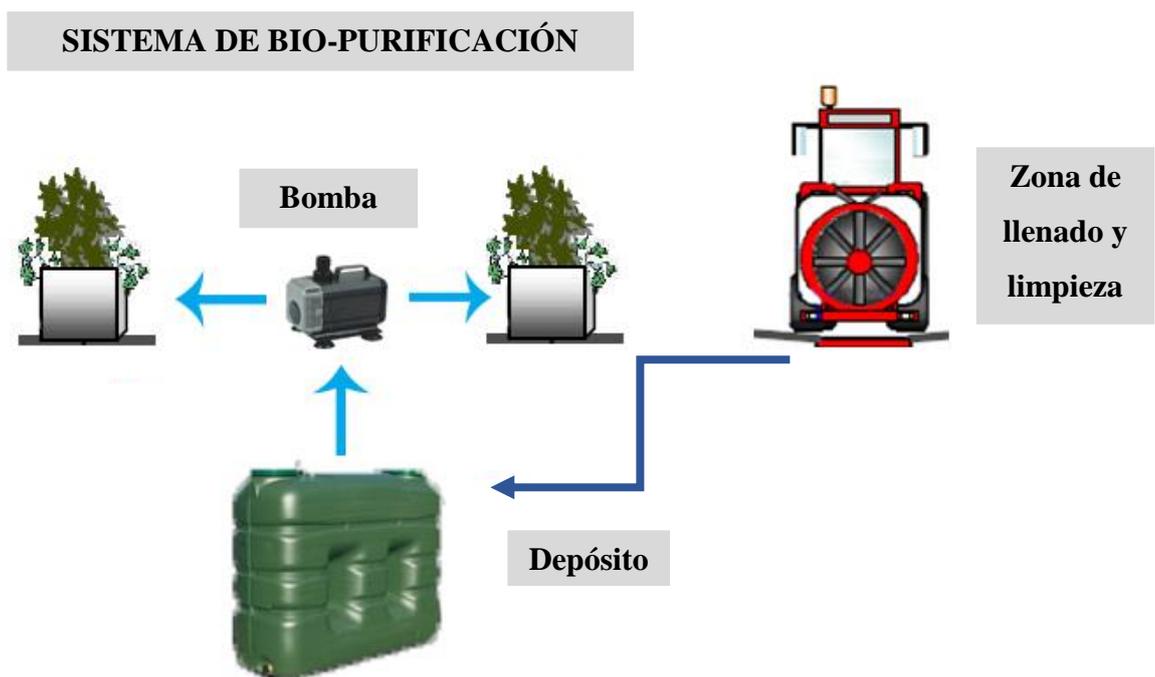


Figura 17. Esquema simplificado del sistema de bio-purificación diseñado.

Debido a que los tratamientos fitosanitarios con herbicidas son escasos, la concentración de estos es reducida, haciendo posible la supervivencia de las plantas en el sistema. Como se ha mencionado anteriormente, una cubierta vegetal mejora la eficiencia del sistema. En el caso del depósito para la gestión del volumen de residuos, es suficiente con que este sea de 1000 litros de capacidad.

#### **4.2.2. Contenedor, estructura y cubierta**

El modelo de contenedor elegido para el sistema es el que generalmente se utiliza como palot para el transporte y almacenado de productos agrícolas, en este caso, con las paredes y el fondo cerrados.

Como se ha mencionado anteriormente, para evitar problemas de sobresaturación del sistema es conveniente evitar la entrada en el sistema de agua de lluvia mediante la instalación de una cubierta. Para ello, es necesario el montaje de una estructura donde anclar la cubierta sobre el contenedor. Además, la cubierta debe de ser transparente para asegurar la suficiente luz para el desarrollo de la vegetación.

Es imprescindible que la estructura cuente con altura suficiente entre el contenedor y la cubierta para el desarrollo óptimo de la vegetación.

#### **4.2.3. Mezcla de sustrato seleccionada**

Para obtener unas condiciones óptimas para el buen funcionamiento del sistema de bio-purificación es imprescindible la elaboración de una biomezcla con distintos sustratos. La composición de la mezcla activa o biomezcla es crucial para la absorción de las materias activas y determina la cantidad, la actividad y la diversidad de los microorganismos responsables de la degradación de los pesticidas y de sus metabolitos, así como la robustez del sistema con respecto a altas concentraciones, mezclas y aplicaciones repetidas de estos residuos fitosanitarios.

En nuestro caso, para la formación de la mezcla activa en el sistema de bio-purificación se ha utilizado tierra local mezclada con sustrato orgánico a partes iguales. La tierra utilizada proviene del terreno cultivable de la propia finca. Debido a que en estas parcelas se han realizado tratamientos fitosanitarios con anterioridad, la porción de tierra extraída contiene microorganismos adaptados, que son beneficiosos para la degradación de las materias activas.

En el caso del sustrato orgánico, se utiliza para incrementar la capacidad de absorción de este sobre las moléculas tóxicas a tratar. Además, el sustrato ayuda a conservar el nivel de oxígeno necesario para la actividad de los microorganismos presentes en el suelo

activo; y permite aumentar el contenido de agua debido a su gran capacidad de almacenamiento de esta, mejorando el funcionamiento y el rendimiento del sistema de bio-purificación.

#### **4.2.4. Cubierta vegetal**

En este caso, se han combinado como cubierta vegetal tres especies. Estas plantas han sido elegidas principalmente por su fácil disponibilidad, su óptimo desarrollo en sustratos permanentemente húmedos y por ser tolerantes a la contaminación del agua. Es aconsejable conseguir las plantas en ambientes cercanos, para favorecer su rápida aclimatación.

#### **4.2.5. Distribución del agua contaminada**

Los residuos almacenados en el depósito deben ser distribuidos de forma uniforme en toda la superficie del sistema. Para conseguir esto se han utilizados dos métodos, en el centro de un contenedor se ha instalado un aspersor de bajo caudal y en segundo contenedor se han colocado varias filas de tuberías con goteros integrados.

La humedad en la biomezcla debe ser lo suficientemente alta como para promover los procesos microbianos y la solubilización de las materias activas, pero aun así dejar suficiente espacio en poros para que el oxígeno soporte los procesos aeróbicos. Además, los niveles de humedad cercanos a la saturación aumentan el riesgo de lixiviación y promueven los procesos anaeróbicos.

La impulsión del agua residual se realiza mediante una bomba sumergible de bajo caudal, colocada dentro del depósito. Además, dentro del depósito también es conveniente instalar un sensor de nivel, este permite detener el funcionamiento de la bomba en el caso de que el nivel de agua residual sea muy bajo para no dañarla.

Por último, también es conveniente instalar un pequeño filtro entre la bomba y los emisores de riego para evitar obstrucciones.

## 5. Adquisición de los materiales y montaje

### 5.1. Materiales

#### 5.1.1. Depósito

Deposito soterrado de 1000 L de volumen, fabricado con polietileno reciclable. Su superficie interior es lisa para facilitar la limpieza y mejorar la conservación de la calidad del agua. Sus dimensiones son 1,91 x 0,93 x 1,1 m.

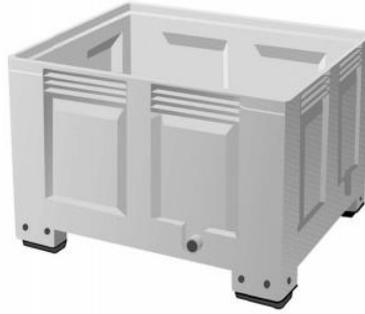


*Figura 18. Depósito del sistema de bio-purificación.*

*Fuente: [www.grafiberica.com](http://www.grafiberica.com)*

#### 5.1.2. Contenedores

Contenedor de polietileno de alta densidad, con base y laterales cerrados y unas dimensiones de 1,2 x 1 x 0,76 m. Sus dimensiones internas son 1,11 x 0,91 x 0,61 m. Son necesarias dos unidades.



*Figura 19. Contenedor del sistema de bio-purificación.*

*Fuente: Paletplastic*

### **5.1.3. Estructura y cubierta**

La estructura para el soporte y anclaje de la cubierta esta construida con tubo cuadrado de acero inoxidable de 25 mm y un espesor de 1,5 mm. Esta debe de contar con una cierta inclinación para favorecer la salida del agua a través de la cubierta soportada.

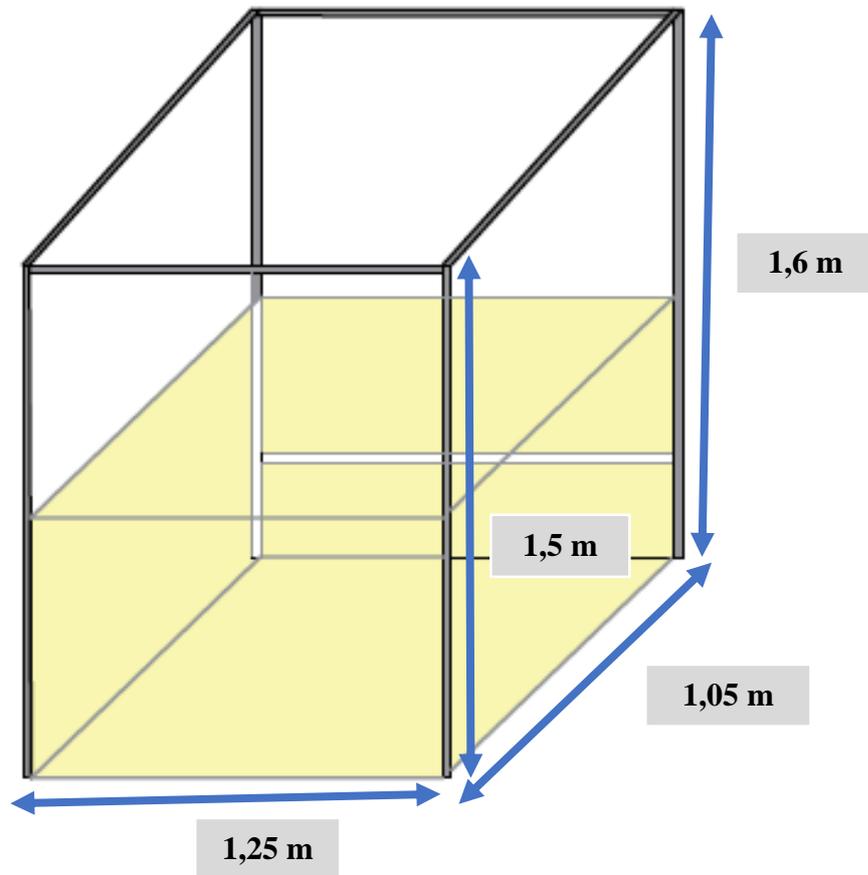


Figura 20. Estructura para el soporte de la cubierta. Medidas exteriores.

La cubierta esta formada por dos placas de policarbonato, por cada contenedor, este material es transparente para asegurar la suficiente luz para la cubierta vegetal. Las placas adquiridas tienen unas dimensiones de 2,5 x 0,9 m.

#### 5.1.4. Materiales para el riego

Se ha seleccionado una bomba sumergible con un caudal máximo de 2500 l/h, altura máxima de 2,5 metros y alimentación monofásica de 230 V.



*Figura 21. Bomba sumergible para alimentación del sistema.*

*Fuente: [www.agroterra.es](http://www.agroterra.es)*

Los materiales necesarios para llevar el líquido contaminado desde la bomba hasta su distribución en el sustrato activo son:

- Un filtro de malla pequeño.
- Tubería de PVC de 25 mm de diámetro.
- Manguera portagoteros de 16 mm.
- Válvulas de PVC de 32 mm de diámetro para el drenaje del contenedor.
- Aspersor y goteros.

#### **5.1.5. Materiales para la instalación eléctrica**

Para la instalación eléctrica ha sido necesario adquirir:

- Temporizador con enchufe.
- Caja de conexiones para de superficie con puerta.
- Controlador de nivel Omron.
- Conversor Omron con CA/CC con salida a 24V.
- Sonda de nivel.
- Enchufes, riel, relé y cableado.

### 5.1.6. Planta seleccionada y sustrato

Para la elección de las plantas se ha tenido en cuenta que estas tienen que desarrollarse en condiciones de alta humedad para una mejor eficiencia en la degradación.

- Juncos: Su nombre científico es *Juncus acutus*, perteneciente a la familia *Juncaceae*. Su hábitat natural corresponde a zonas húmedas o encharcadas, desarrollándose en suelos con pH entre 4 y 9. Es una planta herbácea perenne, cuya parte aérea permanece verde durante varios ciclos vegetativos y la parte subterránea forma rizomas de desarrollo horizontal, para su propagación vegetativa.
- Lirios: Su nombre científico es *Iris pseudacorus*, perteneciente a la familia *Iridaceae*. Crece en zonas húmedas e incluso encharcadas. Se trata de una planta rizomatosa perenne cuya parte aérea se reduce notablemente en invierno. Soporta temperaturas calurosas.
- Aneas: Su nombre científico es *Typha latifolia*, perteneciente a la familia *Typhaceae*. Es capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, siendo ideal para suelos muy húmedos. Planta robusta, perenne y cuenta con un sistema radicular rizomatoso. El ciclo de desarrollo es anual, siendo en primavera cuando la planta brota. Se propaga fácilmente y es capaz de producir una biomasa anual grande.

Estas plantas tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de sus hojas y tallos hasta la zona de las raíces. Este oxígeno favorece la actividad de los microorganismos para determinadas reacciones de degradación.

Para la elaboración de la mezcla activa se han adquirido cuatro sacos de 70 litros de turba.

## **5.2. Montaje**

### **5.2.1. Colocación de la estructura y cubierta**

Lo primero de todo, antes de colocar los contenedores, ha sido preparar una buena base sólida y nivelada para ellos. Esta se ha realizado con hormigón y ladrillos sobre el depósito para aprovechar mejor el espacio. Una vez realizado esto, se han colocado los contenedores en sus emplazamientos con unos pequeños tacos en los apoyos de uno de sus lados, para que este cuente con una pendiente que favorezca el drenaje por la salida que posteriormente se realizó.

Una vez hecho esto, se ha procedido a colocar la estructura. Esta está montada por la parte exterior del contenedor, rodeándolo y estando apoyado al suelo a la vez que está atornillado al contenedor. Además, para más seguridad en caso de viento, se ha colocado una barra perpendicular a los apoyos, uniendo la parte trasera de la estructura a la del contenedor.

Tras la estructura se procede a colocar sobre ella la cubierta. Para ello han sido necesarias dos laminas por cada contenedor, ya que una sola no cuenta con el ancho suficiente. La cubierta ha sido anclada mediante tornillos de rosca chapa a la estructura. Además, ha sido cortada con suficiente anchura y longitud para evitar la entrada de agua de lluvia, aunque llegue de forma inclinada.



*Figura 22. Montaje de la estructura y cubierta.*

### **5.2.2. Drenaje y biomezcla**

Antes de llenar el contenedor con la mezcla de sustratos, es necesario cubrir la base del contenedor con una fina capa de grava, para favorecer una correcta extracción de los lixiviados en caso de saturación del sistema. El orificio de salida se ha colocado una malla para evitar que este se tapone. Además, el contenedor debe de estar ligeramente inclinado para favorecer la salida. Además, en la parte exterior del orificio se ha colocado una válvula de PVC para gestionar el drenaje del sistema.

Posteriormente, con la ayuda de una hormigonera y una pala, se ha procedido a la mezcla del sustrato activo. Esta mezcla activa está compuesta por turba y tierra de la explotación a partes iguales. Con esta mezcla se ha llenado los dos contenedores hasta  $\frac{3}{4}$  partes de su capacidad.



*Figura 23. Incorporación de grava y mezcla de sustratos.*

### **5.2.3. Instalación eléctrica**

La instalación se ha realizado en una caja de conexiones situada entre los dos contenedores del sistema de bio-purificación donde además también se encuentra la entrada del depósito. El suministro de corriente proviene de una toma de la nave que se encuentra junto al sistema.

Posteriormente, se ha instalado dos enchufes en la caja de conexiones. En uno de ellos se ha colocado el temporizador, donde a su vez ha sido enchufada la bomba, situada en el interior del depósito.

En la caja de conexiones también se han instalado en un carril el controlador de nivel, un convertidor de 230 V a 24 V CC y un relé. Para su funcionamiento, se ha conectado el controlador de nivel, alimentado por corriente proviene del convertidor a 24 V. A su vez, el controlador está conectado a la sonda de nivel, situada en el depósito. El relé interrumpe la alimentación de la bomba cuando el nivel de agua residual se encuentra por debajo del electrodo que marca nivel mínimo.

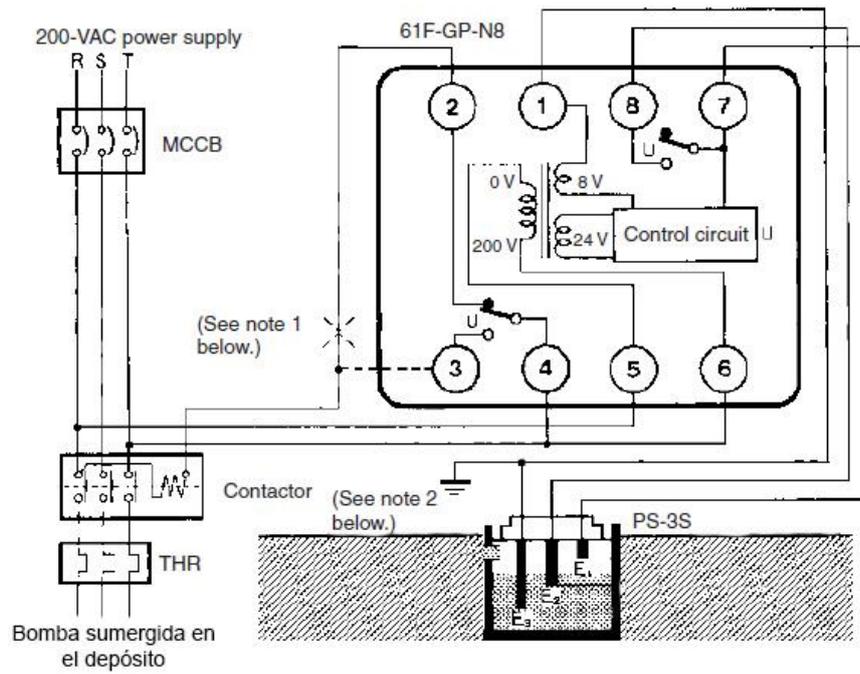


Figura 24. Esquema para automatización de drenaje de agua.

Fuente: Omron

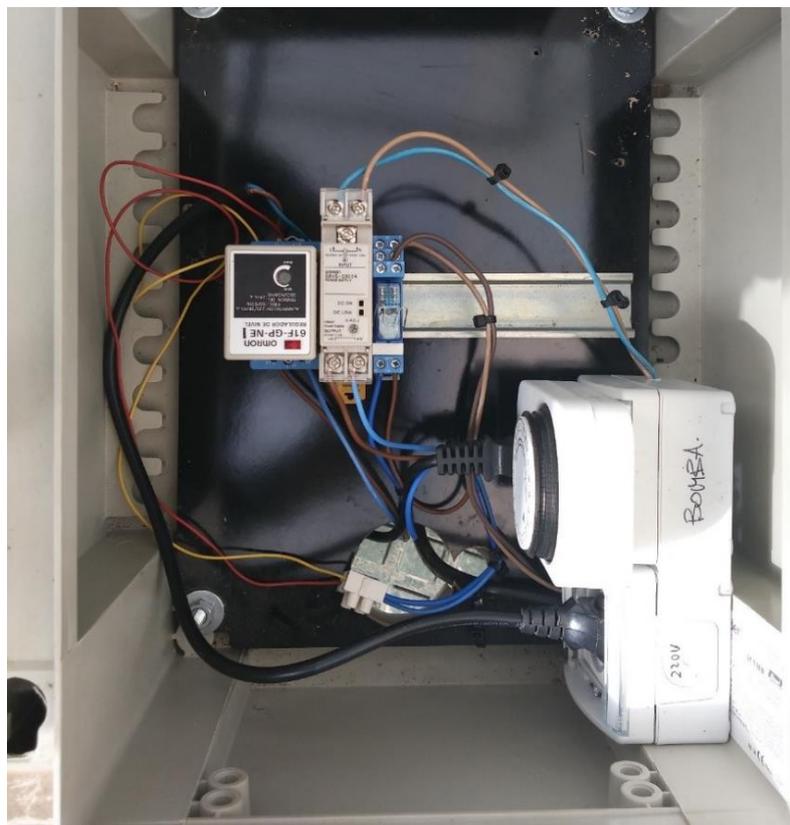


Figura 25. Instalación eléctrica en la caja de conexiones.

#### 5.2.4. Plantación de la cubierta vegetal

La plantación se ha realizado colocando cuatro filas con cuatro plantas cada una, es decir, 16 plantas por contenedor. De las cuatro filas, una es de lirios, una de juncos, una de aneas y la última está formada por las tres especies de manera alterna.



*Figura 26. Plantación de la cubierta vegetal.*

La plantación de las tres especies empleadas se ha realizado mezclando estas por filas en los dos contenedores, debido a que en cada uno de estos se ha instalado un sistema de riego distinto, no pudiendo así separar las especies por contenedores para una mejor evaluación.

La plantación se ha realizado muy espesa, ya que lo normal es separar más entre si las plantas y tener un menor número de plantas debido a su gran desarrollo. Esto se debe al mal estado de las plantas y al riesgo de secado de estas por el agua residual, logrando así poder tener más plantas para realizar el seguimiento y la valoración final.

Una vez realizada la plantación, esta ha sido regada durante una semana con agua de riego de la explotación, es decir, agua sin residuos. Esto se realiza para no dificultar la adaptación de las plantas al sustrato activo, ya que de por sí, estas no han llegado en buen estado. Una vez transcurrida esta semana de riego manual con agua no residual, se colocaron las mangueras de riego con los emisores para la puesta en marcha del sistema con agua residual.

### 5.2.1. Instalación de riego

En el caso de la instalación de riego, se ha instalado en la bomba una tubería de PVC hasta el exterior del depósito, donde se ha colocado un filtro de malla para evitar obturaciones en los emisores. Tras el filtro, la tubería se divide para ir a cada contenedor mediante manguera portagoteros.

En uno de los contenedores se ha colocado solo una fila de manguera sobre la superficie del sustrato activo, colocando en el centro de esta un aspersor. En el caso del segundo contenedor, se han colocado dos filas de manguera portagoteros, que posteriormente se ampliaron a cinco, todas ellas con goteros de 4 l/h integrados cada 30 cm.



*Figura 27. Tuberías de distribución del agua contaminada*

### 5.3. Costes de la instalación

<b>MATERIALES</b>			
<b>Contenedores y cubierta</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (ud)</b>	<b>Precio (€/ud)</b>	<b>Importe (€)</b>
Materiales base hormigón		100,00 €	100,00 €
Contenedor	2	84,00 €	168,00 €
Estructura de acero inox.	2	50,00 €	100,00 €
Cubierta	3	18,95 €	56,85 €
	<b>Subtotal</b>		<b>424,85 €</b>
<b>Instalación eléctrica</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (ud)</b>	<b>Precio (€/ud)</b>	<b>Importe (€)</b>
Caja de conexiones con puerta	1	100,00 €	100,00 €
Enchufe temporizador	1	8,50 €	8,50 €
Toma de corriente estanca	1	7,50 €	7,50 €
Controlador de nivel Omron	1	156,00 €	156,00 €
Convertidor Omron con CA/CC con salida a 24V	1	101,00 €	101,00 €
Relé	1	10,00 €	10,00 €
Cableado y otros componentes		14,00 €	14,00 €
	<b>Subtotal</b>		<b>397,00 €</b>
<b>Instalación de riego y drenaje</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (ud)</b>	<b>Precio (€/ud)</b>	<b>Importe (€)</b>
Depósito soterrado de 1000 L.	1	395,00 €	395,00 €
Bomba	1	75,00 €	75,00 €
Filtro de malla	1	13,00 €	13,00 €
Válvula de PVC Ø 25 mm	2	5,50 €	11,00 €
Tubería de PVC Ø 25 mm (6 m)	1	6,00 €	6,00 €
Tubería portagoteros	1	5,00 €	5,00 €
Otros componentes de riego		4,50 €	4,50 €
	<b>Subtotal</b>		<b>509,50 €</b>

<b>MATERIALES</b>			
<b>Sustrato activo y plantación</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (ud)</b>	<b>Precio (€/ud)</b>	<b>Importe (€)</b>
Turba 70 L	4	7,19 €	28,76 €
Grava (m3) y porte	1	20,00 €	20,00 €
Planta ( <i>Juncus acutus</i> )	11	0,50 €	5,50 €
Planta ( <i>Iris pseudacorus</i> )	11	0,54 €	5,94 €
Planta ( <i>Typha latifolia</i> )	11	0,50 €	5,50 €
<b>Subtotal</b>			<b>65,70 €</b>
<b>TOTAL</b>			<b>1.397,05 €</b>

Tabla 5. Coste de los materiales utilizados por capítulos.

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>Descripción</b>		<b>Cantidad (h)</b>	<b>Precio (€/h)</b>	<b>Importe (€)</b>
Peón	Colocación depósito	1	12,00 €	12,00 €
Peón	Limpieza y base de hormigón	3	12,00 €	36,00 €
Peón	Montaje cubierta	1,5	12,00 €	18,00 €
Peón	Montaje sistema riego	2	12,00 €	24,00 €
Peón	Preparación sustrato activo y plantación	3	12	36,00 €
Electricista	Montaje instalación eléctrica	2,5	15,00 €	37,50 €
<b>TOTAL</b>				<b>163,50 €</b>

Tabla 6. Coste de la mano de obra.

<b>MAQUINARIA</b>				
<b>Descripción</b>		<b>Cantidad (h)</b>	<b>Precio (€/h)</b>	<b>Importe (€)</b>
Retroexcavadora	Excavación y colocación depósito	2	33,00 €	66,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>66,00 €</b>

Tabla 7. Coste de la maquinaria.

<b>COSTES TOTALES</b>	
Descripción	Importe (€)
Materiales	1.397,05 €
Mano de obra	163,50 €
Maquinaria	66,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>1.626,55 €</b>

*Tabla 8. Coste total del sistema de bio-purificación.*

El sistema de bio-purificación tiene un coste total de 1.626,55 € y tiene una vida útil estimada de 15 años.

## **6. Puesta en marcha y seguimiento del sistema**

### **6.1. Puesta en marcha del sistema**

Como se ha comentado anteriormente, tras la plantación de la cubierta vegetal, esta ha sido regada manualmente con agua no residual, para una mejor adaptación. Tras esta semana, se ha procedido a colocar las mangueras de riego en los contenedores del sistema y se dio comienzo a la puesta en marcha del sistema.

La puesta en marcha del sistema ha comenzado con el depósito de regulación a más de la mitad de su nivel, debido a los residuos generados en la explotación en los meses anteriores.

La distribución del agua de riego se realiza, en uno de los contenedores, con riego por aspersión mediante un aspersor ubicado en la parte central en uno de los contenedores, mientras que en el otro contenedor se ha colocado dos mangueras con goteros integrados de 4 l/h cada 30 cm.

La programación del riego se ha fijado en riegos diarios con una duración de 15 minutos.

### **6.2. Evolución tras un mes de funcionamiento**

Tras un mes de funcionamiento, la vegetación comienza a desarrollarse y a emitir nuevos brotes.

No se observa la presencia de lixiviados en el fondo de los contenedores.

En cuanto al contenedor con riego por goteo, se ha observado que el volumen de agua aplicado es muy inferior al contenedor con aspersor. Esto se debe a que a pesar de que los emisores integrados son de 4 l/h, debido a la baja presión que llega desde la bomba, el caudal real de estos es muy inferior.

Para solucionar el problema, se ha colocado un recipiente debajo de un gotero y del aspersor (en este caso, con otro recipiente más pequeño encima para que el agua no se disperse y vaya al recipiente inferior) y se ha contabilizado el agua depositada en ellos en un tiempo determinado. Posteriormente se ha calculado el caudal del gotero y del

aspersor. En el caso del gotero el resultado es aproximadamente de 1 l/h mientras que el aspersor es de 21,27 l/h.

Por lo tanto, para evitar el problema del bajo volumen aplicado y la diferencia con respecto al otro contenedor se ha aumentado a cinco las líneas de manguera con emisores, teniendo en cada línea cuatro emisores.

De esta manera, el caudal total aplicado al contenedor con riego por goteo es de aproximadamente 20 l/h mientras que el contenedor con riego por aspersión tiene un caudal de aproximadamente 21 l/h. Es decir, en el riego diario de 15 minutos, el volumen total aplicado es de 5 y 5,25 l/riego respectivamente.

Durante el seguimiento del sistema de bio-purificación, se han realizado fotos a ambos contenedores con similar posición y enfoque para una comparación del desarrollo de la cubierta vegetal en ambos sistemas de riego.



*Figura 28. Resultados tras un mes de funcionamiento. Riego por aspersión.*



*Figura 29. Resultado tras un mes de funcionamiento. Riego por goteo.*

### **6.3. Evolución tras dos meses de funcionamiento**

En cuanto al estado de la vegetación, se aprecia un mayor desarrollo en el contenedor con riego por aspersión. Esto puede deberse al menor volumen aplicado durante el primer mes de desarrollo en el contenedor con riego por goteo. Se observa que la especie con mejor se ha desarrollado durante este periodo son los juncos.

No se observa la presencia de lixiviados en el fondo de los contenedores.



*Figura 30. Resultados tras dos meses de funcionamiento. Riego por aspersión.*



*Figura 31. Resultados tras dos meses de funcionamiento. Riego por goteo.*

#### **6.4. Evolución tras tres meses de funcionamiento**

Se observa que el contenedor de riego por aspersión no se ha desarrollado de manera muy notable respecto al mes anterior, especialmente en el caso de los juncos, que han empeorado notablemente. Sin embargo, en el caso de los ejemplares de lirios, se han desarrollado notablemente a lo largo de este mes a pesar de que uno de estos se ha secado respecto al mes anterior. Además, se observa la presencia de una costra en la superficie del sustrato activo que reduce la capacidad de infiltración del agua contaminada.

En el caso del contenedor de riego por goteo se observa un desarrollo muy notable de todas las especies de la cubierta vegetal, muy por encima del desarrollo en el contenedor con riego por aspersión.

No se observa la presencia de lixiviados en el fondo de los contenedores.

Debido a que la cubierta vegetal se encuentra más desarrollada y el aumento de las temperaturas debido a que se aproxima el verano, se ha procedido a aumentar el tiempo de riego a 30 minutos diarios. Este aumento del tiempo de riego permite aumentar la humedad del sistema y el tratamiento de un mayor volumen de agua contaminada, sin embargo, es necesario prestar atención a la posible presencia de lixiviados en los contenedores. Por lo tanto, a partir de ahora el volumen total de agua contaminada aplicada por riego es de 10 litros en el caso de riego por goteo y 10,5 litros en el caso de riego por aspersión.



*Figura 32. Resultados tras tres meses de funcionamiento. Riego por aspersión.*



*Figura 33. Resultados tras tres meses de funcionamiento. Riego por goteo.*



*Figura 34. Sistema de bio-purificación tras 3 meses de funcionamiento.*

## **6.5. Evolución tras seis meses de funcionamiento**

Durante estos meses de primavera y la entrada al verano se ha generado un gran volumen de agua contaminada debido a la gran cantidad de aplicaciones fitosanitarias realizadas en la explotación acompañados de una gran distribución de líquido contaminado en el sistema de bio-purificación.

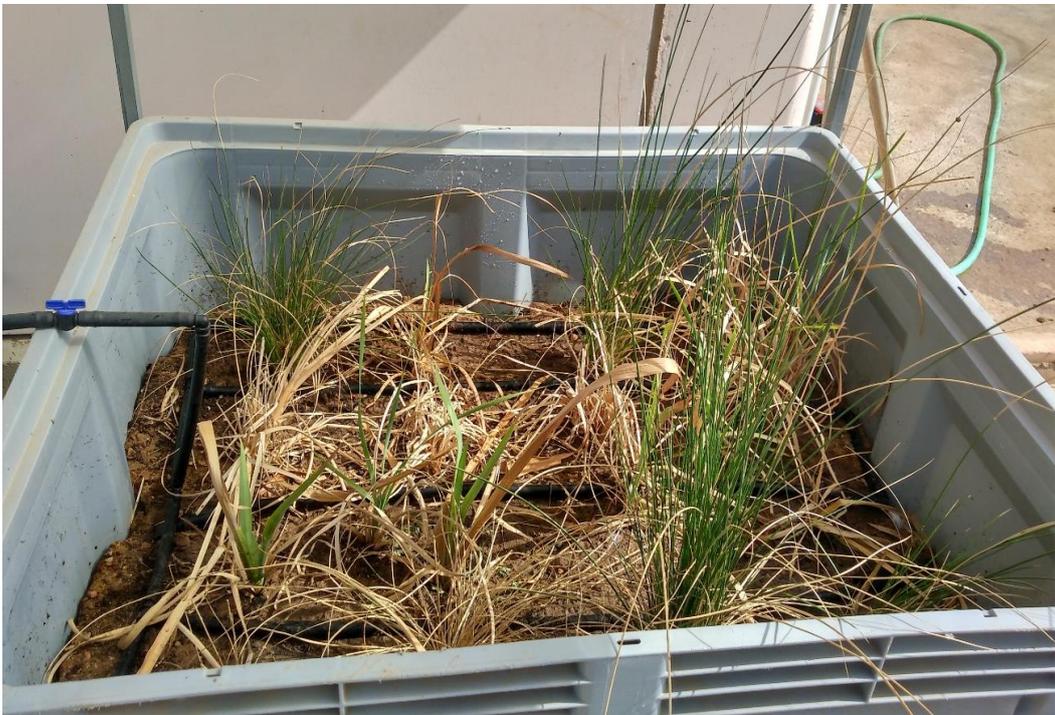
En cuanto a la vegetación, durante estos meses ha tenido un desarrollo notable. Sin embargo, algunas unidades de cada especie se han secado. La vegetación con riego por aspersión ha evolucionado más durante estos meses, llegando a alcanzar en desarrollo a la cubierta con riego por goteo, a pesar de que esta primera se encontraba hace tres meses con un desarrollo menor y peor estado.

Se observa que una parte importante de las hojas se han secado, esto puede deberse a la fitotoxicidad generada por los restos de fitosanitarios, o por alguna causa ajena al sistema como puede ser una deriva de pulverización, ya que este ha causado más daños en el contenedor con riego por goteo y no tanto en el contenedor con riego por aspersión.

No se observa la presencia de lixiviados en el fondo de los contenedores.



*Figura 35. Resultados tras seis meses de funcionamiento. Riego por aspersión.*



*Figura 36. Resultados tras seis meses de funcionamiento. Riego por goteo.*

## 6.6. Evolución tras ocho meses de funcionamiento

Durante estos meses de pleno verano el sistema de bio-purificación ha gestionado una gran cantidad de agua contaminada sin observarse la presencia de lixiviados en el fondo de los contenedores.

En cuanto a la vegetación, las tres especies se han desarrollado de manera muy notable en ambos contenedores. En el caso de los lirios, han comenzado a desarrollarse nuevos tallos por varias zonas del contenedor debido a la distribución de los rizomas por el sustrato.



*Figura 37. Resultados tras ocho meses de funcionamiento. Riego por aspersión.*



*Figura 38. Resultados tras ocho meses de funcionamiento. Riego por goteo.*



*Figura 39. Sistema de bio-purificación tras ocho meses de uso.*

## 6.7. Evolución tras 10 meses de funcionamiento

Durante estos meses se ha producido una rotura en la base de ambos contenedores, por donde ha salido agua residual fuera del sistema. Debido a esto, no se puede evaluar la lixiviación de los contenedores. En la Figura 40 se puede observar el líquido contaminante vertido al exterior por la rotura del contenedor.



*Figura 40. Sistema de bio-purificación tras diez meses de funcionamiento.*

Además, la cubierta vegetal del contenedor con riego por aspersión se encuentra en mal estado, especialmente las especies de lirios y aneas. Esto puede ser debido a fitotoxicidad por la acumulación de sustancias activas tóxicas en los tejidos de las plantas ya que estos tejidos se mojan a diario en la aspersión del agua contaminada. Además, se observa que las plantas más alejadas del aspersor son las que se encuentran en mejor estado, ya que su parte aérea se moja menos.

En cuanto a la cubierta vegetal del contenedor con riego por goteo, se ha producido un notable incremento en su desarrollo de los juncos. No así en aneas y lirios debido a que son especies que al acercarse el invierno la parte aérea se seca.



*Figura 41. Resultados tras diez meses de funcionamiento. Riego por aspersión.*



*Figura 42. Resultados tras diez meses de funcionamiento. Riego por goteo.*

## 7. Resultados

El sistema de bio-purificación diseñado e instalado en la ESEA Tomás Ferro ha resultado ser eficaz y viable para la gestión de agua contaminada con productos fitosanitarios procedente fundamentalmente del volumen residual de los depósitos de los pulverizadores, limpieza interior y exterior de equipos de tratamiento, y el enjuague de envases en la explotación.

No se puede conocer la tasa de degradación de las materias activas en el sistema ya que no se ha realizado una evaluación de su concentración en el sustrato activo debido a su alta complejidad y el alto coste en equipos necesario. Sin embargo, la gran capacidad de degradación de sistemas similares al instalado en la ESEA Tomás Ferro ha sido más que demostrada, tanto por el conocimiento de los procesos de degradación que actúan en el sistema, como por los resultados de diversos estudios en los que se basa el presente documento, que han sido citados en apartados anteriores.

El sistema construido ha sido capaz de gestionar el agua contaminada almacenada antes de su instalación, y la generada en la explotación durante su funcionamiento. Además, no ha surgido ninguna parada por fallo en el funcionamiento de este.

No ha generado lixiviados hasta la rotura de la base de los contenedores. En el caso de presentarse hubiera sido necesario conectar la salida de drenaje con el contenedor mediante una tubería para su recirculación en el sistema.

### 7.1. Evaluación del sistema de riego

Durante el periodo de funcionamiento estudiado, se ha observado que el sistema de riego por aspersión genera sobre la superficie del sustrato activo una costra, que se va acentuando con el paso de los meses y provoca una reducción en la infiltración del agua contaminada. Además, la distribución del agua alcanza las paredes del contenedor, generando un mayor volumen de agua en esas áreas y creando con el paso de los meses de funcionamiento un flujo preferencial entre el sustrato activo y la pared del contenedor, pudiendo llegar a lixiviar. Además, la presión generada por la bomba es insuficiente para

el correcto funcionamiento del aspersor, esto conlleva a que la distribución del agua contaminada no sea homogénea.

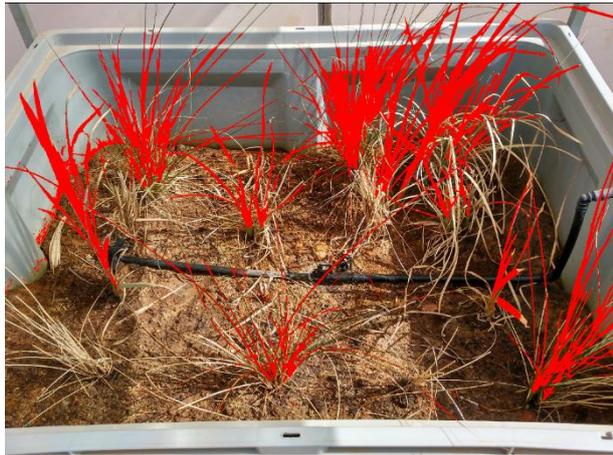
En los últimos meses de seguimiento del sistema, en el contenedor con riego por aspersión se produjo un notable secado de la mayor parte de la cubierta vegetal. Esto puede ser debido a los problemas causados por la acumulación de residuos tóxicos en los tejidos de la planta por el continuo mojado de estos, causando problemas de fitotoxicidad que pueden generar su muerte.

En cuanto al contenedor con riego por goteo, se ha observado un crecimiento de la cubierta vegetal más estable. Su uso no genera contacto entre la parte aérea y el agua contaminada y necesita menos presión de trabajo.

Ambos sistemas de riego no han presentado lixiviación durante los ocho meses que esta pudo evaluarse, debido a la rotura posterior del fondo de los contenedores.

Se ha utilizado una herramienta de software gratuito llamada “imageJ” para una mejor valoración de las diferencias entre el desarrollo de la cubierta de vegetación entre ambos sistemas de riego. Esta herramienta permite calcular el área total de la cubierta vegetal de cada contenedor, a través de la detección del color de los píxeles de la vegetación viva en las fotos tomadas a lo largo del periodo de seguimiento e introducir la escala de la foto mediante una distancia conocida.

Los datos obtenidos no son completamente precisos debido a la superposición entre las plantas y la obtención de las imágenes, pero permite obtener datos medianamente precisos, y lograr una comparación objetiva y fundamentada de ambos sistemas.



*Figura 43. Cálculo del área de la cubierta vegetal con 6 meses de desarrollo a través de “imageJ”.*

*A la izquierda, riego por aspersión. A la derecha, riego por goteo.*

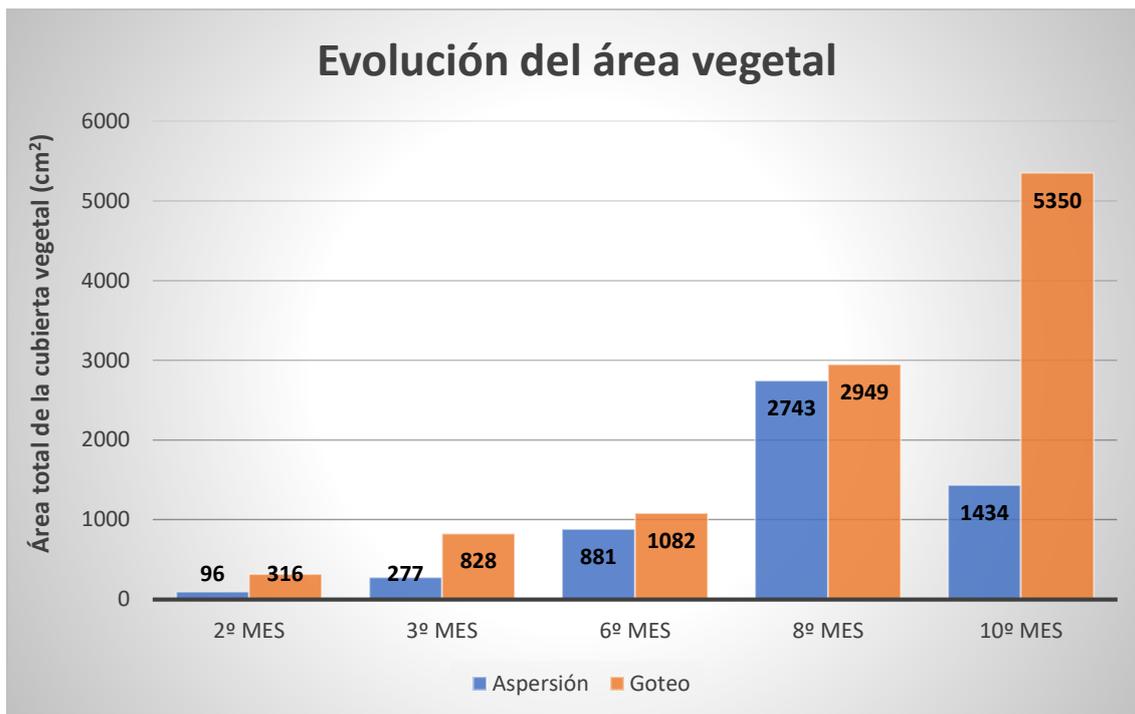


Figura 44. Evolución del área de la cubierta vegetal según el método de riego.

Como se puede observar en la Figura 44, el riego por goteo ha dado unos resultados más óptimos, mientras que, en el caso de riego por aspersión, los resultados son irregulares con un descenso notable en el último periodo del seguimiento.

## 7.2. Evaluación de las especies plantadas

En general, las tres especies han podido adaptarse a las condiciones del sistema de bio-purificación. Sin embargo, no todas estas plantas han logrado sobrevivir debido a la competencia en el desarrollo provocado por un marco de plantación muy denso y a los residuos fitosanitarios distribuidos.

En cuanto a las aneas, su desarrollo ha sido escaso y ligeramente irregular en los primeros meses de seguimiento. Sin embargo, en los últimos meses de crecimiento ha tenido un desarrollo muy notable y apareciendo nuevos brotes por toda el área del sustrato activo. Uno de los aspectos negativos observados es la gran presencia de hojas y tallos secos al ir secándose las partes viejas de la planta, siendo necesaria su retirada para mejorar la entrada de luz.

En cuanto a los lirios, al igual que las aneas, han tenido un crecimiento ligeramente irregular en las primeras etapas de desarrollo. Sin embargo, han alcanzado un desarrollo notable en los últimos meses de seguimiento. No genera tallos secos durante su desarrollo, pero al igual que las aneas, su parte aérea muere con la llegada del invierno mientras que el bulbo perdura para su desarrollo en el año siguiente. Esto genera un descenso en la tasa de degradación durante el invierno y principios de primavera cuando la parte aérea aún es muy reducida.

En cuanto a los juncos, han tenido un desarrollo constante y muy notable, especialmente en los últimos meses de seguimiento. Su tamaño alcanzado es muy vigoroso por lo es necesario un marco de plantación más amplio que el utilizado en este sistema. El uso de juncos con otras especies genera varios problemas, especialmente por su tamaño, ya que dificulta la entrada de luz a plantas con un desarrollo menor o el crecimiento de nuevos brotes. Una de las ventajas del empleo de juncos para la degradación es que la parte aérea permanece verde durante varios años, mejorando así la eficiencia del sistema durante todo el ciclo.

### **7.3. Evaluación económica**

La instalación del sistema de bio-purificación supone un coste total de 1.626,55 €. Este sistema no necesita mantenimiento, siendo suficiente con una revisión ocasional para comprobar el estado del riego y de la cubierta vegetal. La vida útil de este sistema instalado en la ESEA Tomás Ferro es de 15 años, lo que supone una amortización de aproximadamente 108 € al año.

Este coste puede ser muy inferior, ya que la instalación del sistema es muy sencilla, siendo posible el montaje de la mayor parte asequible para cualquier agricultor o personal de la finca. Además, parte de los materiales del sistema son habituales en cualquier explotación agrícola.

Otras alternativas al uso de sistemas de bio-purificación como una instalación de tratamiento físico-químico generan un coste muy superior, siendo inviables en explotaciones medianas o pequeñas.

Otra opción alternativa sería el almacenamiento en la explotación de estos residuos y la contratación de una empresa gestora para su tratamiento, que tiene un coste de 60 €/m<sup>3</sup> incluido el transporte de los mismos. Para ello sería necesario un depósito de gran volumen para el almacenamiento de estos. Lo que resulta en un coste anual de aproximadamente 125 € para la gestión de un volumen residual de 1,5 m<sup>3</sup>, añadiendo la amortización de un depósito de gran volumen.

Por lo tanto, el sistema de bio-purificación es el método de gestión de residuos fitosanitarios más económico.

## 8. Conclusiones

- El sistema de bio-purificación instalado en la ESEA Tomás Ferro ha demostrado ser una forma viable para gestión de los residuos fitosanitarios generados en la explotación.
- En lo que respecta al sistema de riego; los goteros aporta mejores resultados que los aspersores, ya que estos últimos generan costra superficial, dificultado la infiltración del líquido; crea flujo preferencial en las proximidades de las paredes del contenedor debido a que el aspersor moja continuamente la pared del contenedor; crea daños en la vegetación al mojar con productos tóxicos la superficie de la planta en cada riego; y, por último, necesita mayor presión para su correcto funcionamiento.
- En lo que respecta a las especies vegetales ensayadas; las tres (*Juncus acutus*, *Iris pseudacorus* y *Typha latifolia*) han demostrado su capacidad de adaptación para poder ser utilizadas en este tipo de sistemas de bio-purificación.
- En lo que respecta al coste económico, el sistema de bio-purificación propuesto es un método de gestión de residuos fitosanitarios más económico que la retirada por una empresa gestora de residuos.
- Como propuestas de mejora del sistema, se plantea colocar los contenedores sobre una base impermeable, ligeramente inclinada para poder recuperar posibles derrames del contenedor o controlar cualquier posible rotura. Además, sería necesario que los contenedores fueran más resistentes o añadir algún apoyo en el centro para evitar roturas.

## 9. Bibliografía

- Arias-Estévez, M., López-Periago, P., Marínez-Carballo, E., Simal, J., Mejuto, J., García-Río, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123, 247-260.
- Barberá, C. (1989). *Pesticidas agrícolas* (4<sup>a</sup> ed.). Barcelona: Omega.
- Castillo, M., Torstensson, L., Stenström, J. (2008). Biobeds for environmental protection from pesticide use: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6206-6219.
- Coppola, L. (2012). Biopurification system between research and technology transfer. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 3(8).
- Cruz-Guzmán, M. (2007). *La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Debaer, C., Jaeken, J. (2006). Modified biofilters to clean up leftovers from spray loading and cleaning; experience from pilot installations. *Aspects of Applied Biology*, 77, 247-252.
- Debaer, C., Springael, D., Ryckerboer, J., Spanoghe, P., Balsari, P., Taylor, W., Jaeken, P. (2008). Volumes of residual of sprayers and their International Standards: impact on farm water treatment systems. *Aspect of Applied Biology*, 84, 193-199.
- De Wilde, T. (2009). *Sorption and degradation of pesticides in biopurification systems*. PhD Thesis. Belgium: Ghent University.
- De Wilde, T., Mertens, J., Simunek, J., Sniegowski, K., Ryckeboer, J., Jaeken, P., Springael, D., Spanoghe, P. (2009). Characterizing pesticide sorption and degradation in microscale biopurification systems using column displacement experiments. *Environmental Pollution*, 157, 463-473.
- De Wilde, T., Spanoghe, P., Debaer, C., Ryckeboer, J., Springael, D., Jaeken, P. (2007). Overview of on-farm bioremediation systems to reduce the occurrence of point source contamination. *Pest Manag Sci*, 63 (2), 111-128.

- De Wilde, T., Spanoghe, P., Ryckeboer, J., Jaeken, P., Springael, D. (2010). Transport and degradation of pesticides in a biopurification system under variable flux, part I: A microcosm study. *Environmental Pollution*, 158 (10), 3309-3316.
- Diez, M.C., Schalchli, H., Elgueta, S., Salgado, E., Millahueque, N., Rubilar, O., Tortella, G.R., Briceño, G. et al. (2015). Rhizosphere effect on pesticide degradation in biobeds under different hydraulic loads. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 410-421.
- Fernández, M., López M.I., Serrano, N., Ortiz, F., Alfonso, J.M., López, J., Martín, R.A., Yruela, M.C. (2017). *Aplicación de productos fitosanitarios*. Sevilla: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.
- Fogg, P., Boxall, A., Walker, A. (2003). Degradation of pesticides in biobeds: the effect of concentration and pesticide mixtures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(18), 5344-5349.
- Fogg, P., Boxall, A., Walker, A., Jukes, A. (2004). Leaching of pesticides from biobeds: effect of biobed depth and water loading. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20), 6217-6227.
- Karanisios, E., Tsiropoulos, N.G., Karpouzas, D.G. (2012). On-farm biopurification systems for the depuration of pesticide wastewaters: recent biotechnological advances and future perspectives. *Biodegradation*, 23(6), 787-802.
- Malato, S., Fernández-Ibáñez, P., Maldonado, M.I., Blanco, J., Gernjak, W. (2009). Descontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catalysis Today*, 147, 1-59.
- Márquez, L. (2008). *Buenas prácticas agrícolas en la aplicación de los fitosanitarios*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Morell, I., Candela, L. (1998). *Plaguicidas: Aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos*. Castellón de la Plana: Universidad Jaume I.
- Pigeon, O., De Vleeschouwer, C., Cors, F., Weichmans, B., De Ryckel, B., Pussemier, L., Debongnie, P., Culot, M. (2005). Development of biofilters to treat the pesticides wastes from spraying applications. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 70(4), 1003-1012.

- Roettele, M., Balsari, P., Doruchowski, G., Petersen, P.H. (2010). Sprayer development needs more focus on mitigation of environmental risks arising from point source water pollution. *Aspects of Applied Biology*, 99, 123-132.
- Rojas, R. (2016). Desarrollo de métodos para la reducción de la contaminación por plaguicidas en aguas subterráneas mediante la adición de residuos orgánicos a los suelos. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Sharma, S. (2012). Bioremediation: Features, Strategies and Applications. *Asian Journal of Pharmacy and Life Science*, 2(2), 202-213.
- Spanoghe, P., Maes, A., Steurbaut, W. (2004). Limitation of point source pesticide pollution: results of bioremediation system. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 69(4), 719-732.
- Torstensson, L. (2000). Experiences of biobeds in practical use in Sweden. *Pesticide Outlook*, 11(5), 206-211.
- Train the Operators to prevent Pollution from (TOPPS). Sistemas de gestión de residuos de fitosanitarios en explotaciones agrícolas. 3/12/2018 [http://www.topps-life.org/uploads/8/0/0/3/8003583/\\_topps\\_brochure\\_bio\\_purification\\_systems\\_\\_master.pdf](http://www.topps-life.org/uploads/8/0/0/3/8003583/_topps_brochure_bio_purification_systems__master.pdf)
- Vidali, M. (2001). Bioremediation. An overview. *Pure Appl.* 73(7), 1163-1172.
- Vázquez, J. (2003). Aplicación de productos fitosanitarios: Técnicas y equipos. Madrid: Agrotécnicas.
- Wenneker, M., Beltman, W., Werd, H., Zande, J. (2008). Identification and quantification of point sources of surface water contamination in fruit culture in the Netherlands. *Aspects of Applied Biology*, 84(1), 369-375.
- Wenneker, M., Michielsen, J.M., Zande, J., Stallinga, H. (2012). External loading of an orchard sprayer with agrochemicals during application. *Aspects of Applied Biology*, 11, 151-158.

## Webs consultadas:

<http://institut.inra.fr/es>

<http://paletplastic.es/>

<http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

<http://www.aepla.es/tmp/>

<http://www.botanicayjardines.com/>

<http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s06.htm>

<http://www.life-aquemfree.eu/>

<http://www.w2oenvironment.net>

<https://omron.es/es/>

<https://phytobac.com/en/>

<https://www.cropscience.bayer.es>

<https://www.grafiberica.com/depositos-soterrados/depositos-soterrados/deposito-erdtank.html>

<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/estadisticas-medios-produccion/fitosanitarios.aspx>

<https://www.pcfruit.be/nl>

<https://www.projar.es/>

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Procesos-que-afectan-a-los-plaguicidas-en-el-medio-ambiente\\_fig1\\_265871750](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Procesos-que-afectan-a-los-plaguicidas-en-el-medio-ambiente_fig1_265871750)

<https://www.restauracionpaisajistica.com/plantas-acuaticas/>

<https://www.syngenta.es/agricultura-responsable/agricultura-sostenible/heliosec>

[https://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/pesticides/es/](https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/pesticides/es/)