



MANUAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LECHOS BIOLÓGICOS

PROYECTO D09R1006

Manejo Adecuado de Residuos de Plaguicidas en la Producción Frutícola
de la Región de La Araucanía a través de la Implementación y Difusión de
Lechos Biológicos



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Instituto de Agroindustria

Fondef
FONDO DE FOMENTO AL DESARROLLO
CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO



**MANUAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE
LECHOS BIOLÓGICOS**

Universidad de La Frontera
Instituto de Agroindustria

Avda. Francisco Salazar N°01145, Temuco, Chile
www.lechosbiologicos.cl

ISBN: 978-956-236-235-1

Registro de Propiedad Intelectual
N°: 227.864

Impreso en: Imprenta Latur
Diseño Gráfico: Sylvia Verónica Peña Ponce

Ediciones Universidad de La Frontera

Abril 2013
Primera versión

AUTORES

María Cristina Diez Jerez - Departamento de Ingeniería Química
Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos (BIOREN)
Universidad de La Frontera

Graciela Palma Cifuentes - Departamento de Ciencias Químicas y
Recursos Naturales
Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos (BIOREN)
Universidad de La Frontera

Carolina Altamirano Quijada - Instituto de Agroindustria
Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos (BIOREN)
Universidad de La Frontera

Gabriela Briceño Muñoz - Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos
(BIOREN)
Universidad de La Frontera

Carolina Calderón Ramírez - Instituto de Agroindustria
Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos (BIOREN)
Universidad de La Frontera

Jorge Díaz Sánchez - Departamento de Producción y Protección Vegetal
INIA Carillanca

Olga Rubilar Araneda - Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos
(BIOREN)
Universidad de la Frontera

Gonzalo Tortella Fuentes - Núcleo Científico y Tecnológico en Biorecursos
(BIOREN)
Universidad de la Frontera

PREFACIO

El manual de construcción y operación de lechos biológicos forma parte de los resultados de un proyecto orientado al sector frutícola de la Región de La Araucanía. Sin embargo, se considera que su contenido será de gran utilidad para que este sistema de biopurificación sea implementado en cualquier zona del país y en otro sector agrícola y forestal donde se manipulen plaguicidas, como una medida de minimizar la contaminación puntual y colaborar con el cuidado del medio ambiente y con la inocuidad alimentaria.

Esta obra ha sido publicada para su amplia distribución a los distintos sectores relacionados con el mundo agrícola y forestal, tanto público como privado. Su principal objetivo es que sirva como instrumento para instruir y difundir la tecnología de lechos biológicos a lo largo del país, poniendo énfasis en la manipulación adecuada de los plaguicidas para la protección del medio ambiente y los recursos naturales.

La tecnología de lechos biológicos, originada en Suecia en el año 1993, es aún relativamente desconocida en nuestro país, a pesar de las ventajas que señalan los estudios realizados en diversos países de Europa, en donde a la fecha, se encuentran más de 3000 unidades instaladas y funcionando. Sin embargo, esta tecnología no puede ser simplemente utilizada sin la realización de ensayos y estudios necesarios que permitan establecer las bases científicas y tecnológicas para su validación e implementación en la Región de La Araucanía y en el país, debido principalmente a las diferencias en el tipo de suelos, clima y manejo de plaguicidas.

Un lecho biológico es un sistema simple, construido a nivel del suelo, donde el pulverizador o nebulizador para aplicación de plaguicidas

se estaciona sobre una rampa durante las etapas de llenado y lavado externo del equipo. Contiene una biomezcla que retiene y degrada los plaguicidas hasta llevarlos a niveles de inocuidad. La biomezcla actúa mediante procesos simultáneos de adsorción por efecto de sus componentes y de degradación microbiológica realizada por hongos y bacterias.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es parte del Proyecto FONDEF “*Manejo adecuado de residuos de plaguicidas en la producción frutícola de la Región de La Araucanía a través de la implementación y difusión de Lechos Biológicos*” (D09R1006) financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) de la Región de La Araucanía. El proyecto ha sido ejecutado por la Universidad de La Frontera (UFRO) y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA- Carillanca) con la participación y colaboración de Agrícola San Clemente, Cherry Andes Sur, San José Farms, Cerezos Inalaf, Bayer CropScience, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Consejo de Producción Limpia (CPL) y la SEREMI de Agricultura de la Región de La Araucanía.



INDICE

PREFACIO	5
INTRODUCCION	11
CAPITULO 1 - PLAGUICIDAS	13
Clasificación de los plaguicidas	15
Riesgos en el manejo de los plaguicidas	19
Plaguicidas y medio ambiente	23
Degradación de los plaguicidas	25
Contaminación del suelo y agua por plaguicidas	26
CAPITULO 2 - TECNOLOGÍAS DE LECHOS BIOLÓGICOS	29
Elementos que componen un lecho biológico	32
Componentes de la biomezcla	34
Instrucciones para la preparación de la biomezcla	38
Estimación de la cantidad de paja, turba y suelo	40
Homogenización de la biomezcla	41
CAPITULO 3 - CONSTRUCCIÓN DE LECHOS BIOLÓGICOS A ESCALA DE CAMPO	43
Equipos de aplicación	45
Etapas para la construcción de un lecho biológico	46
Construcción del lecho biológico	51
Costos de construcción del lecho biológico para equipos traccionados	60
Lecho biológico para tratamientos de líquidos	63
Diseño	64
Construcción del lecho biológico	64
Costos de construcción del lecho biológico para tratamiento de líquidos.....	66
CAPITULO 4 - CONSTRUCCIÓN DE LECHOS BIOLÓGICOS A PEQUEÑA ESCALA	69
Lecho con sistema de recirculación	72
Selección de contenedores	72
Sistema de recirculación	75

Incorporación de los componentes del lecho biológico	76
Lecho sin sistema de recirculación	78
Costos de construcción del lecho biológico a pequeña escala	79
CAPITULO 5 - OPERACIÓN, MANTENCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL LECHO BIOLÓGICO A ESCALA DE CAMPO	81
Antes de ingresar a la zona de llenado	83
Al ingresar a la zona de llenado	84
Lavado externo de equipos	85
Mantenimiento del lecho biológico	87
Funcionamiento de un lecho biológico para equipo traccionado	88
Registro de humedad y temperatura en el lecho biológico	89
Degradación de plaguicidas	91
Actividad biológica	95
Evaluación del pH en la biomezcla	96
CAPITULO 6 - ENSAYOS A ESCALA DE LABORATORIO	97
Degradación de plaguicidas en biomezclas con distintos tipos de suelo, turba y materiales lignocelulósicos en reemplazo de la paja	100
Ensayo de lixiviación de plaguicidas simulando diferentes condiciones de pluviometría en columnas con biomezcla	107
Degradación de plaguicidas en biomezclas preparadas con distintos tipos de suelo, paja, turba y biocarbón	113

INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas son sustancias químicas producidas por el hombre y utilizadas como una herramienta indispensable para prevenir, controlar o destruir plagas de los cultivos, ya sean insectos (insecticidas), malezas (herbicidas) u hongos (fungicidas). Durante años se ha promovido la venta y utilización de los plaguicidas debido a que el uso de estos otorga grandes beneficios, permitiendo lograr una mejor y mayor producción de alimentos y materias primas. Sin embargo, si estos no son aplicados y manipulados adecuadamente, pueden generar un alto riesgo para la salud, el medio ambiente y la agricultura. Por otra parte, la sociedad demanda cada vez más procesos de producción limpia y amigables con el ambiente, lo que implica un incremento en las exigencias de los consumidores y del fortalecimiento de normas regulatorias.

La contaminación del medio ambiente por plaguicidas puede ser originada mediante fuentes puntuales o difusas, las cuales muchas veces no están claramente diferenciadas. La contaminación difusa se origina durante la aplicación de plaguicidas en el campo, destacándose principalmente las pérdidas por escorrentía y deriva. Mientras que, la contaminación puntual se origina en el lugar de preparación de los plaguicidas, previo a su aplicación. Los residuos o restos de los plaguicidas se dispersan en el ambiente y se convierten en contaminantes para los animales, plantas, suelo, aire y agua lo que representa un gran riesgo para la salud de la población.

Como una manera de prevenir el daño al medio ambiente y a la población, se han adoptado algunas normas básicas de manejo adecuado de plaguicidas en Chile, como las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). Estas simples acciones que deben tomar los agricultores, como por ejemplo el triple lavado de envases y disposición adecuada de

éstos, permiten disminuir los riesgos que ocasionan los plaguicidas. Sin embargo, estas acciones no evitan que ocurran accidentes durante la manipulación de plaguicidas, como derrames de producto concentrado, fugas de los estanques de los pulverizadores u otros que pueden ocasionar una gran contaminación del suelo y principalmente de las aguas superficiales y subterráneas.

Actualmente existe una tecnología para prevenir la contaminación puntual por plaguicidas, denominada lechos biológicos, la cual está siendo ampliamente difundida en el mundo, principalmente en Europa, y en algunos países como Suecia y Francia donde ya forman parte de las Buenas Prácticas Agrícolas. Un lecho biológico es una construcción simple, realizada con materiales de relativo bajo costo, que se instala en el predio y tiene como función principal retener y degradar los plaguicidas, evitando que éstos lleguen al suelo y posteriormente a los cursos de agua subterráneos o superficiales colindantes al predio. Esta tecnología ha demostrado ser una herramienta muy útil en la eliminación de los plaguicidas por lo que su difusión, conocimiento y aplicación es de vital importancia para el debido cuidado del medio ambiente y la salud de la población.

En el presente manual se encontrará información relativa al uso adecuado y al riesgo que tiene la manipulación inadecuada de los plaguicidas, pero lo más importante, conocer qué es un lecho biológico, como se construye, como funciona, sus costos de implementación y todo lo necesario para que forme parte de las actividades y buenas prácticas que impulsan el desarrollo sostenido y sustentable de la producción agrícola y frutícola de nuestro país.



CAPÍTULO 1
PLAGUICIDAS



CAPÍTULO 1. PLAGUICIDAS

Por plaguicida o producto fitosanitario se entiende como cualquier sustancia de origen natural o sintética que se utiliza para prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir plagas, enfermedades y malezas que afectan a los cultivos. Los plaguicidas varían en su modo de acción, formulación y nivel toxicológico. Todos estos datos se pueden encontrar en la etiqueta de cada producto, la que siempre se debe leer detenidamente para combatir eficazmente las plagas sin afectar negativamente los cultivos, animales, medio ambiente y la salud humana. A continuación se hace mención a algunos criterios de clasificación de los plaguicidas.

CLASIFICACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS

Según organismo que controlan

En la Tabla 1.1 se presenta la clasificación de los plaguicidas según las plagas, malezas y enfermedades que controlan.

Tabla 1.1. Clasificación de los plaguicidas según organismo que controlan

Tipo de plaguicida	Organismos que controla
Insecticida	Insectos
Fungicida	Hongos
Herbicida	Malezas
Acaricida	Ácaros
Bactericida	Bacterias
Nematicida	Nemátodos
Raticida	Ratones



Según modo de acción

Los plaguicidas pueden actuar de diferente manera sobre las plagas, malezas y enfermedades que se desea controlar, pudiendo actuar en forma sistémica, ingresando al organismo o por contacto directo. En la Tabla 1.2 se indican los principales modos de acción de los plaguicidas comúnmente utilizados.

Tabla 1.2. Clasificación de plaguicidas según su modo de acción

Plaguicida	Modo de acción
Insecticidas	Por contacto directo. Actúan sobre el sistema nervioso y respiratorio.
Fungicidas	Actúan bloqueando procesos fisiológicos, disolviendo la pared celular y el protoplasma del hongo.
Herbicidas	Actúan inhibiendo procesos como la fotosíntesis, síntesis de pigmentos, síntesis de aminoácidos, síntesis de hormonas.

Según formulación

Un producto formulado consta del ingrediente activo (i.a.) y otros componentes como el adyuvante, el diluyente, material inerte y/o surfactante. La mayoría de las formulaciones se pueden encontrar en estado líquido o sólido, siendo las más comunes en el mercado las siguientes:



Formulaciones sólidas

Polvo mojable (WP): partículas finamente pulverizadas del i.a., un acarreador sólido o diluyente, un surfactante, un agente humectante y uno dispersante.

Gránulo dispersable (GR, MG): gránulos impregnados del i.a., que al ser mezclados con el agua se rompen y dispersan. No utiliza solventes.

Polvo soluble (SP): solución acuosa del i.a. Normalmente puede incluir un surfactante para mejorar la absorción.

Formulaciones líquidas

Concentrado emulsionable (EC):) líquido homogéneo para ser aplicado como emulsión, luego de ser diluído.

Suspensión concentrada (SC): líquido con el i.a. en suspensión estable, para aplicar diluído en agua.

Concentrado soluble (SL): líquido homogéneo que, al ser diluído en agua, forma una emulsión verdadera del activo, pudiendo contener auxiliar de formulación insolubles.

Según familia química

Esta clasificación permite de forma generalizada uniformar características entre los distintos tipos de plaguicidas. En la Tabla 1.3 se muestran las principales familias químicas según el plaguicida.



Tabla 1.3. Clasificación de plaguicidas según familia química

Plaguicida	Familia química	Ejemplos de Ingrediente activo
Insecticidas	Organoclorados	dicofol, metoxiclor
	Organofosforados	diazinon, malation
	Piretroides	fenvalerato, cipermetrin
Fungicidas	Benzimidazoles	carbendazima, Benomil
	Ditiocarbamatos	mancoceb, tiram, ferbam
	Triazoles	triadimenol, flutriafol
Herbicidas	Fenoxiacéticos	MCPA, 2,4-D.
	Triazinas	atrazina, simazina
	Sulfonilureas	metsulfuron, iodosulfuron.

Según toxicidad

Todos los plaguicidas son tóxicos, por lo que son peligrosos para la salud y para el medio ambiente si no se manipulan de manera correcta. Tóxico es todo agente químico, físico o biológico que en contacto con un ser vivo, es capaz de interferir con sus procesos vitales alterándolo y provocando incluso la muerte. La toxicidad de un plaguicida es determinada por la Dosis Letal Media (DL50 mg/kg), que es definida como la cantidad del plaguicida en miligramos por kg de peso vivo que es capaz de producir la muerte del 50% de ratas de



laboratorio. La resolución N° 2.196 del año 2000 del SAG establece la clasificación toxicológica de los plaguicidas (Tabla 1.4), esta información está indicada en la etiqueta de los envases de plaguicidas.

Tabla 1.4. Clasificación toxicológica de los plaguicidas

Clasificación	Símbolo de peligro y color de la banda	Palabras de peligro	DL50 (mg/kg)			
			Vía Oral		Vía Dermal	
			Sólidos	Líquidos	Sólidos	Líquidos
I a. Sumamente peligroso		MUY TÓXICO	5 o menos	20 o menos	10 o menos	40 o menos
I b. Muy peligroso		TÓXICO	Más de 5 hasta 50	Más de 20 hasta 200	Más de 10 hasta 100	Más de 40 hasta 400
II. Moderadamente peligroso		NOCIVO	Más de 50 hasta 500	Más de 200 hasta 2.000	Más de 100 hasta 1.000	Más de 400 hasta 4.000
III. Poco peligroso		CUIDADO	Más de 500 hasta 2.000	Más de 2.000 hasta 3.000	Más de 1.000	Más de 4.000
IV. Normalmente no ofrece peligro		CUIDADO	Más de 2.000	Más de 3.000		

RIESGOS EN EL MANEJO DE PLAGUICIDAS

Cuando se utilizan plaguicidas siempre se debe asumir que éstos constituyen un riesgo para la salud y el medio ambiente y, por lo tanto, se debe tomar todas las medidas necesarias de protección y mitigación. Los plaguicidas se utilizan para el control de diversas plagas justamente porque son productos tóxicos, por lo que deben ser manejados con precaución siguiendo todas las indicaciones de los fabricantes y de las normativas que regulan su uso para un manejo adecuado.

El riesgo asociado a los plaguicidas va a depender de su toxicidad



y del nivel de exposición durante su manipulación. Para que los plaguicidas no provoquen daño a la salud, el aplicador debe protegerse con los elementos de seguridad personal recomendados en la etiqueta del producto. Estos tienen la función de aislar al aplicador evitando el ingreso de los plaguicidas por la vía oral, respiratoria y/o dermal.

Los aplicadores de plaguicidas deben cumplir con un conjunto de medidas para evitar o disminuir los riesgos de una posible intoxicación. Estas medidas deberán ser tomadas en cuenta desde el momento en que se compra el producto, durante y después de su aplicación en el campo. A continuación se mencionan algunas medidas preventivas que se deben incorporar a la rutina de trabajo. Si se requieren mayores antecedentes se sugiere consultar las páginas web del SAG. (www.sag.cl)

Almacenamiento y transporte de plaguicidas

Los plaguicidas deben ser manipulados y almacenados solamente en lugares habilitados para tales efectos, fuera del alcance de los niños y lejos de las casas. Se deberá contar con una bodega cerrada con llave y debidamente señalizada (Figura 1.1). En caso de que la cantidad de productos sea pequeña o no cuente con los medios para la instalación de una bodega, deberá guardar los plaguicidas en un sector que cumpla todas las medidas mencionadas anteriormente. Se debe proteger la etiqueta para que siempre ésta pueda ser legible.

Los plaguicidas se deben transportar separados de otros insumos agrícolas, protegiéndolos de la humedad y del sol. Así mismo, los envases deben ser manipulados con cuidado evitando daños o roturas. En caso de derrame del producto se deberá proceder a limpiar con aserrín, suelo o arena húmeda lo antes posible.



Figura 1.1. Bodega de almacenamiento y ubicación de los plaguicidas

Equipo de protección personal

Con el fin de disminuir el riesgo de intoxicación, siempre se deberá utilizar el equipo de protección adecuado, el cual se encuentra indicado en la etiqueta. El traje de protección se usa con el objetivo de aislar el cuerpo de los peligros asociados al uso y manejo de plaguicidas. Además, el equipo de protección debe incluir el uso de botas de goma y guantes de material resistente a la corrosión, antiparras y respirador adecuado (Figura 1.2).



Figura 1.2. Equipo de protección personal para la aplicación de plaguicidas

Después de aplicar los plaguicidas, el trabajador con el equipo de protección puesto se deberá lavar con abundante agua. Además, el equipo de aplicación deberá ser lavado teniendo el cuidado de no contaminar los cursos de agua y siguiendo las normas establecidas para la eliminación de residuos.



PLAGUICIDAS Y MEDIO AMBIENTE

Para un correcto uso de los plaguicidas es esencial conocer sus características, lo que permitirá comprender los principios involucrados en su acción, predecir sus efectos en los organismos que controlan y los diferentes procesos que puedan ocurrir en el ambiente (Figura 1.3). A continuación, se describen los principales procesos involucrados:

Adsorción: proceso por el cual un plaguicida puede quedar unido a las partículas de suelo y por lo tanto afectar su biodisponibilidad. La capacidad de adsorción está altamente asociada con el pH, el contenido de arcillas y de materia orgánica del suelo.

Lixiviación: desplazamiento del plaguicida a través del suelo causado por el movimiento de agua infiltrada, influyendo en la contaminación de aguas subterráneas. La lixiviación de los plaguicidas será menor, si el suelo posee una gran capacidad de adsorción. Algunos de los factores del suelo que influyen en la lixiviación de los plaguicidas son la materia orgánica, la textura y la humedad del suelo.

Esguerrimiento: movimiento superficial de los plaguicidas con el agua que es arrastrada sobre un terreno inclinado y que no se infiltra en el suelo. Los factores que influyen en el esguerrimiento son la pendiente, el tipo de suelo, el contenido de humedad en el suelo, la cantidad de riego o lluvia y la solubilidad del plaguicida.

Volatilización: proceso por el cual plaguicidas sólidos o líquidos pasan a la fase gaseosa o al aire. Todos los plaguicidas son susceptibles a la volatilización dependiendo de su presión de vapor y temperatura ambiente. Es uno de los factores de pérdida de plaguicida más rápido en comparación a la lixiviación o esguerrimiento.



Deriva: movimiento de los plaguicidas a través del aire desde el lugar de aplicación hacia otros sectores. Los principales factores que influyen son las condiciones de aplicación (presión de trabajo y tamaño de gotas) y las condiciones ambientales (turbulencia, dirección y velocidad del viento, temperatura y humedad relativa). La deriva es uno de los procesos que se conoce comúnmente como contaminación difusa.

Absorción: movimiento del plaguicida hacia el interior de los organismos a controlar. Uno de los aspectos más importantes que influyen en la absorción son los eventos de lluvia o riego después de la aplicación.

Degradación: proceso por el cual el plaguicida es transformado en otros productos a través de reacciones químicas, acción de los microorganismos y descomposición por la luz solar.

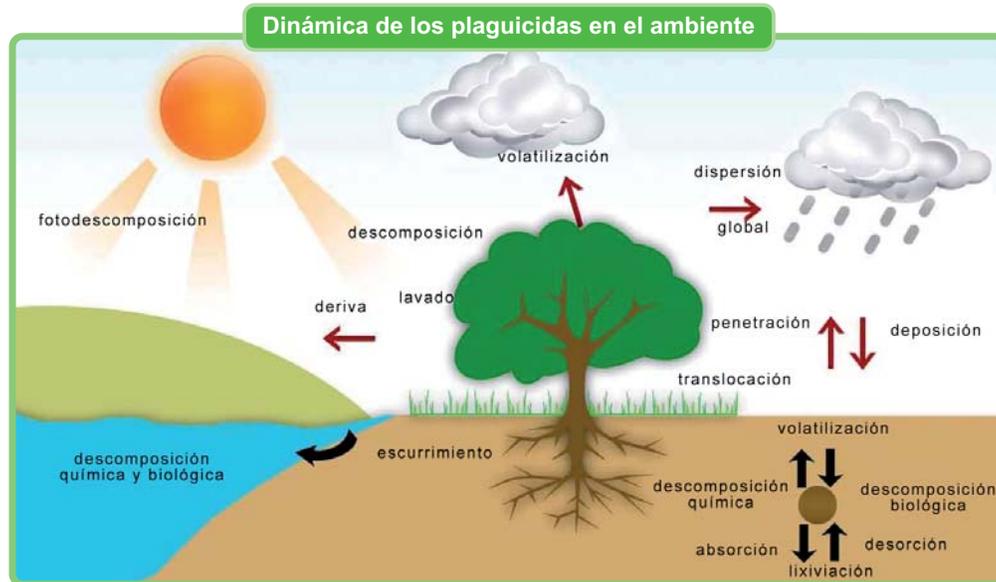


Figura 1.3. Diagrama de la dinámica de los plaguicidas en el ambiente



DEGRADACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS

Cuando un plaguicida es aplicado y liberado en el ambiente interacciona con los componentes biológicos y no biológicos de éste, pudiendo sufrir transformaciones modificando su estructura, características físico-químicas y su acción biológica. La degradación puede ser total o parcial, pudiendo originar compuestos con mayor o menor efecto tóxico que el producto original.

La permanencia del producto en el ambiente se puede determinar a través del tiempo de vida media ($t_{1/2}$), el cual se define como el tiempo (días o semanas) requerido para que la concentración inicial aplicada disminuya en 50% del i.a. (Tabla 1.5). Los plaguicidas que se degradan rápidamente en el ambiente son denominados no-persistentes, mientras que los que no son degradados fácilmente son denominados persistentes.

Los principales factores que determinan la persistencia de los plaguicidas son la estabilidad química del producto, la actividad metabólica de las plantas, factores climáticos, adsorción en los coloides del suelo y la actividad microbiológica. La degradación microbiana se favorece cuando en el ambiente la temperatura sea mayor a 25°C, cuando el pH del suelo favorezca la actividad de bacterias y hongos, cuando la humedad del suelo este entre el 50 y 60% y cuando el suelo presente una relación C/N entre 20 y 40.



Tabla 1.5. Propiedades y características de algunos plaguicidas

Plaguicida	Tipo	Grupo químico	Solubilidad (mg/kg)	t _{1/2} (días)
Atrazina	Herbicida	Triazina	35	75
Azinfos-metil	Insecticida	Organofosforado	28	10
Captan	Fungicida	Ftalamida	5	0,8
Carbendazima	Fungicida	Benzimidazol	8	40
Clorotalonil	Fungicida	Aromático sustituido	0,8	22
Clorpirifos	Insecticida	Organofosforado	1	50
Diazinon	Insecticida	Organofosforado	60	9
Iprodione	Fungicida	Dicarboximida	12	84
Isoproturon	Herbicida	Urea	70	12
Metidation	Insecticida	Organofosforado	240	10
Fosmet	Insecticida	Organofosforado	15	3

CONTAMINACIÓN DEL SUELO Y AGUA POR PLAGUICIDAS

El principal origen de los plaguicidas en el medio ambiente es consecuencia de las aplicaciones y de la manipulación de estos. La cantidad de plaguicida que queda en el ambiente puede variar debido a varios factores como dosis, naturaleza química y formulación del plaguicida, características de la aplicación (tamaño de la gota) y condiciones climáticas, entre otras.

Los plaguicidas pueden ingresar al ambiente vía contaminación difusa o puntual. La contaminación difusa resulta durante la aplicación de plaguicidas en el campo, se destaca las pérdidas por escorrentía y deriva. Por otro lado, la contaminación puntual proviene de áreas restringidas como es el área de preparación de plaguicidas previo a



su aplicación. Algunos estudios han demostrado que las fuentes puntuales son las que más contribuyen a la contaminación del medio ambiente por plaguicidas. Un ejemplo de fuente puntual es lo que sucede durante la manipulación y preparación de los productos, como son el lavado y llenado de los equipos, derrames accidentales, entre otros. Estas actividades son realizadas frecuentemente en el mismo lugar del predio, cercana a la bodega de almacenamiento de los productos y a una fuente de agua disponible.

Es importante considerar que los derrames accidentales que pueden ocurrir durante la carga de plaguicidas, involucran compuestos concentrados los cuales requieren un procedimiento especial de descontaminación. Los derrames accidentales son manejados mediante la recolección del producto con arena, lo cual es una solución parcial al problema, debido a que su disposición no está definida en las BPA. Por otro lado, en los equipos de aplicación quedan residuos en su interior equivalente al 1% aproximadamente del producto.

Durante la preparación y aplicación de plaguicidas en el campo se han detectado algunas etapas en las que existe mayor riesgo ambiental, las cuales se muestran en la (Figura 1.4).



Figura 1.4. Preparación y vaciado del producto en el equipo de aplicación (A), aplicación en campo (B) y lavado del equipo de aplicación (C)



Si los plaguicidas se utilizan en las dosis recomendadas y se aplican en el campo con todas las precauciones necesarias, las etapas de mayor riesgo ambiental corresponde a la A y la C. En la etapa A, el riesgo es alto, ya que se trabaja con el producto en su mayor concentración, pudiendo el derrame de unas pocas gotas de éste, causar graves problemas de contaminación. En la etapa C, el producto ya está diluido; sin embargo, el riesgo es alto debido a los volúmenes de agua que se utilizan en el lavado del equipo.

En la actualidad, existen diversas tecnologías para la remoción de plaguicidas, como tratamientos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, los costos necesarios para la remoción de plaguicidas son elevados por lo cual no ha sido posible implementarlos en predios agrícolas. Por lo tanto, es necesario el desarrollo de tecnologías simples, de bajo costo y eficientes para la prevención y degradación de los residuos de plaguicidas provenientes de la contaminación puntual, como la que se propone en el presente manual.

"El manejo adecuado de los plaguicidas es un tema relevante en las Buenas Prácticas Agrícolas. Practique el autocuidado y cuide el medio ambiente"



CAPÍTULO 2
TECNOLOGÍA DE LECHOS BIÓLOGICOS



CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA DE LECHOS BIOLÓGICOS

La tecnología de los lechos biológicos fue desarrollada en Suecia durante la década de los años 90 y a partir del año 1997 se ha implementado gradualmente en varios países principalmente de Europa y actualmente está siendo ampliamente difundida en América Latina. Esta tecnología de biopurificación conocida como "biobeds" o "lechos biológicos" fue diseñada para evitar y reducir la contaminación por plaguicidas producto de la contaminación puntual.

Un lecho biológico es una instalación relativamente sencilla y que es aconsejable de construir en predios donde se manipulen plaguicidas. El lecho biológico consiste básicamente en una excavación impermeabilizada, rellena con una mezcla constituida por suelo, paja y turba, denominada "biomezcla", cubierta por una capa vegetal y un sistema de soporte para la maquinaria como se esquematiza en la Figura 2.1. Es importante señalar que los elementos mencionados son los componentes básicos que componen un lecho biológico. Sin embargo, y como se mencionará más adelante, el sistema puede contar con otros elementos que serán o no necesarios dependiendo de los requerimientos del usuario.

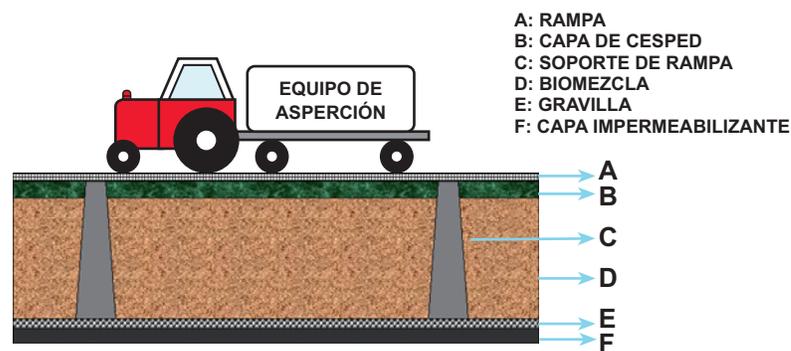


Figura 2.1. Esquema de un lecho biológico



El lecho biológico está diseñado para que las operaciones de llenado del equipo de aspersión sean realizadas sobre esta instalación. Dado a que en este lugar se manipulan formulaciones concentradas de los plaguicidas, se evita que una fracción de éstos pueda llegar al suelo producto de derrames accidentales. En este caso, los plaguicidas pueden ser retenidos y degradados en la biomezcla del lecho biológico.

ELEMENTOS QUE COMPONEN UN LECHO BIOLÓGICO

A continuación, se encuentra una breve descripción de cada uno de los elementos que componen el lecho biológico y la función que ellos cumplen (Figura 2.2). Una descripción más detallada de las características técnicas o del manejo que se debe realizar para la preparación de alguna de ellas se pueden encontrar en el Capítulo 3.

a) La biomezcla: es el componente más importante del lecho biológico y está compuesta por 25% de turba, 25% de suelo y 50% de paja, homogéneamente mezclados. La biomezcla permite la retención y posterior degradación de los plaguicidas, reduciendo la concentración de éstos o su total eliminación, debido a la degradación producida por los microorganismos que se desarrollan en la biomezcla.

b) Cubierta vegetal: es una capa de césped, cuya función es aumentar la eficiencia del lecho biológico, reteniendo los plaguicidas en la parte superior, controlando la lixiviación principalmente de los plaguicidas que presentan mayor movilidad, manteniendo la humedad de la biomezcla, favoreciendo la evapotranspiración y permitiendo una mayor degradación a nivel de la raíz. También es una buena herramienta que revela los derrames de plaguicidas, fugas, goteos de boquillas o elementos defectuosos de los equipos mediante marcas que se generan sobre el césped.



c) Gravilla: es una capa de piedras pequeñas (gravilla) de aproximadamente 10 cm de espesor que se ubica en el fondo del lecho biológico y sobre la cubierta impermeabilizante. Esta capa de gravilla actúa como un filtro para evitar el paso de restos orgánicos provenientes de la biomezcla y que evita que se obstruya el sistema de drenaje que va al sistema de recirculación.

d) Arena: es una capa de aproximadamente 5 cm de espesor, que se ubica sobre la geomembrana y antes que la capa de gravilla y que cumple la función de actuar como filtro más fino que la gravilla. La utilización de la arena es opcional.

e) Sistema de impermeabilización: consiste en un revestimiento de las paredes y el fondo del lecho biológico con una capa de hormigón u otro material impermeable. Este revestimiento cumple la función de actuar como una barrera para evitar el contacto de los plaguicidas con el suelo adyacente al lecho biológico. Sobre este revestimiento se instala una geomembrana, que actúa como filtro de los líquidos percolados.

f) Sistema de soporte: consiste en una estructura metálica o cualquier material que resista el peso de los equipos de aplicación. El sistema de soporte está constituido por una rampa y pilares de apoyo que se ubican al interior del lecho biológico y cumple la función de soportar el peso del tractor más el equipo de aplicación con su capacidad máxima de llenado.

g) Sistema de recirculación: consiste en un pozo con revestimiento de cemento o material similar (impermeable), conectado con el lecho biológico mediante tuberías y una bomba y cuya función principal es recibir y contener los líquidos percolados desde la biomezcla, los cuales son recircularlos a través de la bomba nuevamente al lecho biológico.



h) Techo de protección: consiste en una estructura que cumple la función de aislar el lecho biológico de las precipitaciones, evitando de esta manera la saturación de la biomezcla con un exceso de agua. En caso de que así ocurriese, se deberá esperar el tiempo necesario para que el exceso de agua se evapore y/o escurra a través de la biomezcla antes de poner en operación el lecho biológico nuevamente.

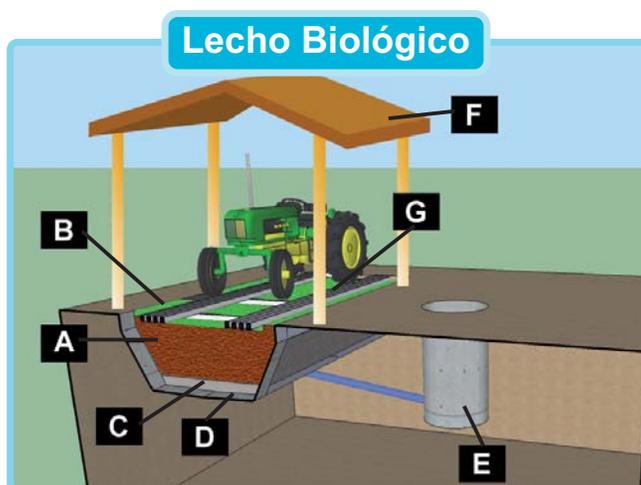


Figura 2.2. Componentes de un lecho biológico. Biomezcla (A), cubierta vegetal (B), capa de gravilla (C), sistema de impermeabilización (D), sistema de recirculación (E), techo de protección (F) y sistema de soporte para el equipo de aplicación (G)

COMPONENTES DE LA BIOMEZCLA

El suelo: el suelo corresponde a un 25% de la biomezcla y se extrae de los primeros 20 cm de profundidad, sin incluir la capa vegetal y de un sector del mismo predio, evitando sectores cercanos a caminos y construcciones. El suelo aporta diversos microorganismos a la biomezcla, los que participan activamente en la degradación de los plaguicidas. Asimismo, el suelo tiene una gran capacidad de retención de los plaguicidas, dependiendo de sus características como pH y



contenido de materia orgánica. La variación de pH y de materia orgánica es muy grande en Chile, tal como se puede observar en la Tabla 2.1.

Los suelos que más se recomiendan para la preparación de la biomezcla, son los suelos trumao, con gran contenido de materia orgánica. Sin embargo, la biomezcla también puede ser preparada con suelos arenosos, lo que no afectará mayormente el funcionamiento de los lechos. Se recomienda tratar de evitar los suelos que presenten un gran contenido de arcilla (suelos arcillosos). Estos suelos dificultan una buena homogenización de la biomezcla ya que tienden a agregarse con el agua afectando el movimiento de los líquidos en la biomezcla del lecho biológico.

Tabla 2.1. Características de los diferentes tipos de suelo presentes en Chile

Zona	pH	Materia Orgánica (%)
Norte	7,4 - 8,6	1,2 - 2,8
Centro	6,0 - 7,0	3,0 - 6,0
Sur	5,0 - 6,0	8,0 - 15

La turba: es un material orgánico esponjoso, proveniente de un tipo musgo extraído de yacimientos naturales y que se encuentra disponible en el comercio local como "turba rubia" o "turba negra". En Chile existen yacimientos de turba como es la conocida Turba Magallánica, la cual se comercializa ampliamente en el país (Figura 2.3). En general, la turba contiene aproximadamente 60% de carbono, 33% de oxígeno, 6% de hidrógeno y 2% de nitrógeno. La turba tiene la capacidad de absorber gran cantidad de agua, contribuyendo a mantener la humedad del lecho biológico y favoreciendo la aireación. Además, tiene la importante función de retener o adsorber los plaguicidas



para facilitar su degradación por los microorganismos. Se recomienda utilizar turba rubia debido a su mayor contenido de materia orgánica y mayor acidez, lo que favorece el crecimiento de hongos que degradan plaguicidas.



Figura 2.3. Turbera, turba extraída y procesada y turba envasada

La adquisición de la turba representa un costo importante en la formulación de la biomezcla, el cual se debe tener en consideración. Por otro lado, existe preocupación por la sustentabilidad en el uso de la turba en el mediano plazo, debido a que es un recurso natural no renovable. Como una alternativa, se puede reemplazar parcialmente la turba por carbón vegetal también llamado biocarbón, obtenido por combustión de material vegetal (Figura 2.4), el cual posee una elevada capacidad de adsorción de contaminantes orgánicos. Además, el biocarbón presenta ventajas competitivas de costo y disponibilidad debido a que se puede obtener y preparar localmente.



Figura 2.4. Carbón vegetal como reemplazo de la turba en la biomezcla

La paja: es un material orgánico, con alto contenido de lignina y celulosa, que se obtiene en el campo principalmente como residuos de cosecha de leguminosas y gramíneas, como por ejemplo paja de trigo, de arroz, de avena, etc. Este componente es muy importante en la biomezcla del lecho biológico ya que permite o favorece el desarrollo de muchos microorganismos, especialmente de los hongos de pudrición blanca los cuales presentan elevada capacidad para degradar plaguicidas. Para una adecuada incorporación de la paja con los otros componentes de la biomezcla, se recomienda que ésta deba ser picada finamente (menor a 10 cm), ya que trozos grandes de paja alteran el funcionamiento de la biomezcla.

A pesar de la gran facilidad para obtener paja de trigo o rastrojo de cosecha en predios con actividad agrícola, no siempre se puede obtener en predios con actividad frutícola o forestal por lo cual en este manual se presentan algunas alternativas para la sustitución de la paja de trigo por otros tipos de residuos como aserrín, cascarilla de cebada o cascarilla de avena. El reemplazo total o parcial de la paja, modifica las características de la biomezcla, tal como se observa en la Tabla 2.2. Se ha observado que estas modificaciones no afectan mayormente la capacidad de degradación de la biomezcla. Se debe tener especial cuidado al utilizar aserrín en la biomezcla debido a que la degradación de algunos plaguicidas es más lenta que con los residuos mencionados.



Por lo tanto, si se dispone de aserrín, se recomienda que éste reemplace a lo más la mitad de la paja.

Tabla 2.2. Composición y características físico-químicas de las biomezclas evaluadas

Biomezclas	Composición (%)	pH	Nitrógeno Total (%)	Carbono Orgánico (%)	Relación C/N
Paja:suelo:turba	50-25-25	4,8	0,54	30,8	57,0
Cebada:suelo:turba	50-25-25	5,0	0,46	29,7	65,0
Aserrin:suelo:turba	50-25-25	5,4	0,34	28,1	82,6
Cebada:paja:suelo:turba	25-25-25-25	5,2	0,50	30,3	60,6
Aserrin:paja:suelo:turba	25-25-25-25	5,7	0,44	29,0	65,9
Avena:suelo:turba	50-25-25	5,5	0,64	32,1	50,2
Avena:paja:suelo:turba	25-25-25-25	5,8	0,59	31,0	52,5

Nota: La cebada y la avena fueron adicionadas como cascarilla y el suelo corresponde a un trumao

INSTRUCCIONES PARA LA PREPARACIÓN DE LA BIOMEZCLA

Suelo

El suelo debe provenir de un potrero o lugar donde se realicen actividades agrícolas. Se debe eliminar la capa superior de material vegetal con una pala y extraer la cantidad necesaria de suelo (sólo de los primeros 20 cm de profundidad). El volumen de suelo a extraer depende del tamaño del lecho a construir (Figura 2.5), eliminándose piedras y restos vegetales como ramas de gran tamaño. El suelo no debe contener un exceso de humedad y tampoco estar demasiado seco, para una adecuada manipulación y posterior mezclado con los otros componentes de la biomezcla.



Figura 2.5. Extracción de suelo para la preparación de la biomezcla

Turba

Debido a que la turba se adquiere en el comercio local en presentación de fardos compactados, es necesario descompactarla o mullirla con una pala o manualmente tal como se observa en la Figura 2.6.



Figura 2.6. Preparación de la turba

Paja

La paja se debe fraccionar a un tamaño de 5 a 10 cm. Mientras menor sea su tamaño más efectiva será la actividad biológica y la degradación de los plaguicidas y más fácil su mezclado con los otros componentes de la biomezcla. Para poder picar la paja se puede



utilizar equipos como una chancadora, que entrega una fracción de tamaño pequeño (1-2 cm), una picadora que entrega una paja de mayor tamaño (5-10 cm) o una chipeadora o desbrozadora que también entrega una fracción de tamaño entre 5 a 10 cm con dos pasadas del material por el equipo (Figura 2.7).



Figura 2.7. Proceso de picado de la paja

Estimación de la cantidad de paja, turba y suelo

La cantidad de suelo, turba y paja se adiciona en una relación volumétrica de 1 parte turba (25%), 1 parte de suelo y 2 partes de paja (50%), medido en un contenedor como un balde o carretilla (Figura 2.8). Es importante considerar que tanto la turba como la paja deben ser suavemente compactadas con las manos en el depósito que se utiliza para medir estos materiales.



Figura 2.8 Estimación de la cantidad de cada componente de la biomezcla



Homogenización de la biomezcla

Una vez que cada componente está preparado y listo para ser utilizado, se procede a mezclarlos homogéneamente para su posterior incorporación a la excavación. Una secuencia de este procedimiento se muestra en la Figura 2.9.



Figura 2.9. Mezclado de los componentes de la biomezcla

"Una correcta preparación de la biomezcla asegura un eficiente funcionamiento del lecho biológico"



CAPÍTULO 3
CONSTRUCCIÓN DE LECHOS BIOLÓGICOS
A ESCALA DE CAMPO



CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN DE LECHOS BIOLÓGICOS A ESCALA DE CAMPO

Los lechos biológicos para predios agrícolas donde la superficie productiva requiere de gran volumen de aplicación de plaguicidas, utilizando pulverizadores o nebulizadores traccionados o montados en un tractor, requieren de un diseño y construcción adecuada a éstos.

Equipos de aplicación

La aplicación de plaguicidas en áreas extensas de terreno requiere grandes volúmenes de producto los cuales son preparados en lugares previamente establecidos en la normativa vigente. Una vez preparados en el estanque del equipo de aplicación, son traccionados o montados en un tractor para su traslado al sitio de aplicación. Los principales equipos utilizados a gran escala para la aplicación de plaguicidas son equipos convencionales tipo hidroneumáticos como un nebulizador o un pulverizador de barra (Figura 3.1).



Figura 3.1. Equipos de aplicación traccionados o montados a un tractor



ETAPAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN LECHO BIOLÓGICO

Ubicación

Para la ubicación del lecho biológico se consideran varios aspectos, como pluviometría, cercanía a una fuente de agua, relieve del terreno, cercanía a la bodega de almacenamiento de plaguicidas, lugar de preparación y carga del equipo de pulverización. Se recomienda inspeccionar el terreno con anticipación previo al inicio de la construcción (Figura 3.2).

Para la instalación de un lecho biológico se debe evitar realizar la construcción de éste, en lugares del predio cercanos a viviendas y a cursos de agua como lagunas, esteros u otros. También es importante disponer de energía eléctrica para el funcionamiento de una motobomba, en aquellos casos donde se desea considerar un sistema de recirculación.



Figura 3.2. Visita en terreno y vista aérea de la ubicación del lecho biológico



Diseño de un lecho biológico para equipos traccionados

En el diseño para la construcción de un lecho biológico para equipo traccionado se debe considerar el peso del equipo de aplicación más el peso del tractor, así como también las dimensiones, distancia de eje y ancho del neumático. Esto es relevante debido a que para la instalación del lecho biológico se debe considerar una estructura que soporte el peso de un equipo (aproximadamente 5 toneladas).

El diseño del lecho biológico debe considerar el largo, ancho y la profundidad de la excavación, la pendiente para la inclinación de las paredes y la base, para permitir el escurrimiento de líquidos. Además, se debe especificar la ubicación de la estructura y número de soportes, la distancia entre ejes, el largo, ancho y altura de la rampa (Figura 3.3 a y b). También se debe indicar la ubicación y largo de la tubería recolectora y de drenaje de líquidos hacia el pozo. El plano debe incluir la ubicación y dimensiones del pozo de recolección y la bomba de recirculación. La Figura 3.4 muestra el plano general para la construcción del lecho con todos los elementos mencionados anteriormente.

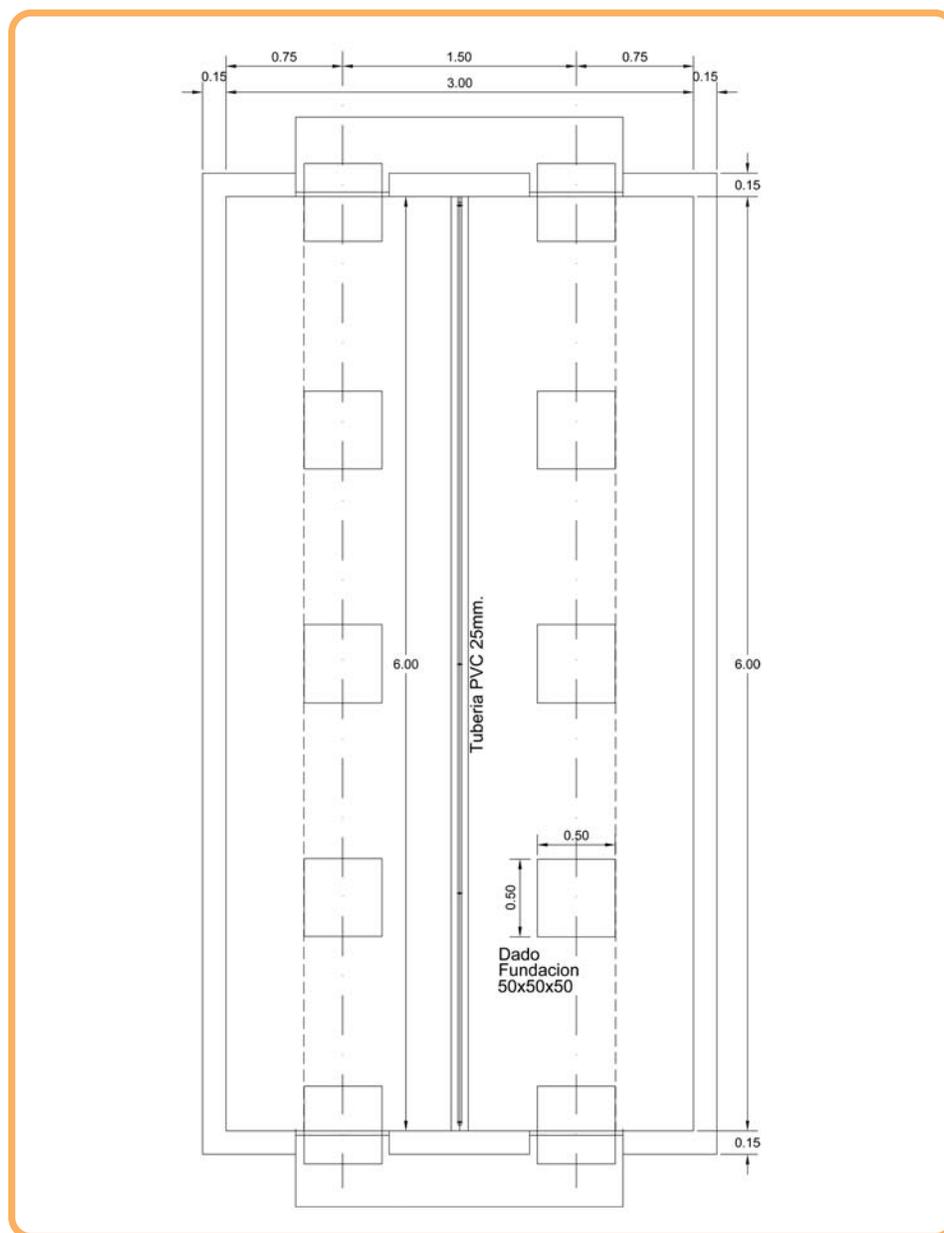


Figura 3.3 a) Vista de planta con las fundaciones y drenaje

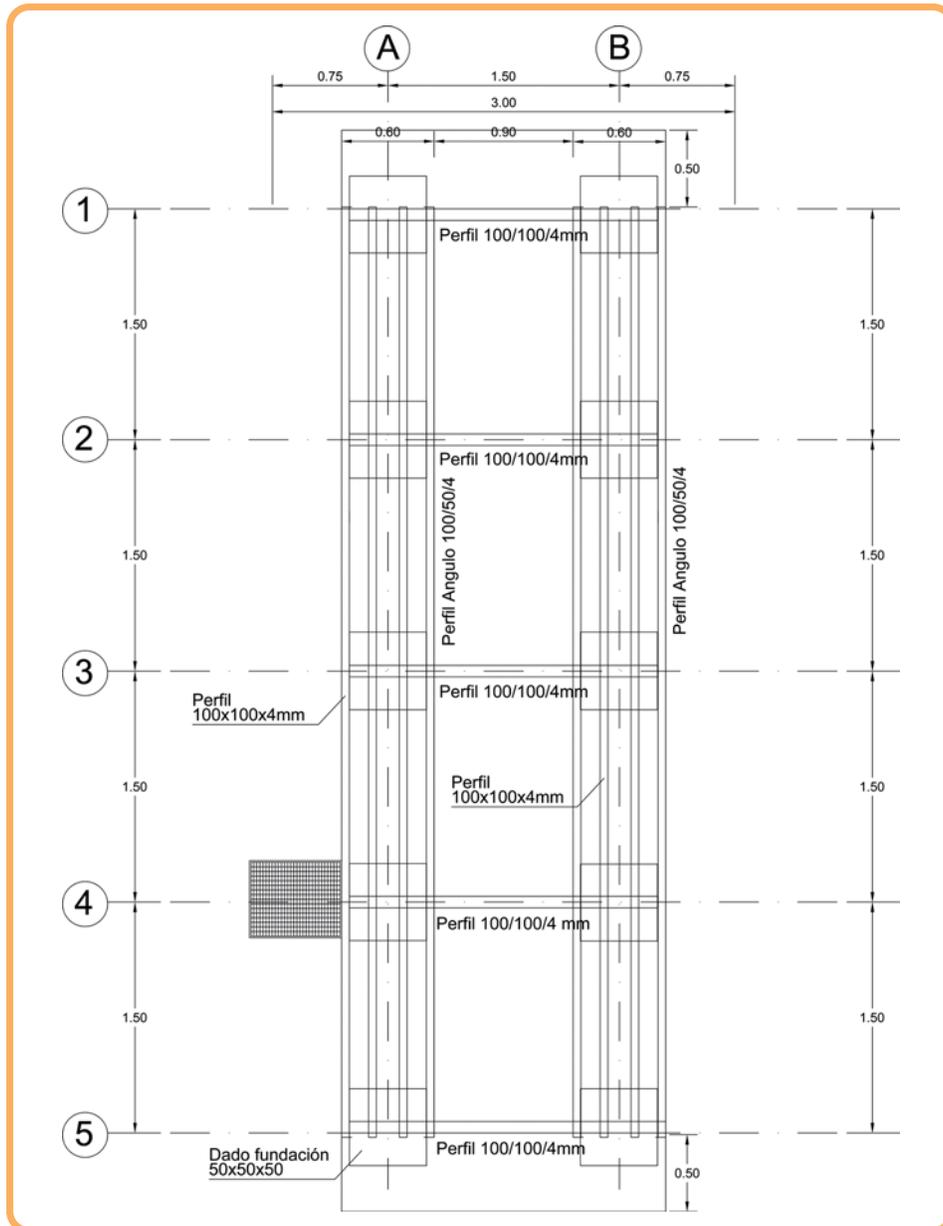


Figura 3.3 b) Vista de planta con la rampa de estacionamiento y perfiles (1 - 5)

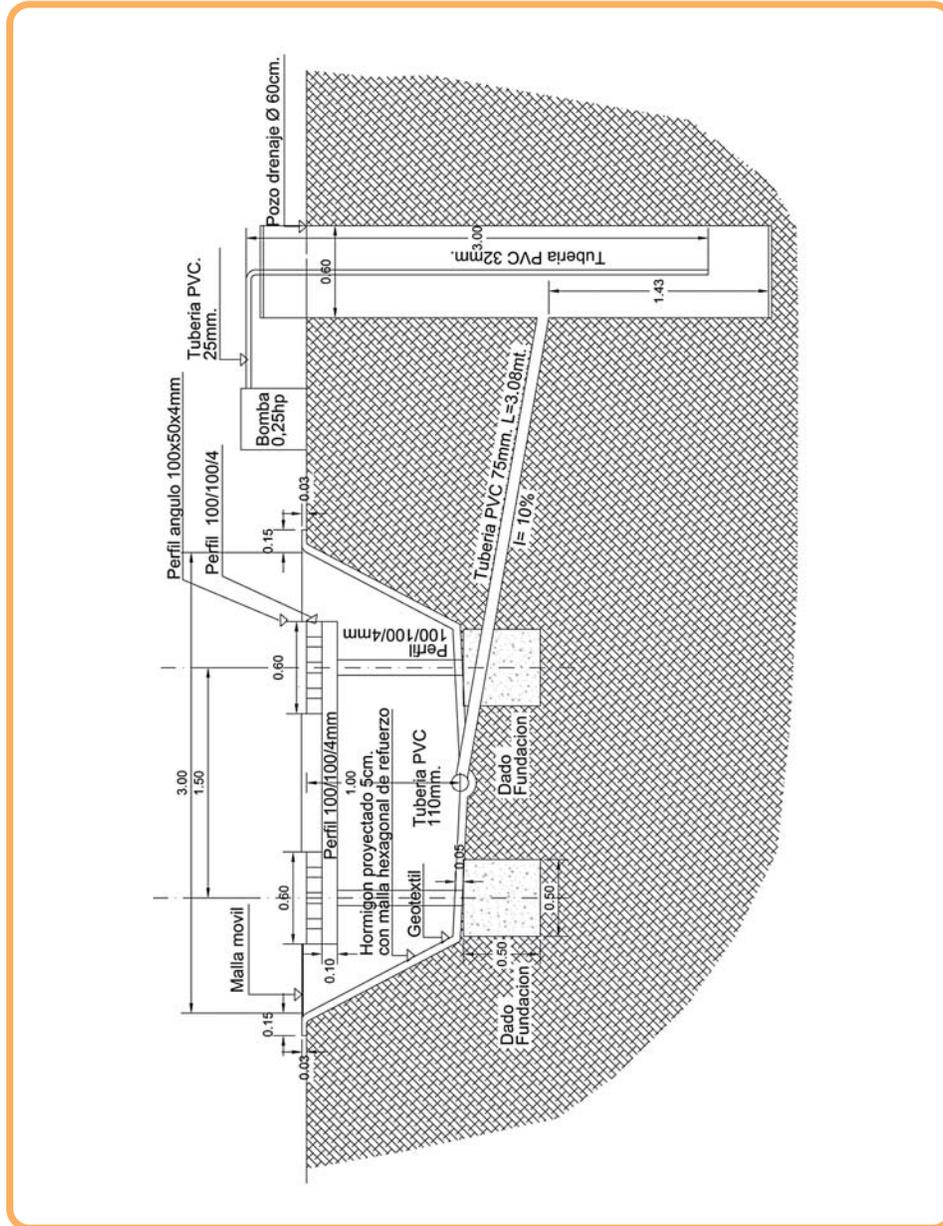


Figura 3.4. Vista general del plano lecho biológico



CONSTRUCCIÓN DEL LECHO BIOLÓGICO

Excavación

Se debe demarcar el terreno con las dimensiones establecidas en el plano y realizar una excavación de aproximadamente 3 metros de ancho por 6 metros de largo y 1 metro de profundidad (Figura 3.5). Estas dimensiones pueden variar dependiendo de las características de los equipos. La excavación debe ser inclinada de forma que el fondo sea menor que la superficie, de aproximadamente 2 metros, con el objetivo de favorecer el escurrimiento de los líquidos (Figura 3.7).



Figura 3.5. Trazado y excavación para la construcción del lecho

Instalación de fundaciones

Posterior a la excavación, se procede a la instalación de la estructura de soporte (fundación de hormigón y pilares metálicos). Se instalan 10 pilares metálicos de fierro de perfiles cuadrados (100 x 100 x 4 mm o similar) de 1,5 metros de alto sobre fundaciones de hormigón (0,50 x 0,50 x 0,50 metros), los que están dispuestos aproximadamente a 0,60 metros de distancia entre ellos. Toda la excavación es recubierta con una malla de fierro estriado de 8 a 10 mm con el objetivo de reforzar



la posterior aplicación del hormigón (Figura 3.6).



Figura 3.6. Instalación de pilares de fundación y malla metálica

Instalación de tubería de drenaje

En el fondo de la excavación, en la parte media y a lo largo del lecho, se instala un tubo de PVC o similar de 110 mm de diámetro y 6 metros de largo. Este tubo debe contar con varias perforaciones (Figura 3.7) con el objetivo de que los líquidos del lecho ingresen a éste y drenen al pozo de recolección. Cabe señalar, que la base de la excavación debe tener una pequeña inclinación (5% aproximadamente) hacia el centro para la instalación de la tubería.



Figura 3.7. Instalación de tubo perforado para drenaje



Impermeabilización de lecho biológico

A continuación, con el objetivo de impermeabilizar el lecho, se procede a agregar el hormigón sobre la malla metálica formando una losa de 10 cm de espesor en toda la excavación (fondo y paredes), dejando libre el tubo de drenaje (Figura 3.8).



Figura 3.8. Excavación impermeabilizada

Una vez que el hormigón se ha secado, se procede a instalar una geomembrana (Geotextil G-20 o similar) que reviste en su totalidad la instalación. Esta membrana retiene los sólidos e impide que se obstruya el sistema de drenaje.

Instalación de la rampa

Sobre cada par de pilares metálicos instalados sobre las fundaciones, se instala un perfil metálico de manera transversal de iguales características a los anteriores de 2 metros de largo. La rampa se completa instalando 2 secciones de 4 perfiles metálicos cada una sobre los pilares (Figura 3.9).



Figura 3.9. Instalación de la rampa metálica

Construcción del pozo de recolección y sistema de recirculación

Para instalar el pozo de recolección, primero se debe realizar una excavación de una profundidad cercana a los 3 metros de forma tal que permita el ingreso de tubos de hormigón armado de 0,6 metros de diámetro por 1 metro de alto (Figura 3.10). El fondo debe estar sellado con una capa de hormigón de aproximadamente 10 cm para evitar el paso de los líquidos hacia el suelo aledaño. Este pozo se conecta al lecho biológico mediante una tubería de PVC o similar de 75 mm de diámetro, la cual debe quedar instalada con una pendiente cercana al 10% (Figura 3.4). Es importante considerar una tapa de hormigón en la parte superior que permita dejar completamente aislado el pozo del medio externo.



Figura 3.10. Excavación, 4 tubos de hormigón utilizados para la construcción del pozo de recolección

Para la recirculación de los líquidos se debe instalar una tubería de PVC o similar de 32 mm de diámetro al interior del pozo de recolección, la cual se une a otra tubería de PVC de 25 mm de diámetro que se conecta a la bomba de 0,5 HP (Figura 3.11)



Figura 3.11. Instalación de sistema de recirculación

Mezclado de los componentes de la biomezcla

La biomezcla se prepara mezclando 50% de paja, 25% de turba y 25 % de suelo, que equivale por ejemplo, a 2 carretillas de paja, 1 carretilla de turba y 1 carretilla de suelo. Mezclar en esta misma



proporción los componentes de la biomezcla hasta que se obtenga el volumen requerido para rellenar completamente la excavación.

Preparar siempre la biomezcla sobre un plástico o un material similar, mezclando los componentes lo más homogéneo posible utilizando una horqueta o pala. Tal como se mencionó anteriormente (Capítulo 2), la turba, se debe mullir con el objetivo de evitar la presencia de terrones, la paja se debe fraccionar a un tamaño de 5 a 10 cm y el suelo debe estar libre de piedras y restos vegetales (Figura 3.12).



Figura 3.12. Mezclado de los componentes de la biomezcla

Llenado e instalación del lecho biológico

En el fondo del lecho biológico se agrega una capa de 5 cm de arena, equivalente a aproximadamente 1 m^3 , posteriormente se adiciona 25 cm de gravilla $\frac{3}{4}$, equivalente a $3,5 \text{ m}^3$ sobre la capa de arena (Figura 3.13). El objetivo de incorporar ambos materiales al fondo del lecho es poder filtrar el paso de partículas sólidas al pozo de recolección.



Figura 3.13. Incorporación de arena y gravilla

La incorporación de la biomezcla se realiza mediante la utilización de carretillas o palas. Durante el llenado, la biomezcla se debe distribuir y compactar suavemente, ya sea por efecto del peso del operario o por la ayuda de una pala en los lugares de menor acceso. El lecho biológico se debe llenar de forma homogénea, dejando 5 cm en la parte superior, la cual se completa con una capa de suelo, para favorecer la instalación de la capa de césped o la germinación de las semillas (Figura 3.14).



Figura 3.14. Secuencia del proceso de llenado del lecho biológico

Sobre la capa de suelo del lecho biológico, se instalan pastelones de césped los cuales pueden ser adquiridas en el comercio local o



bien, se puede sembrar especies vegetales como ballica y festuca (Figura 3.15).



Figura 3.15. Instalación de pastelones de césped sobre superficie de lecho biológico

Una vez finalizadas las etapas de construcción y llenado el lecho biológico se requiere de un periodo de 2 a 3 meses para la estabilización y maduración de la biomezcla. Durante este periodo, se debe adicionar agua sobre todo el lecho para mantener una humedad entre 50 y 60% de la capacidad de campo, es decir, húmeda al tacto. Este periodo de estabilización es necesario para favorecer el desarrollo de los microorganismos de la biomezcla los cuales son los encargados de la degradación de los plaguicidas.

En ambos extremos de la rampa del lecho biológico, se recomienda colocar una loza de hormigón para facilitar la entrada y salida de la maquinaria (Figura 3.15).

Para concluir la instalación del lecho biológico, se instala un techo de protección de dos caídas de agua, de dimensiones adecuadas al equipo de aplicación y suficientemente extensa para cubrir y sobrepasar



el lecho. Se recomienda que el techo tenga 8 metros de largo, 5 metros de ancho y en su parte más baja 3 metros de alto (Figura 3.16).



Figura 3.16. Lechos biológicos instalados en la Estación Experimental de INIA-Carillanca, en el predio Santa Olga de Agrícola San Clemente y en la Estación Experimental Maquehue de la Universidad de La Frontera (de izquierda a derecha)

En la preparación de la biomezcla la paja puede ser reemplazada por otro tipo de residuos lignocelulósicos como aserrín o cascarilla de avena. Asimismo, la turba puede ser reemplazada parcialmente por carbón vegetal.



COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL LECHO BIOLÓGICO PARA EQUIPOS TRACCIONADOS

A continuación se presenta un desglose presupuestario que detalla los costos asociados a la construcción de lechos biológicos para equipos traccionados (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Costos de construcción del lecho biológico

	ITEM	CANTIDAD	TOTAL
1.-	Mano de obra		\$
	Construcción de lecho biológico		1.190.000
	Picado de paja		35.000
	Extracción de suelo (manual)		30.000
	Preparación de la biomezcla		40.000
	Llenado de lecho e instalación de césped		60.000
	Subtotal		1.355.000
2.-	Materiales Biomezcla		
	Turba (sacos de 45 kg)	14	349.960
	Paja (fardos)	30	60.000
	Pastelones de césped (m ²) lecho	15	32.130
	Pastelones (m ²) contorno lecho	30	53.550
	Subtotal		495.640
3.-	Áridos para relleno de lecho biológico		
	Gravilla 3/4 (m ³)	3	49.980
	Arena fina (m ³)	1	14.000
	Subtotal		63.980



	ITEM	CANTIDAD	TOTAL
4.-	Materiales para impermeabilización		\$
	Cemento (bolsas)	25	93.177
	Malla fierro estriado (unidades)	3	73.696
	Geotéxtil (m)	25	38.378
	Accesorios		133.380
	Subtotal		338.631
5.-	Recirculación		
	Tubos de hormigón 600 x 1 (cm)	3	224.910
	Cubierta de hormigón para pozo 0,60 (cm)	1	9.520
	Subtotal		234.430
6.-	Perfiles de fierro para estructura metálica		
	Cuadrado 100 x 100 x 4 x 6 (m)	9	439.260
	Angulo doblado 50 x 50 x 4 x 6 (m)	4	195.227
	Rectangular 100 x 50 x 4 x 6 (m)	4	137.521
	Subtotal		772.008
7.-	Tuberías de PVC		
	Tubo PVC sanitario D 110 x 6 (m)	1	7.182
	Tubo PVC sanitario D 75 x 6 (m)	1	4.263
	Tubo de PVC presión c 10 32 x 6 (m)	1	1.921
	Accesorios		6.890
	Subtotal		20.256



Capítulo 3. Construcción de Lechos Biológicos a Escala de Campo

	ITEM	CANTIDAD	TOTAL
8.-	Bomba y art. eléctricos		\$
	Bomba	1	51.765
	Accesorios		53.078
	Subtotal		104.843
9.-	Áridos para construcción		
	Gravilla 3/4 (m ³)	4	56.001
	Arena fina (m ³)	2	28.001
	Subtotal		84.002
	TOTAL		3.468.790



Lecho Biológico para tratamientos de líquidos

Existe otra alternativa de construcción de lecho biológico la cual no considera el emplazamiento de los equipos de aplicación sobre el lecho biológico. Este lecho se utiliza para el tratamiento de los líquidos generados en el lavado y preparación de los plaguicidas, la cual se realiza en la zona destinada para ello, como lo indican los protocolos de BPA.

El líquido resultante de la manipulación de los plaguicidas se canaliza y se almacena en un pozo de evaporación, de donde se dosifica de manera homogénea sobre el lecho biológico, mediante un sistema de aspersión que permite incorporar el líquido al lecho biológico para la posterior degradación de los plaguicidas.

Se da por entendido que la zona de lavado y preparación de plaguicidas está dispuesta de acuerdo a las BPA, es decir, cercano a la bodega de plaguicidas, lejos de cursos y fuentes de agua, etc.

Ubicación del lecho

El lecho biológico debe ser aledaño al sector donde se realiza la preparación de plaguicidas y el lavado de los equipos. En el mismo lugar se debe contar con energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba y disponibilidad de agua para realizar el lavado externo del equipo.



DISEÑO

El tamaño del lecho biológico y del pozo de recirculación de lixiviados depende del volumen de líquidos a tratar. Es importante destacar que, no es de relevancia las dimensiones de los equipos de aplicación. Sin embargo es importante considerar que el lecho biológico no debe tener una profundidad mayor a 1 metro, evitando con esto originar condiciones desfavorables para la degradación de plaguicidas que se desarrollan en condiciones aeróbicas.

Previa implementación del lecho biológico, es necesario conocer el volumen de los líquidos que se generan en la zona de preparación de plaguicidas y lavado de los equipos. Una forma de calcular esta cantidad, es midiendo el volumen de líquidos que se disponen en el pozo de evaporación en un período determinado de tiempo (por ejemplo 100 L/día).

Construcción del lecho biológico

Las etapas consideradas en la construcción de este tipo de lecho biológico son: excavación, instalación de tubería de drenaje, impermeabilización, construcción del pozo de recolección y sistema de recirculación, mezclado de los componentes de la biomezcla, llenado e instalación del lecho biológico e instalación de pastelones. Las etapas que no se realizan en este tipo de construcción de lecho son: la instalación de fundaciones e instalación de rampa, debido a que no se realizará el emplazamiento de los equipos sobre el lecho biológico. Se debe considerar un sistema de aspersión del líquido sobre el lecho biológico que permita incorporarlos de manera homogénea. Esto se realiza utilizando una bomba y un sistema de riego mediante aspersión con un radio de acuerdo a las dimensiones del lecho biológico (Figura 3.17).

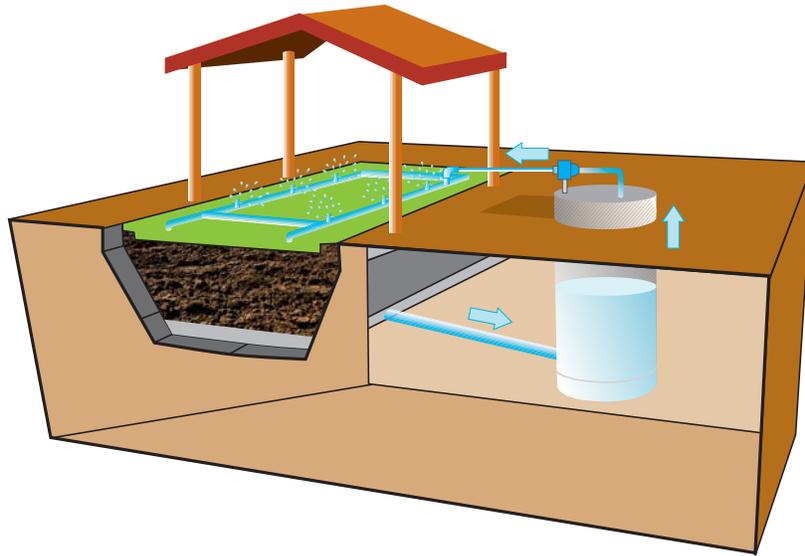


Figura 3.17. Esquema de lecho biológico para tratamiento de líquidos



COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL LECHO BIOLÓGICO PARA TRATAMIENTO DE LÍQUIDOS

A continuación se presenta un desglose presupuestario que detalla los costos asociados a la construcción de lechos biológicos (Tabla 3.2)

Tabla 3.2. Costos de construcción del lecho biológico

	ITEM	CANTIDAD	TOTAL
1.-	Mano de obra		\$
	Construcción de lecho biológico		1.190.000
	Picado de paja		35.000
	Extracción de suelo (manual)		30.000
	Preparación de la biomezcla		40.000
	Llenado de lecho e instalación de césped		60.000
	Subtotal		1.355.000
2.-	Materiales Biomezcla		
	Turba (fardos de 45 kg)	14	349.960
	Paja (fardos)	30	60.000
	Pastelones de césped (m ²) lecho	15	32.130
	Pastelones de césped (m ²) contorno lecho	30	53.550
	Subtotal		495.640
3.-	Áridos para relleno lecho biológico		
	Gravilla 3/4 (m ³)	3	49.980
	Arena fina (m ³)	1	14.000
	Subtotal		63.980

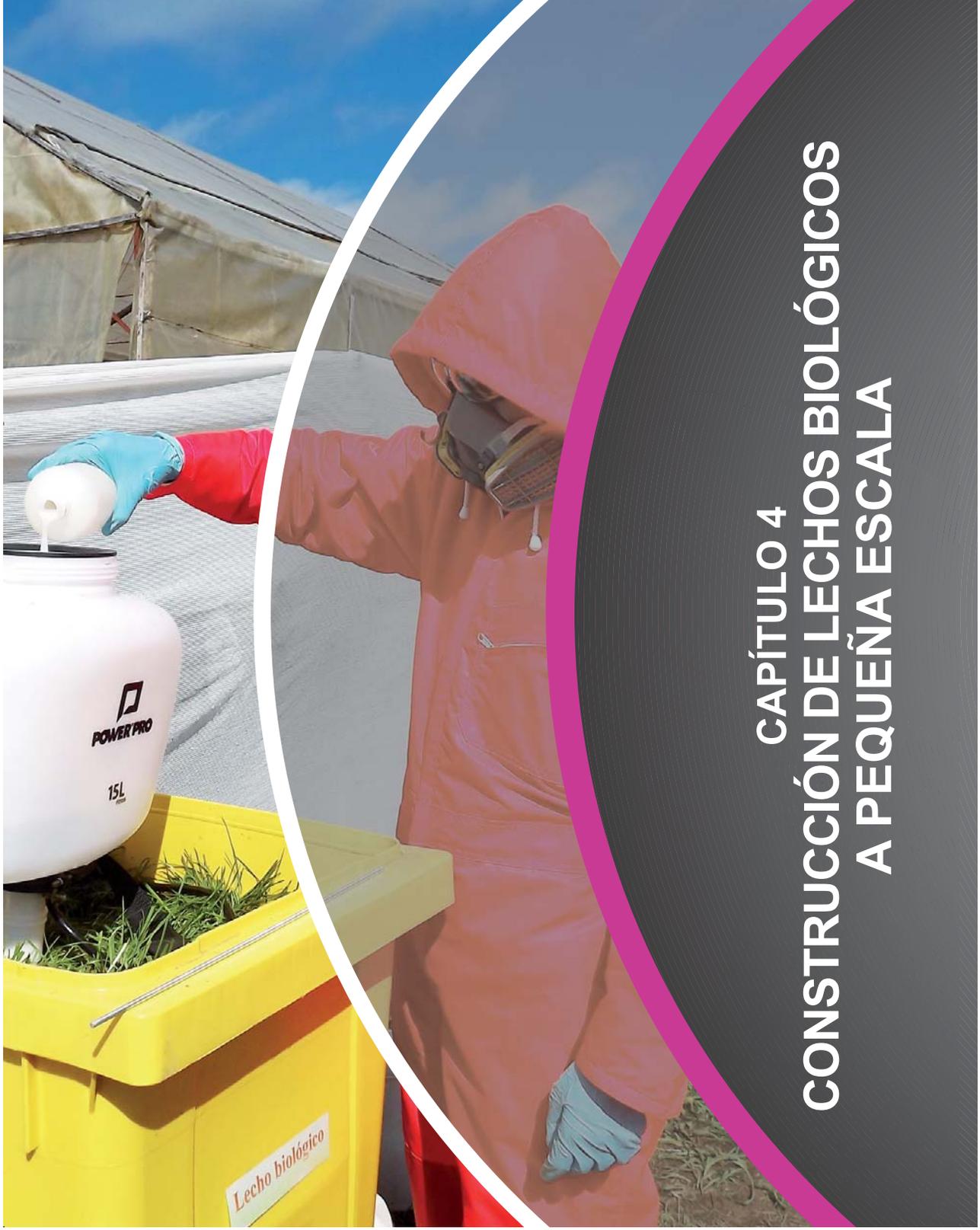


	ITEM	CANTIDAD	TOTAL
4.-	Materiales para impermeabilización		\$
	Cemento (bolsas)	25	93.177
	Malla fierro estriado (unidades)	3	73.696
	Geotéxtil (m)	25	38.378
	Accesorios		133.380
	Subtotal		338.631
5.-	Recirculación		
	Tubos de hormigón 600 x 1 (cm)	3	224.910
	Cubierta de hormigón para pozo 0,60 (cm)	1	9.520
	Subtotal		234.430
6.-	Tuberías de PVC		
	Tubo PVC sanitario D 110 x 6 (m)	1	7.182
	Tubo PVC sanitario D 75 x 6 (m)	1	4.263
	Tubo de PVC presión c 10 32 x 6 (m)	1	1.921
	Accesorios		6.890
	Subtotal		20.256
7.-	Bomba y art. eléctricos		
	Bomba	1	51.765
	Accesorios		53.078
	Subtotal		104.843



Capítulo 3. Construcción de Lechos Biológicos a Escala de Campo

	ITEM	CANTIDAD	TOTAL
8.-	Áridos para construcción		\$
	Gravilla 3/4 (m ³)	4	\$ 56.001
	Arena fina (m ³)	2	\$ 28.001
	Subtotal		\$ 84.002
	TOTAL		2.696.782



CAPÍTULO 4
CONSTRUCCIÓN DE LECHOS BIOLÓGICOS
A PEQUEÑA ESCALA



CONSTRUCCIÓN DE LECHOS BIOLÓGICOS A PEQUEÑA ESCALA

Para predios agrícolas donde la superficie productiva requiere el uso de equipos de pequeña dimensión para aplicar los plaguicidas, tales como, equipos manuales o bomba de espalda, se recomienda la instalación de un lecho a pequeña escala como los que se describen a continuación.



Figura 4.1. Pulverizador manual

La construcción de un lecho biológico a pequeña escala es simple, económica, requiere poco tiempo para su instalación (aproximadamente 2 días) y una mínima mano de obra (2 operarios). Se debe preparar el sector donde se instalará el lecho biológico, se deben adquirir los materiales y se deben acondicionar los contenedores de acuerdo a las instrucciones detalladas mas adelante. En paralelo, se debe preparar la biomezcla, la cual una vez terminada la instalación del lecho, se coloca al interior del contenedor destinado para este efecto.



LECHO CON SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

Selección y disposición de los contenedores

Para construir el lecho biológico será necesario contar con 3 contenedores. Uno deberá ser de mayor tamaño (360 litros aproximadamente), uno mediano (120 litros aproximadamente) y otro más pequeño (50 litros aproximadamente) como se muestra en la Figura 4.2.



Figura 4.2. Contenedores de 360 litros, 120 litros y 50 litros (de izquierda a derecha)

En el contenedor de mayor tamaño se coloca la capa de gravilla, la biomezcla y la capa de césped (lecho biológico). El contenedor mediano se utiliza como depósito recolector de los líquidos que percolan de la biomezcla y el contenedor de menor tamaño se utiliza para proteger la bomba de recirculación de las condiciones ambientales.

El contenedor de mayor tamaño y el pequeño se colocan sobre la superficie del suelo, mientras que el contenedor mediano se entierra parcialmente. En la Figura 4.3 se muestra la disposición de los 3 contenedores que forman parte del lecho biológico.



Figura 4.3. Disposición de los tres contenedores que forma parte del lecho biológico

Instalación de los contenedores

Los tres contenedores deben ser ensamblados entre sí de manera tal que queden unidos mediante conexiones que permitan la recirculación de los líquidos percolados. La recirculación será necesaria en el caso que el equipo manual sea lavado sobre el lecho biológico.

En el fondo del contenedor de mayor tamaño se debe instalar una salida de estanque de PVC hidráulico de 32 mm como se muestra en la Figura 4.4. A esta salida se debe conectar una tubería de PVC hidráulico de 32 mm, en la que se deberá instalar una válvula de bola que regula el paso de los líquidos y un filtro malla que servirá para evitar el paso de sólidos hacia la bomba (Figura 4.4). A continuación del filtro, se debe conectar una tubería de 32 mm hasta el interior del contenedor mediano (pozo de recolección), conectando al término de ésta tubería un codo de PVC hidráulico, con el fin de direccionar la tubería, y por ende, los



líquidos hacia el interior del contenedor.

Se debe tener la precaución de que todas las uniones sean de tipo americano para su fácil desinstalación, en caso de tener que cambiarlo de lugar. Además, se debe verificar que queden completamente selladas para evitar fugas o goteos fuera del lecho biológico.

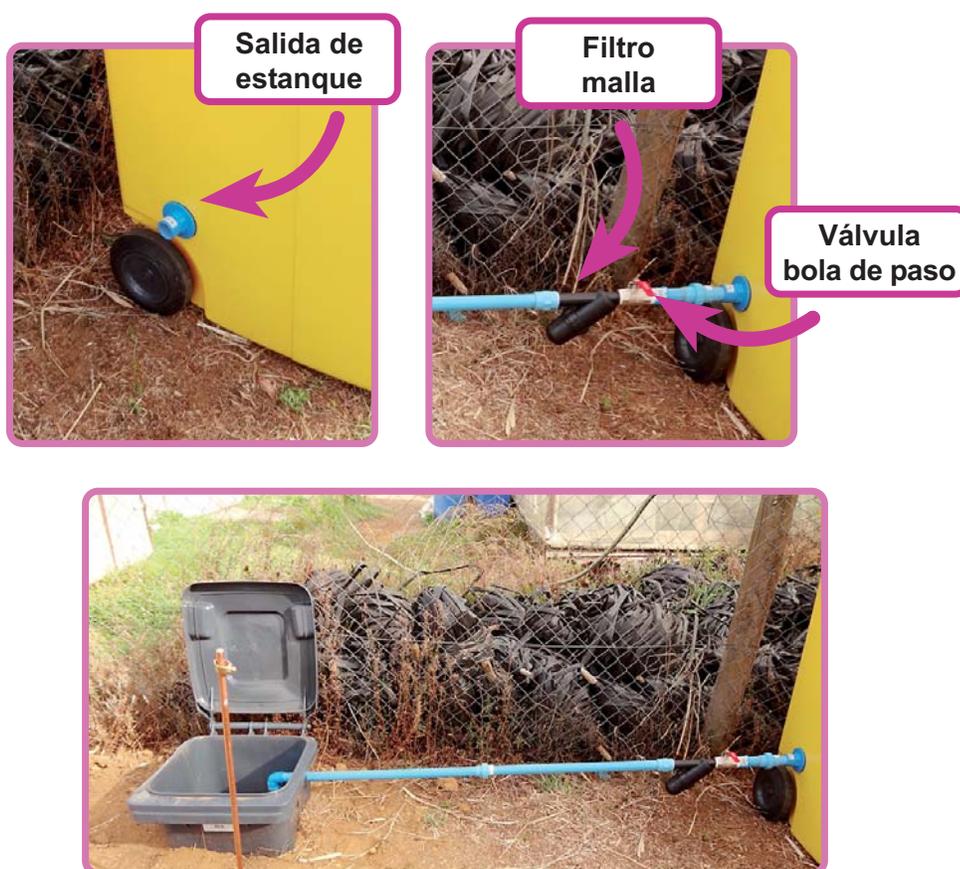


Figura 4.4. Conexión de contenedores



Sistema de recirculación

El sistema de recirculación se debe instalar para que los líquidos que percolan desde el lecho biológico sean nuevamente aplicados sobre la superficie de éste, para asegurar que la degradación de los plaguicidas sea lo más completa posible.

Para el sistema de recirculación se debe instalar una tubería de PVC de 32 mm, que sale del fondo del contenedor mediante (pozo de recolección) y que es conectada a la bomba de 0,5 HP. La bomba se coloca dentro del contenedor pequeño, para que quede protegida de las condiciones ambientales. A la bomba se conecta una tubería de PVC de 32 mm hasta el contenedor grande. En la parte superior de la tubería de PVC se ajusta un aspersor *pop up* o similar, el cual tiene la función de distribuir homogéneamente en la superficie del lecho los líquidos recirculados (Figura 4.5).



Figura 4.5. Sistema de recirculación



Incorporación de los componentes del lecho biológico

Una vez que el sistema está completamente instalado, se debe proceder a llenar el contenedor de mayor tamaño como se indica a continuación.

En el fondo del contenedor se debe agregar una capa de gravilla de aproximadamente 10 cm, la que sirve de filtro para retener materiales sólidos que pueden tapan la salida de la tubería que traslada los líquidos hasta el pozo recolector (Figura 4.6).

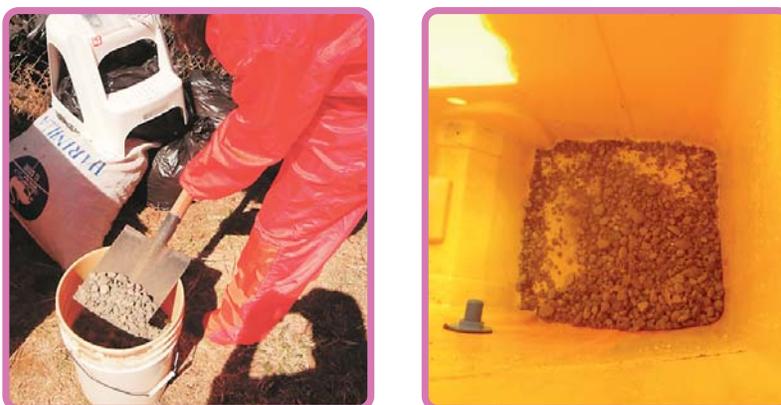


Figura 4.6. Incorporación de gravilla al lecho biológico

Sobre la capa de gravilla se debe agregar la biomezcla, que fue preparada mezclando 50% de paja, 25% de suelo y 25% de turba (Figura 4.7). La altura de la biomezcla debe ser de 70 cm aproximadamente y se debe compactar suavemente con las manos al momento de llenar el depósito para evitar una biomezcla demasiado esponjosa. Sobre la biomezcla se debe colocar una capa de aproximadamente 5 cm de suelo para instalar una capa de césped. El césped puede ser establecido mediante semillas (mezcla de gramíneas y leguminosas) o instalando un pastelón de césped.



Figura 4.7. Incorporación de biomezcla y césped en el lecho biológico

Después de que el lecho biológico está completamente instalado debe permanecer a lo menos 30 días sin ser utilizado y con una humedad de 50-60% de la capacidad de campo, para la maduración de la biomezcla y para favorecer el desarrollo de los microorganismos.

Cuando el lecho no está siendo utilizado, se debe tener la precaución de mantenerlo semitapado, para que no ingrese agua lluvia a la biomezcla y así evitar la saturación de éste. La Figura 4.8 muestra un lecho biológico con recirculación que se utiliza para equipos manuales de aplicación de plaguicidas.



Figura 4.8. Lecho biológico con recirculación

LECHO SIN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

Basado en el diseño anterior, también se pueden instalar lechos más sencillos sin sistema de recirculación (Figura 4.9). Estos lechos, se utilizan cuando no se realiza el lavado externo del equipo de aplicación manual sobre el lecho biológico. Al igual que el caso anterior el lecho se debe mantener semitapado cuando no esté siendo utilizado.

Por su sencillo diseño y fácil construcción, se pueden instalar en gran número de predios de pequeño tamaño. Este tipo de lecho se ha instalado ampliamente en países como Perú y Guatemala.



Figura 4.9. Lecho biológico sin recirculación

COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL LECHO BIOLÓGICO A PEQUEÑA ESCALA

A continuación, se presenta un desglose presupuestario que detalla los costos asociados a la construcción de lechos biológicos a pequeña escala (Tabla 4.1).

En esta tabla de costo se incluye el sistema de recirculación el cual es opcional, "dependiendo del tipo de lecho a construir.



Tabla 4.1. Costos implementación lecho biológico a pequeña escala

	ITEM	CANTIDAD	TOTAL \$
1.-	Materiales construcción lecho biológico		
	Contenedor lecho biológico (360 L)	1	82.000
	Contenedor pozo de recolección (120 L)	1	20.000
	Interruptor de nivel de agua	1	8.000
	Tubería PVC hidráulico 32 mm (6 m)	1	2.000
	Codos PVC hidráulico 90° 32 mm	6	9.000
	Bomba 0,5 HP	1	21.000
	Aspersor pop up	1	1.500
	Union americana	6	10.000
	Terminal de PVC hidráulico HE 32 mm	8	1.000
	Accesorios (Válvulas, filtro, salida de estanque, etc)		40.000
	Subtotal		194.500
2.-	Materiales relleno lecho biológico		
	Fardo de turba	1	25.000
	Fardo de paja de avena	1	2.000
	Gravilla 3/4		2.000
	Cubierta vegetal		1.500
	Subtotal		30.500
	Total		225.000

"Los lechos biológicos a pequeña escala son una solución económica para proteger el medio ambiente"



CAPÍTULO 5
OPERACIÓN, MANTENCIÓN Y
FUNCIONAMIENTO DEL LECHO
BIOLÓGICO A ESCALA DE CAMPO



OPERACIÓN, MANTENCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL LECHO BIOLÓGICO A ESCALA DE CAMPO

El lecho biológico está diseñado para contener derrames accidentales y para el lavado externo del equipo. Nunca se debe utilizar para realizar el lavado interno y tampoco para otras labores como el lavado de los envases de los plaguicidas. El líquido resultante del lavado interno del equipo debe ser incorporado a una zona de barbecho químico debidamente señalizada o bien aplicado nuevamente al cultivo. Estas labores no se realizan dentro del lecho biológico, debido a que se utilizan grandes volúmenes de agua, lo que puede provocar la saturación del sistema y afectar el adecuado funcionamiento del lecho

A continuación, se detallan los pasos prácticos a seguir durante la preparación y manipulación de los plaguicidas sobre el lecho biológico.

Antes de ingresar a la zona de llenado

Las tareas de mezcla de plaguicidas y carga en el estanque de aplicación son trabajos que requieren de un especial cuidado y se debe contar con personal capacitado para estos fines. Lo anterior debido a que los plaguicidas se encuentran en altas concentraciones, representando un riesgo para la salud y el medio ambiente.

El operario que manipula los plaguicidas debe disponer del equipo de protección adecuado (traje, antiparras, respirador, guantes y botas), el cual debe utilizar en todo momento y debe estar en buenas condiciones (Figura 5.1).

Por otro lado, el equipo de aplicación, debe encontrarse en buenas condiciones operativas y correctamente calibrado, sin presencia de fugas ni filtraciones.



Figura 5.1. Equipo de protección utilizado en la aplicación de plaguicidas

Al ingresar a la zona de llenado

El operador debe verificar que el hidrante, que se encuentra ubicado en el lugar donde se construye el lecho biológico, esté funcionando adecuadamente para que no se produzcan derrames de agua sobre el lecho biológico.

Una vez ingresado el equipo de aplicación sobre la rampa, se procede a la preparación del plaguicida a aplicar colocando agua hasta $1/3$ de la capacidad del estanque. Luego, se adiciona el producto concentrado con extremo cuidado para evitar algún derrame accidental. Se procede a completar el volumen requerido con agua ($2/3$), teniendo especial cuidado en no rebalsar el estanque, ya que se ha observado que esto es de relativa frecuencia, produciendo contaminación puntual por plaguicidas (Figura 5.2).



Figura 5.2. Rebalse del estanque durante la preparación de plaguicidas

Terminado el llenado del estanque de aplicación, se debe verificar el correcto cierre del hidrante para evitar inundar el lecho biológico.

✓ Es importante remarcar que no se debe abastecer de agua el estanque de aplicación directamente de ríos, canales, vertientes, lagunas o lagos.

✓ Es importante remarcar que no se deben dejar envases vacíos de plaguicidas u otro material sobre el lecho biológico.

Lavado externo de equipos

Una vez terminada la faena de aplicación de plaguicidas, se debe ingresar nuevamente el equipo de aplicación al lecho biológico para proceder a su lavado externo. Este lavado se debe realizar con una manguera y no con el hidrante, evitando el uso excesivo de agua lo que podría ocasionar el transporte del líquido fuera del lecho biológico y la saturación o inundación del lecho.



El lecho biológico a escala de campo de un tamaño de 6 metros de largo por 3 metros de ancho, tiene una capacidad de retención de agua de 600 a 700 litros manteniendo una humedad entre un 50 a 60% de la capacidad de campo, sin que ocurra escurrimiento de líquidos al pozo de recolección.

De acuerdo a mediciones realizadas en un lecho a escala de campo, en las operaciones de lavado externo del equipo (tractor + nebulizador), se requiere de aproximadamente 60 a 70 litros de agua. Por lo tanto, se recomienda realizar un máximo de 10 lavados de equipos en el periodo de una semana (Tabla 5.1).

Si se utiliza mayor cantidad de agua o si se lava un mayor número de equipos por semana, el lecho se saturará y se producirá el escurrimiento hacia el pozo de recolección. En este caso, se accionará la bomba de recirculación de los líquidos hacia el lecho.

En este caso se debe esperar hasta que el lecho recupere su condición normal de uso (60% de capacidad de campo). Si se necesita el lavado de un mayor número de equipos, se pueden instalar otros lechos biológicos.

Tabla 5.1. Volumen de agua de lavado por equipo, capacidad de retención de agua del lecho y número de lavados por semana

Equipo	Volumen de agua de lavado (Litros/equipo)	Capacidad del lecho (Litros)	Número de lavados / semana
Tractor + Nebulizador (1.500 L)	60-70	600-700	10



Mantenimiento del lecho biológico

Debido a la descomposición natural que afecta a la paja y a la compactación natural de la biomezcla, la altura de ésta disminuye en aproximadamente 10 cm por año. Por lo tanto, es necesario nuevamente agregar biomezcla fresca al lecho biológico y reponer la capa de césped antes de comenzar a utilizarlo en cada temporada de aplicación de plaguicidas.

Se estima que el funcionamiento óptimo de la biomezcla de un lecho biológico es de 4 a 5 años, por lo cual al término de este periodo se debe reemplazar toda la biomezcla. Este procedimiento debe ser planificado con anterioridad para que éste sea realizado 2 a 3 meses previo al comienzo de la temporada de aplicación, ya que la biomezcla debe estabilizarse, como se explicó previamente en este manual (Capítulo 3).

Es importante tener en cuenta que la biomezcla removida del lecho biológico puede contener cantidades pequeñas de residuos de plaguicidas, ya sea por que el lecho biológico ha sido recientemente utilizado o porque algunos plaguicidas son degradados lentamente. Por lo anterior, es estrictamente necesario compostar la biomezcla previo a su disposición en el predio.

Para compostar la biomezcla, se debe apilar sobre un plástico protegida de la lluvia, debe ser revuelta una vez por semana cuidando que esté siempre con la humedad adecuada. El tiempo de compostaje debe ser de 6 a 12 meses. Posterior a este tiempo, el material compostado puede ser dispuesto en el predio en forma segura.



FUNCIONAMIENTO DE UN LECHO BIOLÓGICO PARA EQUIPO TRACCIONADO

En la presente sección de este capítulo se presentan los resultados del funcionamiento de un lecho biológico a escala de campo, diseñado para equipos traccionados. Este lecho, se encuentra ubicado en la Estación Experimental de INIA-Carillanca, tienen un tamaño de 6 por 3 metros y se encuentra cubierto por un techo.

En el lecho biológico se instalaron sensores de humedad y temperatura para mantener un registro permanente de estos parámetros. Además, se evaluó la degradación de los plaguicidas mencionados en la Tabla 5.2, la actividad biológica y el pH durante 120 días.

Tabla 5.2. Plaguicidas utilizados en el estudio

Nombre comercial	Ingrediente activo	Tipo	Concentración de i.a. (g/kg o g/L)
Pyrinex 48 EC	Clorpirifos	Insecticida	480
Captan 80 WP	Captan	Funguicida	800
Clorotalonil 72 SC	Clorotalonil	Funguicida	720
Imidan 70 WP	Fosmet	Insecticida	700
Supracid 40 WP	Metidation	Insecticida	400
Guzation 35 WP	Azinfosmetil	Insecticida	350
Atrazina 500 SC	Atrazina	Herbicida	500
Diazinon	Diazinon	Insecticida	400
Fuego	Isoproturon	Herbicida	500



Registro de humedad y temperatura en el lecho biológico

Para realizar un seguimiento de los niveles de humedad y temperatura en la biomezcla, se incorporó un sistema de monitoreo al lecho biológico. El sistema de monitoreo incluyó 3 sensores de humedad (modelo 10HS) y 3 sensores de temperatura (modelo DS18B20) instalados a 10, 30 y 60 cm de profundidad en la biomezcla. Los datos en el equipo fueron almacenados mediante un registrador de datos a intervalos de 15 minutos durante 11 meses (Figura 5.3).



Figura 5.3. Equipo de registro de humedad y temperatura

Cabe señalar, que la humedad determinada por los sensores instalados equivale al 50% de la humedad expresada como capacidad de campo, es decir, 30% de humedad equivale a 60% de capacidad de campo. En la Figura 5.4 se muestran la evolución de la humedad en la biomezcla a 3 profundidades del lecho (10, 30 y 60 cm).

La humedad en el lecho biológico, se mantuvo entre 25 y 35% entre los meses de febrero y agosto a las 3 profundidades evaluadas. Se observó pérdida de humedad en la capa superior debido a que en los primeros centímetros se encuentran más expuestos al medio externo, siendo mayor la pérdida de humedad en los meses más cálidos. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado en mantener húmeda la capa superior del lecho biológico.

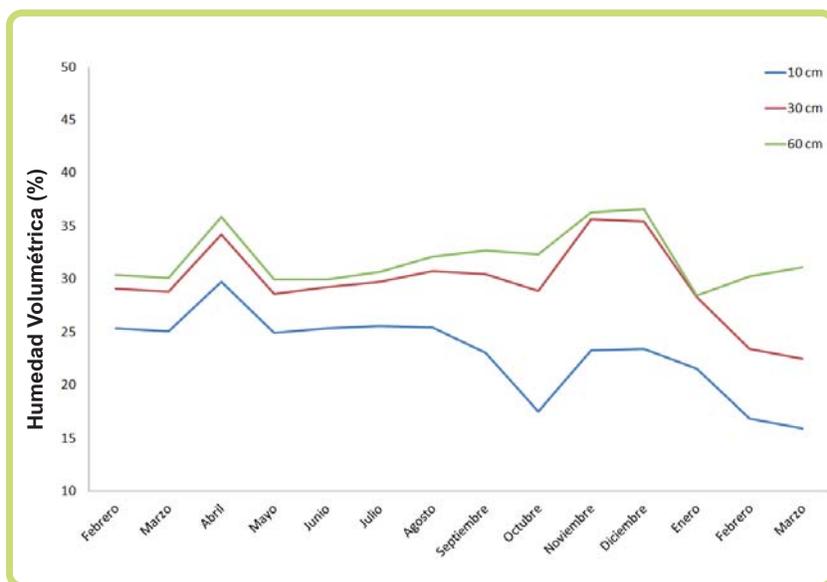


Figura 5.4. Humedad en la biomezcla a diferentes profundidades del lecho (10, 30 y 60 cm), febrero de 2012 a marzo de 2013

Relación al registro de la temperatura en la biomezcla en del lecho se observó que ésta fluctúa entre 10 y 15°C durante los meses de febrero a junio de 2012, siendo mayor a la profundidad de 60 cm (Figura 5.5). A partir de agosto la temperatura aumentó hasta aproximadamente 20°C en las tres profundidades analizadas.

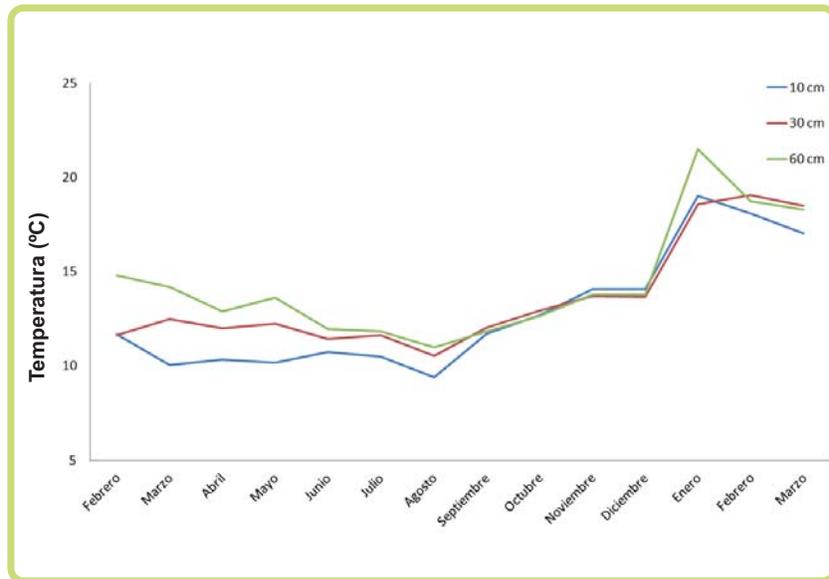


Figura 5.5. Temperatura en la biomezcla a diferentes profundidades (10, 30 y 60 cm), febrero de 2012 a marzo de 2013

Degradación de plaguicidas

Para llevar a cabo el estudio de degradación de plaguicidas, se contaminó la sección central del lecho biológico, ocupando un área de 4,5 m² (0,9 metros de ancho x 5 metros de largo), la cual fue dividida en 3 segmentos (0,9 metros de ancho x 1 metro de largo).

El lecho biológico fue contaminado con los plaguicidas contenidos en 100 litros de agua resultando una concentración de 32 mg i.a./kg de biomezcla en el lecho. La contaminación se realizó mediante una bomba de espalda con capacidad de 20 litros, por lo que fue necesario realizar 5 aplicaciones de 20 litros cada una (Figura 5.6).



Figura 5.6. Aplicación de los plaguicidas en el lecho biológico

De cada sector del lecho biológico, se tomaron muestras manualmente a 3 profundidades (10, 30 y 60 cm) por un periodo de 120 días para cuantificar la concentración de plaguicida residual y la actividad biológica. Además, se muestreó un segmento sin contaminar como muestra control, para efectos comparativos.

Para realizar el muestreo se retiró un segmento de la cubierta vegetal que cubre el lecho biológico (Figura 5.7). Las muestras obtenidas a 3 profundidades fueron depositadas en bolsas de polietileno y mantenidas refrigeradas hasta su análisis.



Figura 5.7. Muestro de la biomezcla para el análisis de residuos de plaguicidas



Los residuos de plaguicidas fueron extraídos con solventes orgánicos y analizados mediante técnicas cromatográficas. Los resultados obtenidos luego de 120 días de aplicación de los plaguicidas se muestran en la Figura 5.8.

Se observó que los plaguicidas captan, clorotalonil, clorpirifos, diazinon, fosmet, isoproturon y metidation fueron removidos sobre un 97%. Para atrazina y azinfos metil la remoción fue menor comparado a los compuestos anteriores, sin embargo, ésta fue sobre el 89% (Figura 5.8).

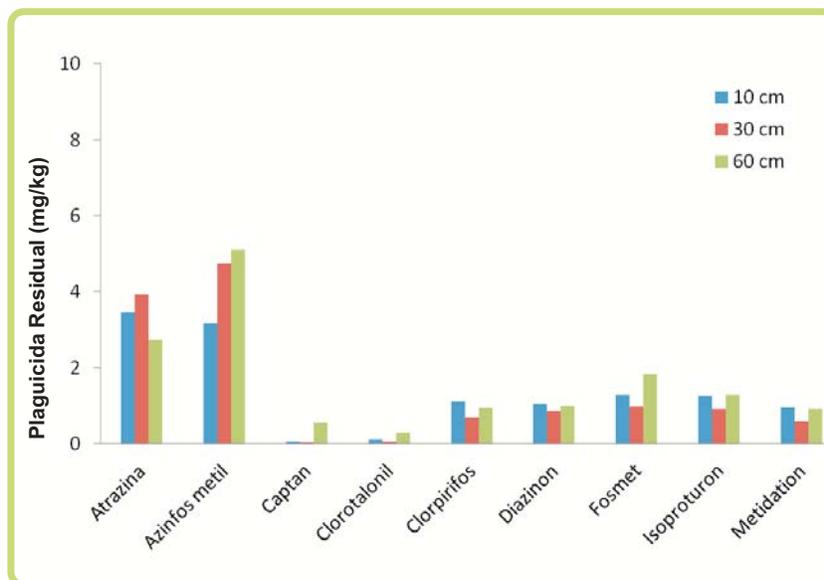


Figura 5.8. Concentración residual de los plaguicidas en el lecho biológico después de 120 días de la aplicación



Luego de los 120 días, se adicionó agua sobre el lecho con el propósito de saturarlo y forzar la percolación de los líquidos hacia el pozo de recirculación, con el objetivo de determinar la presencia de plaguicidas en el líquido. Los resultados obtenidos en esta evaluación, demostraron que los plaguicidas clorotalonil y clorpirifos fueron detectados en el pozo de recirculación en muy baja concentración 0,3 y 0,1 $\mu\text{g/L}$, respectivamente (Tabla 5.3). Por otro lado, atrazina, diazinon e isotroturon se encontraron en mayor concentración debido a que por sus características son plaguicidas que presentan mayor movilidad los otros plaguicidas no fueron detectados.

Tabla 5.3. Concentración de plaguicidas en líquidos percolados luego de la saturación del lecho

Plaguicida	Concentración ($\mu\text{g/l}$)
Atrazina	3,8
Azinfos metil	n.d.
Captan	n.d.
Clorotalonil	0,3
Clorpirifos	0,1
Diazinon	2,4
Isoproturon	2,0
Metidation	n.d.
Fosmet	n.d.

n.d.: no detectado



Actividad biológica

En paralelo a la medición del contenido de plaguicidas, se midió la actividad biológica en el lecho a través de la actividad de las enzimas peroxidasas. La actividad de estas enzimas es relevante, ya que indican la presencia de microorganismos que degradan plaguicidas y compuestos de estructura química similares.

En la Figura 5.9 se muestra la actividad de las enzimas peroxidasas durante 120 días de funcionamiento del lecho. La mayor actividad se obtuvo entre los 60 y 90 días, siendo mayor en la profundidad de 60 cm, lo cual podría ser atribuible al movimiento de las enzimas en el perfil de la biomezcla y a condiciones ambientales favorables de temperatura y humedad para la actividad biológica.

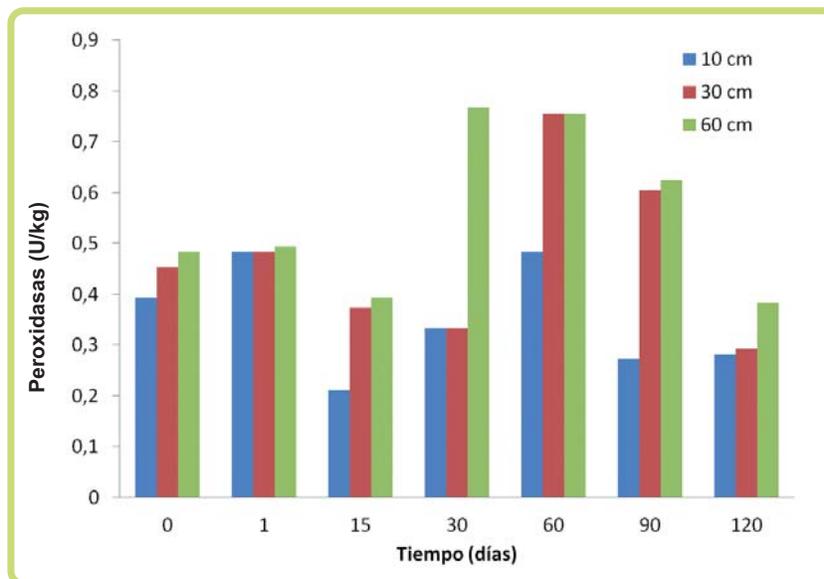


Figura 5.9. Efecto de la aplicación de los plaguicidas sobre la actividad de peroxidasas



Evaluación del pH en la biomezcla

La Figura 5.10 muestra el pH en la biomezcla del lecho biológico con y sin plaguicidas después de 120 de operación. Se observa que la adición de plaguicidas causó un leve incremento en el valor de pH comparado con el control sin plaguicida. Sin embargo, los valores se mantuvieron en un rango ácido (entre pH 5,5 y 6,5) lo cual favorece la actividad de los hongos degradadores de estos compuestos.

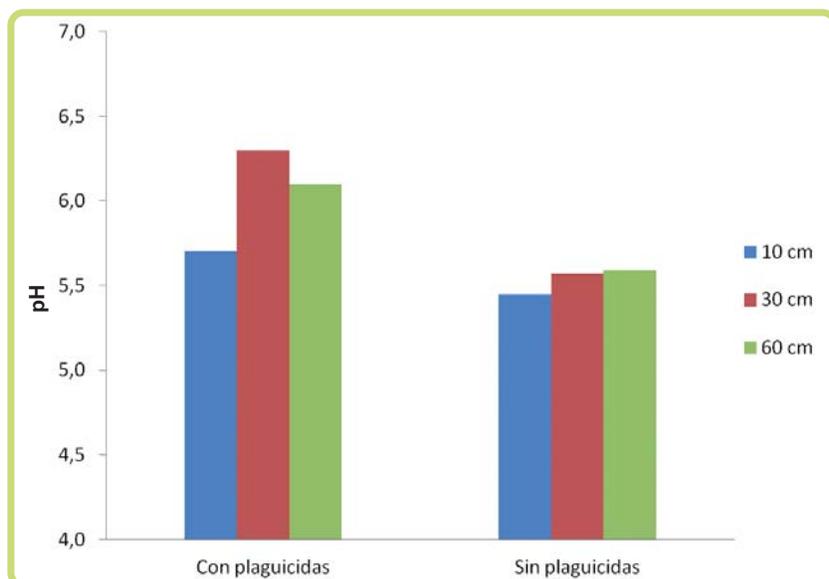


Figura 5.10. pH en la biomezcla del lecho biológico con y sin plaguicida a diferentes profundidades (10, 30 y 60 cm) después de 120 días de operación

Nunca utilice el lecho biológico para el lavado interno del equipo de aplicación y tampoco para el lavado de los envases de los plaguicidas.



CAPÍTULO 6
ENSAYOS A ESCALA DE LABORATORIO



ENSAYOS A ESCALA DE LABORATORIO

La degradación de los plaguicidas en el lecho biológico está determinada principalmente por los componentes de la biomezcla y las condiciones de humedad y temperatura existentes en el lecho. El tipo de suelo, tipo de residuos lignocelulósicos (paja, aserrín, cascarilla de cereales, etc) y materiales que pueden ser usados en reemplazo de la turba (biocarbón), pueden afectar el comportamiento de los lechos biológicos. Por ejemplo, una biomezcla preparada con residuos con bajo contenido de lignina puede no favorecer el crecimiento de hongos degradadores de plaguicidas. Por otra parte, una adecuada degradación de los plaguicidas en la biomezcla dependerá de la concentración en que éstos estén presentes.

Considerando que en Chile, la implementación de los lechos biológicos es reciente, es necesario realizar diversos estudios que permiten evaluar condiciones ambientales como la pluviometría, y distintos componentes de la biomezcla, entre otros.

En el presente manual, se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos en estos estudios.

- ✓ Degradación de plaguicidas en biomezclas con distintos tipos de suelo, turba y materiales lignocelulósicos en reemplazo de la paja.
- ✓ Ensayo de lixiviación de plaguicidas simulando diferentes condiciones de pluviometría en columnas empacadas con biomezcla.
- ✓ Degradación de plaguicidas en biomezclas preparadas con distintos tipos de suelo, paja, turba y biocarbón.



✓ **Degradación de plaguicidas en biomezclas con distintos tipos de suelo, turba y materiales lignocelulósicos en reemplazo de la paja.**

Para este estudio, se prepararon 9 biomezclas utilizando tres tipos de suelo (rojo arcilloso, arenoso y trumao) cuyas características físico-químicas se muestran en la Tabla 6.1 y tres residuos lignocelulósicos (paja de trigo, aserrín de pino y cascarilla de cebada) cuyas características se muestran en la Tabla 6.2. Las biomezclas se prepararon mezclando los componentes en diversos porcentajes como se muestra en la Tabla 6.3.

El ensayo fue realizado utilizando lechos biológicos a escala de laboratorio de 30 cm de ancho, 20 cm de alto y 50 cm de largo (Figura 6.1) colocando aproximadamente 10 cm de biomezcla, las cuales fueron previamente maduradas por 30 días. Las biomezclas se mantuvieron a humedad de 50 a 60% de la capacidad de campo y a temperatura ambiente (20 a 25°C).

Tabla 6.1. Caracterización físico-química de los diferentes tipos de suelos utilizados en la biomezcla de un lecho biológico

Parámetro	Rojo arcilloso	Suelos Arenoso	Trumao
Nitrógeno (mg/kg)	13,0 ± 0,4	9,0 ± 0,1	18,6 ± 0,7
Fósforo (mg/kg)	4,0 ± 0,3	20,0 ± 0,9	17,1 ± 0,5
Potasio (mg/kg)	43,0 ± 2,4	149,0 ± 8,4	69,0 ± 1,4
pH	5,2 ± 0,4	6,0 ± 0,2	5,4 ± 0,1
Materia orgánica (%)	3,0 ± 0,2	2,0 ± 0,5	12,7 ± 0,5
Limo (%)	32,6 ± 0,9	20,1 ± 0,7	34,2 ± 0,4
Arcilla (%)	68,5 ± 0,8	9,1 ± 0,5	28,7 ± 0,8
Arena (%)	11,3 ± 0,5	58,3 ± 0,4	37,1 ± 0,2



Tabla 6.2. Caracterización físico-química de los diferentes materiales lignocelulósicos utilizados en la biomezcla de un lecho biológico

Parámetro	Materiales lignocelulósicos		
	Paja de trigo	Aserrín de pino	Cascarilla de cebada
Materia seca (%)	91,1 ± 3	87,8 ± 2	88,8 ± 1
Fibra detergente ácida (%)	54,3 ± 2	76,6 ± 3	12,9 ± 1
Lignina (%)	9,9 ± 0,4	20,6 ± 0,6	2,4 ± 0,2
Celulosa (%)	41,8 ± 3	54,3 ± 4	9,6 ± 0,5
Materia orgánica (%)	66,1 ± 2	61,7 ± 3	59,8 ± 1
pH	5,9 ± 0,1	4,8 ± 0,1	5,8 ± 0,0
N (mg/kg)	5,6 ± 0,3	2,8 ± 0,1	6,8 ± 0,6

Tabla 6.3. Composición de las biomezclas preparadas con distintos tipos de suelo y residuos lignocelulósicos (% en volumen)

Biomezcla	Tipo de Suelo (%)	Turba (%)	Material lignocelulósico (%)		
			Paja Trigo	Aserrín de pino	Cascarilla de cebada
A1	Rojo arcilloso 25	25	50	0	0
A2			25	25	0
A3			25	0	25
B1	Arenoso 25	25	50	0	0
B2			25	25	0
B3			25	0	25
C1	Trumao 25	25	50	0	0
C2			25	25	0
C3			25	0	25



Los plaguicidas utilizados para el estudio fueron atrazina (atrazina 500SC), isoproturon (Fuego 50SC), iprodione (Rovral 50 SC), clorpirifos (chlorpirifos S480), diazinon (Sinpullkill), y carbendazim (Itabarb). Estos compuestos fueron aplicados a las biomezclas en forma repetida. La primera dosis de 100 mg i.a./kg se aplicó al día 0 del ensayo, la segunda dosis de 200 mg i.a./kg se aplicó al día 30, y la tercera dosis de 300 mg i.a./kg se aplicó al día 60.



Figura 6.1. Lecho biológico a escala de laboratorio utilizado para evaluar la degradación de plaguicidas

Los resultados de la degradación de los plaguicidas después de la primera aplicación (100 mg i.a./kg) en las distintas biomezclas compuestas por diferentes suelos y distintos residuos lignocelulósicos se observan en la Tabla 6.4.



Tabla 6.4. Degradación de los plaguicidas (%) en la biomezclas a los 30 días de aplicación a una concentración de 100 mg i.a./kg

Degradación de plaguicidas (%)						
Biomezcla	Carbendazim	Atrazina	Isoproturon	Iprodiona	Clorpirifos	Diazinon
A1	60,1 ± 1,2	89,8 ± 2,4	79,1 ± 0,7	24,8 ± 1,7	76,1 ± 0,9	78,1 ± 0,2
A2	61,0 ± 0,2	66,2 ± 4,2	63,6 ± 0,2	25,6 ± 1,2	86,8 ± 0,2	85,9 ± 1,2
A3	76,5 ± 2,2	77,0 ± 0,2	53,2 ± 0,2	34,3 ± 0,2	57,8 ± 0,2	73,5 ± 1,5
B1	56,0 ± 0,7	76,5 ± 0,2	77,4 ± 2,2	52,9 ± 5,2	72,9 ± 0,7	60,8 ± 12
B2	53,5 ± 4,2	75,0 ± 4,2	63,3 ± 1,4	38,1 ± 0,3	77,2 ± 1,1	49,2 ± 1,4
B3	59,0 ± 0,9	92,7 ± 0,2	52,4 ± 1,7	68,4 ± 1,2	55,9 ± 1,7	33,9 ± 0,2
C1	80,7 ± 1,2	73,4 ± 0,4	74,4 ± 0,4	32,3 ± 1,2	76,1 ± 1,2	63,1 ± 0,2
C2	42,6 ± 1,7	51,6 ± 0,3	44,3 ± 1,2	25,9 ± 1,5	55,7 ± 1,1	75,8 ± 1,8
C3	84,1 ± 1,1	92,7 ± 0,5	65,0 ± 0,2	23,6 ± 1,1	63,7 ± 0,4	78,7 ± 1,4

Como se observa en la Tabla 6.4 una alta degradación de los plaguicidas se logró con todas las biomezclas evaluadas (entre 60 y 90%) con excepción de iprodiona. Por otra parte, aunque con los tres tipos de suelo y con los residuos lignocelulósicos evaluados, el comportamiento de la degradación de los plaguicidas fue similar, la degradación en las biomezclas compuestas con aserrín de pino (A2, B2 y C2) fue más baja para algunos plaguicidas, principalmente en la biomezcla con suelo trumao.

Después de la primera aplicación de plaguicidas, se efectuó una segunda aplicación a los 30 días con 200 mg i.a/kg biomezcla. Los resultados obtenidos después de la segunda aplicación se observan en la Tabla 6.5



Tabla 6.5. Degradación de los plaguicidas (%) en las biomezclas después de 30 días de la segunda aplicación a una concentración de 200 mg i.a./kg

Degradación de plaguicidas (%)						
Biomezcla	Carbendazim	Atrazina	Isoproturon	Iprodiona	Clorpirifos	Diazinon
A1	51,1 ± 4,7	76,1 ± 0,9	65,8 ± 1,2	20,8 ± 1,7	63,1 ± 0,2	72,9 ± 7,7
A2	53,5 ± 4,2	58,8 ± 0,2	59,2 ± 3,4	21,6 ± 1,2	75,8 ± 1,8	77,2 ± 5,1
A3	71,2 ± 2,2	57,4 ± 0,2	63,9 ± 6,2	24,3 ± 0,2	78,7 ± 1,4	65,9 ± 4,7
B1	54,0 ± 4,7	72,5 ± 4,2	76,1 ± 2,2	51,9 ± 4,2	62,5 ± 0,7	63,0 ± 3,2
B2	53,5 ± 6,2	70,50 ± 8,2	55,7 ± 5,1	31,1 ± 2,3	66,2 ± 3,1	42,2 ± 1,1
B3	59,0 ± 3,9	89,7 ± 4,2	63,7 ± 4,4	61,4 ± 1,2	51,3 ± 2,7	30,7 ± 4,2
C1	72,7 ± 2,2	69,4 ± 1,4	74,4 ± 1,7	30,3 ± 1,2	64,1 ± 1,3	53,1 ± 2,2
C2	40,4 ± 1,7	51,6 ± 4,3	40,3 ± 5,2	21,9 ± 1,5	54,7 ± 3,1	65,8 ± 1,3
C3	74,1 ± 3,1	85,7 ± 3,5	59,0 ± 3,2	25,6 ± 1,1	69,7 ± 3,9	68,7 ± 2,5

En general, se observó una eficiente degradación de los plaguicidas evaluados con excepción de iprodiona. Sin embargo, se observó que la degradación fue menor que la obtenida cuando se adicionó 100 mg/kg de biomezcla. De igual manera que en los resultados obtenidos después de la primera aplicación de plaguicidas, se observó una menor degradación cuando la biomezcla fue preparada con aserrín de pino en reemplazo de una parte de la paja de trigo.

En la Tabla 6.6 se observa la degradación de la mezcla de los seis plaguicidas aplicados en las biomezclas evaluados después de la tercera aplicación (300 mg/kg) a 30 días después de la segunda aplicación.



Tabla 6.6. Degradación de los plaguicidas (%) en las biomezclas a los 30 días de la tercera aplicación a una concentración de 300 mg i.a./kg

Degradación de plaguicidas (%)						
Biomezcla	Carbendazim	Atrazina	Isoproturon	Iprodiona	Clorpirifos	Diazinon
A1	50,1 ± 2,5	60,1 ± 0,9	58,6 ± 3,2	23,8 ± 3,7	59,3 ± 4,2	69,4 ± 5,3
A2	49,5 ± 3,6	55,8 ± 2,2	53,2 ± 3,4	25,6 ± 1,2	69,5 ± 3,4	72,2 ± 4,7
A3	68,2 ± 2,2	50,4 ± 3,2	60,9 ± 6,2	22,3 ± 2,2	78,7 ± 2,5	65,9 ± 2,5
B1	54,0 ± 4,7	70,5 ± 4,2	66,1 ± 2,2	49,9 ± 4,2	60,5 ± 3,4	60,9 ± 3,2
B2	51,5 ± 4,2	60,5 ± 8,2	50,3 ± 5,1	37,1 ± 1,3	60,2 ± 4,2	41,2 ± 1,1
B3	54,0 ± 5,9	70,7 ± 4,2	63,7 ± 4,4	59,4 ± 3,2	51,7 ± 2,2	30,7 ± 4,2
C1	69,7 ± 2,9	67,4 ± 2,4	60,4 ± 1,5	31,3 ± 1,9	63,7 ± 3,9	53,1 ± 1,2
C2	42,4 ± 1,9	50,6 ± 1,3	40,5 ± 3,2	23,2 ± 2,5	52,2 ± 1,1	62,5 ± 2,3
C3	70,1 ± 4,1	79,7 ± 2,5	53,0 ± 5,2	21,6 ± 1,8	60,7 ± 4,2	60,3 ± 2,5

De los resultados mostrados en la Tabla 6.6 se puede observar que si bien los plaguicidas siguen siendo degradados por la biomezcla, incluso en porcentaje mayor a 50%, la eficiencia en todas las biomezclas disminuye, lo que indica que a medida que sucesivas dosis de contaminante son adicionadas, existe un efecto inhibitorio probablemente de los microorganismos responsables de la degradación.

De los resultados obtenidos con las distintas biomezclas compuestas por distintos tipos de suelo y residuos lignocelulósicos se pudo concluir que se obtuvo una adecuada degradación de los plaguicidas a pesar de las elevadas dosis aplicadas y del corto periodo evaluado.

En general, se obtuvieron porcentajes de degradación superiores al 50% después de cada una de las aplicaciones, cada una de las aplicaciones, con excepción de iprodiona.



Los resultados obtenidos al evaluar el reemplazo de una fracción de la paja de trigo por otro sustrato lignocelulósico, permiten concluir que es posible la utilización de otros sustratos lignocelulósicos más fácilmente disponibles para la preparación de la biomezcla, ya que estos sustratos permitieron una degradación adecuada de los plaguicidas. Sin embargo, el aserrín de pino, como componente de la biomezcla debe ser usado cuidadosamente y no se recomienda reemplazar más del 25% de la paja de trigo por este sustrato, ya que esto podría afectar la degradación de los plaguicidas en la biomezcla.

Es importante remarcar que este estudio se realizó con concentraciones elevadas de los plaguicidas, simulando lo que podría ser un derrame accidental y en un periodo muy corto de degradación. En situaciones reales, se recomienda dejar el lecho biológico en reposo para la recuperación de la actividad biológica del lecho.



✓ Ensayo de lixiviación de plaguicidas simulando diferentes condiciones de pluviometría en columnas con biomezcla

Las condiciones de pluviometría del lugar de instalación de un lecho biológico, pueden provocar la lixiviación de estos contaminantes pudiendo contaminar las aguas superficiales o subterráneas. Por lo tanto, resulta fundamental evaluar el efecto de la pluviometría sobre la retención de los plaguicidas para recomendar la necesidad de cubrir adecuadamente el lecho.

Para este estudio, se instalaron columnas de vidrio de 37 cm de largo y 5,5 cm de diámetro interno, como se muestra en la Figura 6.2. Las columnas fueron empacadas con 375 g de la biomezcla C1 (Tabla 6.3) preparada con 25% de suelo trumao, 25% de turba y 50% de paja de trigo, previamente madurada por 30 días. Estas columnas fueron contaminadas con una mezcla de plaguicidas (carbendazim, atrazina, isoporturon, iprodione, clorpirifos y diazinon) a una concentración de 100 mg/kg de biomezcla.

En las columnas se simuló una precipitación de 1000, 1500 y 2500 mm de agua caída por año, agregando diariamente agua destilada. Diariamente se recolectó el lixiviado durante 200 días para posteriormente cuantificar la concentración residual de los plaguicidas en el líquido lixiviado.

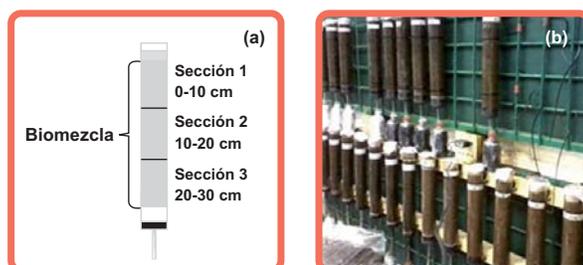


Figura 6.2. Esquema de la columna empacada con biomeszcla (a) e instalación del ensayo (b)

Al finalizar el ensayo, las columnas fueron divididas en tres secciones iguales como se indica en la Figura 6.2, con el objetivo de determinar la cantidad de plaguicida retenida y la actividad microbiana (enzimas fenoloxidasas) en cada sección de la columna.

Los resultados obtenidos para el ensayo de lixiviación de plaguicidas a diferentes pluviometrías se muestran en la Figura 6.3. Para una condición de baja pluviometría (1000 mm de agua caída) se observó una baja lixiviación de los plaguicidas, siendo solamente detectada la atrazina y carbendazim en concentraciones menores a 1,2 mg/L, observándose una completa retención de los otros plaguicidas evaluados (Figura 6.3 a). Similares resultados fueron obtenidos en la biomeszcla con una mediana pluviometría (1500 mm de agua caída) (Figura 6.3 b). Un efecto contrario fue obtenido con una alta pluviometría (2500 mm de agua caída), donde se observó una mayor concentración de plaguicidas, especialmente de isoproturon y atrazina, debido principalmente a que estos plaguicidas por sus características químicas son mas móviles en la biomeszcla (Figura 6.3 c).

Las concentraciones de los plaguicidas encontrados en los lixiviados son considerablemente menores a las aplicadas en cada columna, lo cual indica que se obtiene una elevada degradación de estos compuestos.

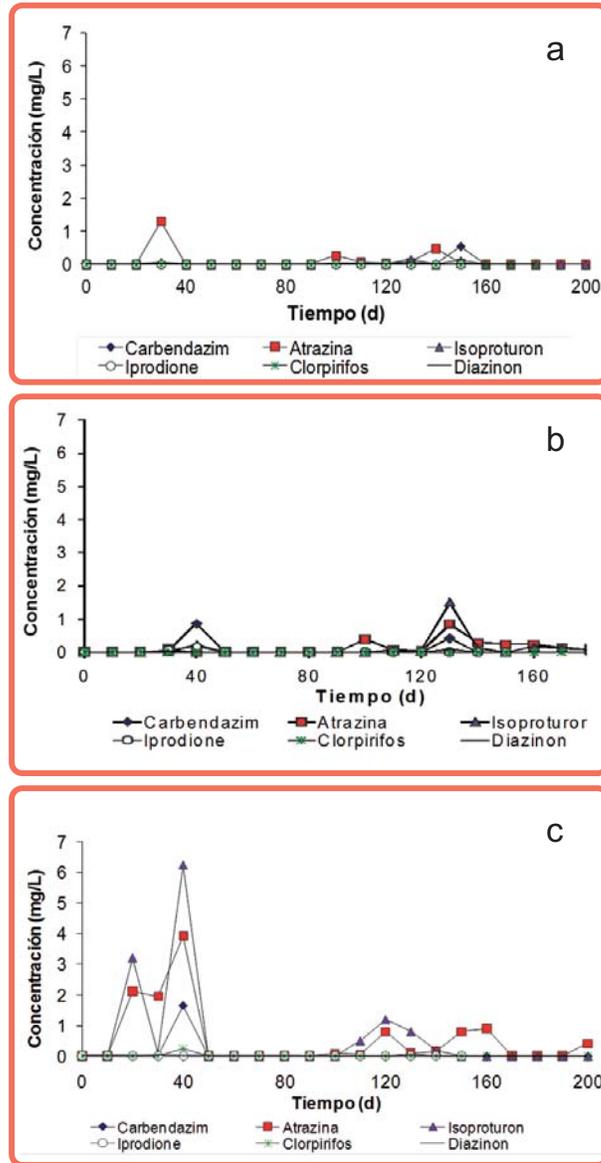


Figura 6.3. Lixiviación de plaguicidas en columnas con biomezcla simulando una precipitación de 1000 mm (a), 1500 mm (b) y 2500 mm (c) de agua caída por año



En cuanto a la concentración de plaguicidas en cada sección de la columna, se observó que la mayor concentración se detectó en la primera sección de la columna (0-10 cm), con excepción de los plaguicidas isoproturon y diazinon (Figura 6.4).

Las características físico-químicas de los plaguicidas tienen un rol fundamental en la retención de éstos en la biomezcla. Los plaguicidas más móviles tienden a lixiviar en el perfil de la columna siendo recibidos a la salida de ésta, mientras que otros quedan retenidos y son degradados en la biomezcla.

En cuanto a la actividad fenoloxidasa se observó que la mayor actividad se encontró en la última sección de la columna (Figura 6.5), demostrándose un arrastre de éstas enzimas por efecto de la pluviometría. En este sentido, es posible explicar la elevada degradación de algunos plaguicidas encontrados en la última sección de la columna, debido a la presencia de estas enzimas en esa sección de la columna.

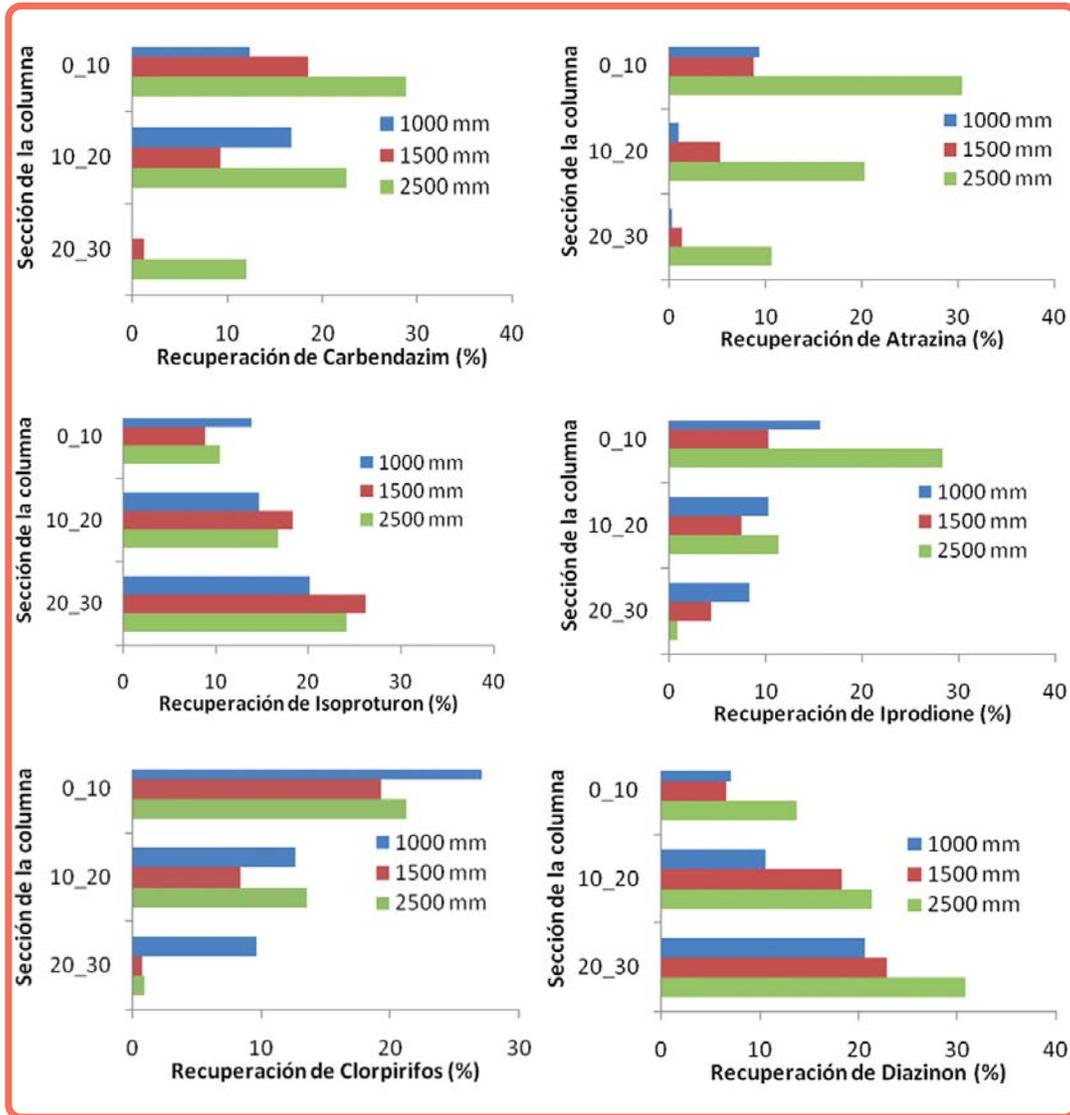


Figura 6.4. Retención de plaguicidas en cada una de las secciones de la columna bajo diferentes pluviometrías

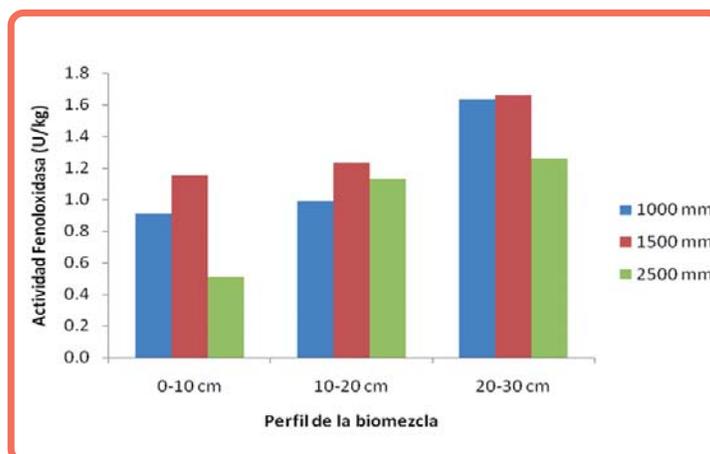


Figura 6.5. Actividad fenoloxidasa en cada una de las secciones de las columnas bajo diferentes pluviometrías

En relación a los resultados obtenidos, se confirma que en el diseño de lechos biológicos se debe considerar un estanque de recolección de los lixiviados. Asimismo, se recomienda que en lugares donde existe eleva pluviometría, se instale un techo que proteja al lecho biológico.



✓ Degradación de plaguicidas en biomezclas preparadas con distintos tipos de suelo, paja, turba y biocarbón

La turba es un componente importante en la composición de la biomezcla de un lecho biológico ya que ayuda a retener los plaguicidas y a mantener la humedad del lecho para favorecer la actividad de los microorganismos. Sin embargo, es un recurso natural no renovable y que representa un costo importante en la biomezcla. Por lo anterior, es importante buscar otros componentes que tengan similares características, que se encuentren disponibles en las zonas agrícolas y que tengan un menor costo, como es el caso del carbón vegetal o biocarbón.

El biocarbón es un producto rico en carbono que se obtiene por pirólisis (combustión con limitación de oxígeno) de una gran gama de biomasa vegetal. El biocarbón presenta características físico-químicas y biológicas que promueven el crecimiento microbiano, retiene la humedad y mejora la adsorción y/o degradación de plaguicidas. Estas características son similares a las que presenta la turba comercial, uno de los componentes de la biomezcla de lechos biológicos. Por lo anterior, se evaluó el efecto de reemplazar parte de la turba por biocarbón en biomezclas preparadas con tres tipos de suelos (rojo arcilloso, arenoso y trumao).

El ensayo se realizó a escala de laboratorio utilizando contenedores de vidrio simulando un lecho biológico, de igual forma como se muestra en la Figura 6.1. Se adicionó a los lechos las biomezclas formuladas con 3 tipos de suelos, paja, turba y biocarbón en las proporciones indicadas en la Tabla 6.7.

Los lechos se mantuvieron a temperatura ambiente (20-25 °C) y con una humedad entre 50 y 60% de la capacidad de campo por



adición de agua durante toda la duración del ensayo. Los lechos fueron contaminados con una mezcla de los siguientes plaguicidas: atrazina (atrazina 500SC), isoproturon (Fuego 50SC), iprodione (Rovral 50 SC), clorpirifos (chlorpirifos S480), diazinon (Sinpullkill), y carbendazim (Itabarb). La dosis aplicada de cada plaguicida correspondió a 100 mg/kg de biomezcla, para simular un derrame accidental en el lecho.

En cada biomezcla, se midió la degradación de los plaguicidas después de 40 días y el pH, contenido de carbono orgánico (CO) y nitrógeno total Kjeldahl (NKT) al inicio y al final del ensayo (40 días).

Tabla 6.7. Composición de las biomezclas (%) con los distintos tipos de suelo, paja, turba y biocarbón

Biomezcla	Suelo (%)	Paja (%)	Turba (%)	Biocarbón (%)
1	Rojo arcilloso 25	25	20	5
2			15	10
3			10	15
4			5	20
5	Trumao 25	25	20	5
6			15	10
7			10	15
8			5	20
9	Arenoso 25	25	20	5
10			15	10
11			10	15
12			5	20



Los resultados de degradación de los plaguicidas en las distintas biomezclas preparadas con diferentes suelos, paja, turba y biocarbón, se muestran en la Figura 6.6. En general, la degradación de los plaguicidas fue mayor en las biomezclas preparadas con biocarbón y los suelos trumao y arenoso en comparación con las biomezclas preparadas con suelo arcilloso. Además, la degradación en las biomezclas con suelo arcilloso, disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de biocarbón en la biomezcla (1 a la 4).

En general, la degradación de los plaguicidas fue superior al 50% en 40 días de desarrollo del ensayo, siendo la menor degradación obtenida en la biomezcla 4, que contiene 20% de biocarbón y 5% de turba. Es importante destacar que la degradación del fungicida iprodiona fue elevada en las biomezclas 5 a la 12, en comparación con resultados previamente obtenidos en nuestro laboratorio utilizando 25% de turba en la biomezcla (Tabla 6.4).

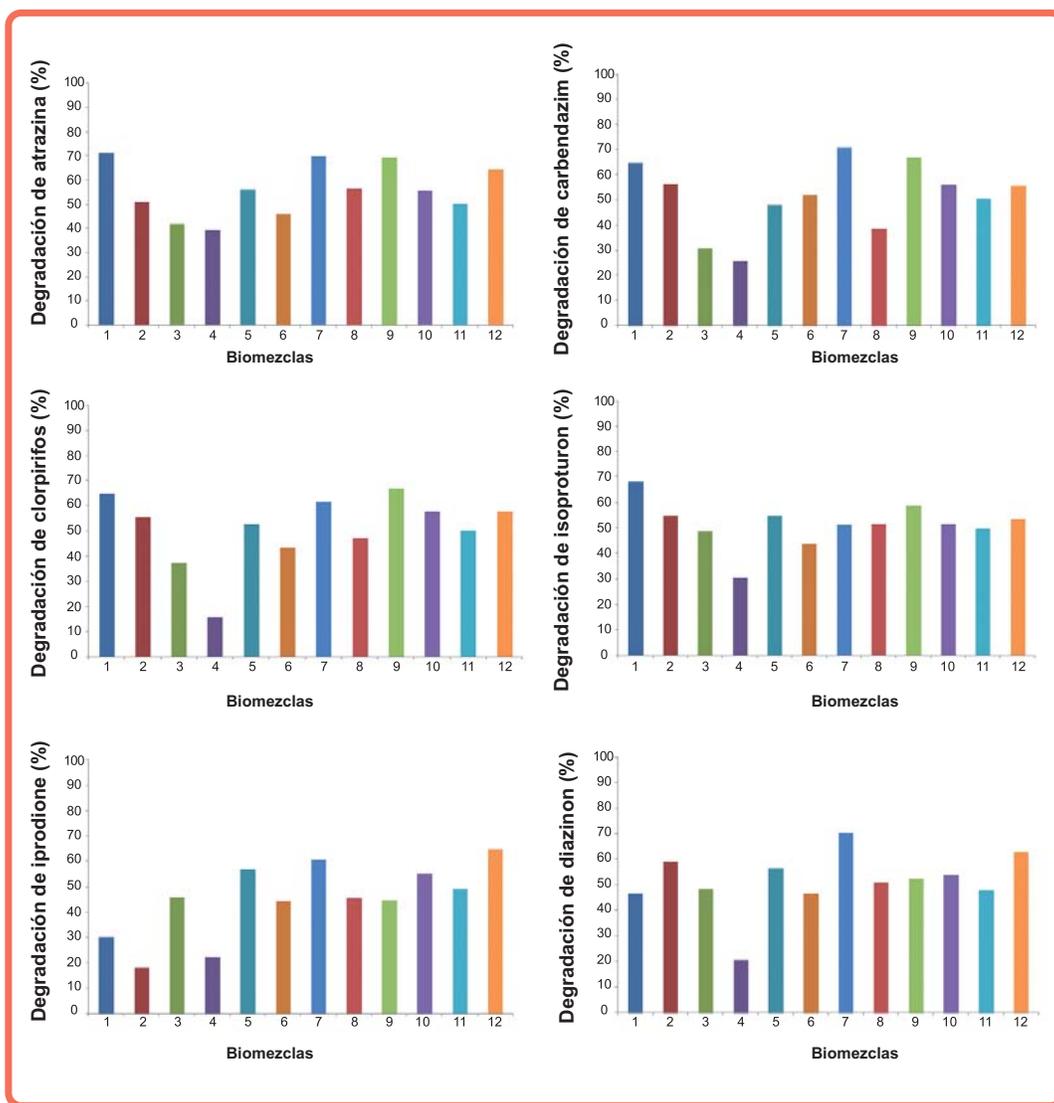


Figura 6.6. Degradación de los plaguicidas en las biomezclas preparadas con diferentes suelos, paja, turba y biocarbón



Las características físico-químicas de las biomezclas se modifican durante el tiempo de desarrollo del ensayo. Estas modificaciones se presentan en la Tabla 6.8. En términos generales, se puede observar que el pH de las biomezclas compuestas por los tres tipos de suelo, aumentó con el incremento de las cantidades de biocarbón, mientras que el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total Kjeldahl no presentaron variaciones significativas.

Tabla 6.8. Características físico-químicas de las biomezclas con diferentes suelos, paja, turba y biocarbón, al inicio del ensayo y después de 40 días

Biomezcla	Día 0				Día 40			
	pH	CO (%)	NTK (%)	C/N	pH	CO (%)	NTK (%)	C/N
1	5,64	19,2	0,17	112,9	6,93	11,9	0,11	108,2
2	5,90	18,0	0,18	100,0	7,89	16,5	0,15	110,0
3	7,31	18,9	0,17	111,2	8,38	12,6	0,16	78,8
4	7,41	18,4	0,16	115,0	8,61	12,1	0,11	110,0
5	6,10	21,3	0,37	57,6	5,76	18,2	0,43	42,3
6	6,53	22,8	0,35	65,1	6,25	193	0,41	47,1
7	7,23	23,9	0,42	56,9	7,06	21,8	0,39	55,9
8	7,27	23,4	0,40	58,5	7,26	20,4	0,40	51,0
9	6,19	12,0	0,10	120,0	5,14	14,7	0,26	56,5
10	7,01	10,9	0,08	136,3	6,82	14,5	0,22	66,0
11	7,89	11,4	0,08	142,5	6,53	15,5	0,24	64,6
12	8,21	12,4	0,09	137,8	7,02	17,4	0,23	75,7



El uso de biocarbón en reemplazo de la turba es una alternativa que se debe tener en consideración al momento de preparar una biomezcla cuando no se dispone de turba.

Consideraciones Generales

Es posible reemplazar total o parcialmente la paja en la biomezcla por otros residuos lignocelulósicos disponibles en los predios, como aserrín, cascarilla de cebada y avena, entre otros.

Las características físico-químicas de los plaguicidas y las condiciones ambientales determinan su degradación, es por esto que, no todos los plaguicidas se degradan a la misma velocidad ni en las mismas condiciones.

Las características físico-químicas de los suelos pueden determinar el grado y la velocidad de la degradación de los plaguicidas, es por esto que, algunos plaguicidas se degradan con mayor o menor facilidad dependiendo del tipo de suelo utilizado para la preparación de la biomezcla.

Las características físico-químicas de los plaguicidas determinan su movilidad en la biomezcla, lo cual también está influenciado por la cantidad de agua adicionada al lecho biológico. A mayor cantidad de agua, existe mayor riesgo de lixiviación de los plaguicidas que presentan mayor movilidad y solubilidad.

Es posible reemplazar total o parcialmente la turba por el carbón vegetal o biocarbón en la biomezcla, sin modificar su capacidad de retención y degradación de los plaguicidas.

Una vez retirada la biomezcla del lecho biológico, es necesario realizar una etapa de compostaje de a lo menos 6 meses, para asegurar la completa degradación de los plaguicidas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Briceño, G., Fuentes, M.S., Palma, G., Jorquera, M.A., Amoroso, M.J., Diez, M.C. 2012. Chlorpyrifos biodegradation and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol production by actinobacterias isolated from soil. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 73, 1-7.

Castillo, M.d.P. 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., Castillo, M. d. P., Monaci, E., Vischetti, C. 2007. Adaptation of the biobed composition for chlorpyrifos degradation to Southern Europe conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 396-401.

De Wilde, T., Spanoghe, P., Mertens, J., Sniegowski, K., Ryckeboer, J., Jaeken, P., Springael, D. 2009. Characterizing pesticide sorption and degradation in macro scale biopurification systems using column displacement experiments. *Environmental Pollution*, 157(4), 1373-81.

Diez, M.C. 2010. Biological aspects involved in the degradation of organic pollutants. Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10 (3), 261-284.

Diez, M.C., Levio, M., Briceño, G., Rubilar, O., Gallardo, F. 2013. Biochar as partial replacement of peat in a biomixture formulated with 3 types of soils to degrade pesticides. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy* (aceptado).

Diez, M.C., Tortella, G., Palma, G., Briceño, G., Diaz, J., Rubilar, O. 2012. Lixiviación de pesticidas en columnas empacadas con biomezclas

de un lecho biológico. XXXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Salvador Bahia, Brasil 3 al 6 de Junio de 2012.

Fernández-Alberti, S, Rubilar, O, Tortella, G.R., Diez, MC. 2013. Chlorpyrifos degradation in a biomix: effect of pre-incubation and water holding capacity. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, JSSPN-308-012.

Fogg, P., Boxall, A. B. A, Walker, A., Jukes, A. 2004. Effect of different soil textures on leaching potential and degradation of pesticides in biobeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(18), 5643-52.

Karanasios, E., Tsiropoulos, N. G., Karpouzas, D. G., Menkissoglu-Spiroudi, U. 2010. Novel biomixtures based on local Mediterranean lignocellulosic materials: evaluation for use in biobed systems. *Chemosphere*, 80 (8), 914-21.

Palma, G., Sanchez, A., Olave, Y., Encina, F., Palma, R., Barra, R. 2004. Pesticides levels in surface waters in agricultural-forestry basin in southern Chile. *Chemosphere* 57:763-770.

Torstensson, L., Castillo, M. d P. 1997. Use of biobeds in Sweden to minimise environmental spillages from agricultural spray equipment. *Pesticide Outlook* , 8, 24-27.

Tortella, G. R., Rubilar, O., Cea, M., Wulff, C., Martínez, O., Diez, M.C. 2010. Biostimulation of agricultural biobeds with NPK fertilizer on chlorpyrifos degradation to avoid soil and water contamination. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10(4), 464-475.

Tortella, G.R., Rubilar, O., Stenström, J., Cea, M., Briceño, G., Quiroz, A., Diez, M.C., Parra L. 2013. Using volatile organic compounds to

enhance atrazine biodegradation in a biobed system. *Biodegradation*. DOI 10.1007/s10532-013-9619-4.

Tortella, G.R., Rubilar, O., Castillo M.d.P., Cea, M., Mella-Herrera, R., Diez, M.C. 2012. Pesticide degradation and biological activity in different time compost on the biomix of biobed. *Chemosphere* 88, 224-228.

Vischetti, C., Coppola, L., Monaci, E., Cardinali, A. Castillo, M.d.P. 2007. Microbial impact of the pesticide chlorpyrifos in Swedish and Italian biobeds. *Agronomy for Sustainable Development*. 27, 267-272.



Manejo adecuado de residuos de plaguicidas en la producción frutícola de la Región de La Araucanía a través de la implementación y difusión de Lechos Biológicos

www.lechosbiologicos.cl

EDICIONES UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA