



CAMAS BIOLÓGICAS

Una alternativa sustentable
para la mitigación de riesgos

Elaborado por el Ing. Agr. Federico Martín Elorza

SEPTIEMBRE
2020



> CAMAS BIOLÓGICAS:

Una alternativa sustentable para la mitigación de riesgos¹

Elaborado por el Ing. Agr. Federico Martín Elorza²

Agradezco enormemente al **Ing. Agr. Sebastián Blanco** (CASAFE) por haber revisado y corregido este documento y a la **Ing. Agr. María Sol Muñoz** (CASAFE), quien no solo también fue revisora y correctora, sino que ha sido la promotora de que termine de escribir este trabajo.

Este documento no es otra cosa que la recopilación de la información existente sobre la temática y se ordenó para aquellas personas que deseen construir, utilizar o, simplemente, obtener información sobre lo que son las Camas Biológicas y cuál es su función.

¹ Este documento es un capítulo del libro “Diferentes métodos de aplicación aérea en Uruguay”, publicado por el Ing. Agr. Orlando Daniel Ramos.

² Coordinador técnico de la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (Argentina).

> ÍNDICE

1. **Introducción** | PÁG. 04

2. **¿Qué son las Camas Biológicas?** | PÁG. 07

3. **¿Cómo funcionan las Camas Biológicas?** | PÁG. 09

4. **Composición de la Biomezcla** | PÁG. 17

5. **Tipos de Camas Biológicas** | PÁG. 21

→ Camas Biológicas Directas | PÁG. 22

→ Camas Biológicas Indirectas | PÁG. 25

6. **Manejo de una Cama Biológica** | PÁG. 29

→ Temperatura | PÁG. 30

→ Humedad | PÁG. 30

→ Tiempo de permanencia y recambio | PÁG. 31

→ Características de los Productos Fitosanitarios | PÁG. 33

→ Ubicación en el predio | PÁG. 33

→ Cálculo del tamaño de la cama biológica | PÁG. 34

7. **Consideraciones finales** | PÁG. 36

8. **Bibliografía** | PÁG. 38

01 INTRODUCCIÓN





> INTRODUCCIÓN

El uso de productos fitosanitarios trae aparejados riesgos, los cuales se minimizan mediante la implementación de las **Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)**, más específicamente, con el **Uso Responsable de Fitosanitarios (URF)**.

El Riesgo del uso de un producto fitosanitario es el resultado de la interacción entre la toxicidad de estos productos y el nivel de exposición a los mismos.



Las **BPA** actúan sobre el parámetro de **Exposición**, reduciéndolo al mínimo, y, al hacerlo, se **reduce el riesgo** debido al uso de fitosanitarios, independientemente de cuál sea el nivel del parámetro **Toxicidad**. Parece una simple ecuación matemática, pero no es tan sencillo cuando pensamos en mejorar el parámetro exposición.

Es en este punto donde la implementación del URF toma gran importancia, poniendo en práctica una gran cantidad de acciones. Una de ellas es trabajar en el momento de la carga de los equipos pulverizadores, donde es muy fácil que se produzcan derrames accidentales y/o desbordes, sumado a la disposición inadecuada que se da a los líquidos sobrantes de una pulverización, básicamente producto de un mal cálculo de la tasa de aplicación, y del lavado interno y externo de la máquina aplicadora.

Los derrames generan contaminaciones puntuales del suelo con fitosanitarios, independientemente si son de origen químico, natural o biológico, con el riesgo adicional de percolación y lixiviación, pudiendo afectar las aguas superficiales y subsuperficiales.



En **Topps-Life.org** (ECPA, 2008) se expresa que solo el 5% de la contaminación de los cursos de agua superficiales y subsuperficiales con fitosanitarios se debe a la deriva por malas aplicaciones, mientras que el 30% ocurre por escorrentía y más del 50% se debe a la contaminación puntual.

Para resolver este punto específico es que se ha desarrollado, a principios de los ´90, una tecnología simple y fácil de implementar y utilizar que se llama **Cama Biológica**, aunque también puede encontrarse como Biobed, Mesa Biológica, Biodep, Lecho Biológico, Biofiltro, Phytobac, entre otros.

En Argentina y Sudamérica en general, no es una técnica comúnmente utilizada, pero podría ser una alternativa a incorporar en los procesos de carga de los equipos pulverizadores, minimizando el impacto ambiental de los derrames de fitosanitarios. El uso de las **Camas Biológicas** cuenta con abundantes experiencias para la utilización durante la carga, con el objetivo de contener y tratar derrames, pero aún no se ha podido validar completamente como una técnica eficaz para tratar aguas de lavado del tanque y maquinaria en general en ciertos modelos como los de descarga Directa (ver “Tipos de Camas Biológicas” más abajo en este documento), debido a que los grandes volúmenes de agua, afectarían la supervivencia de la población de microorganismos.

Las **Camas Biológicas** cuentan con las siguientes ventajas: son fáciles de utilizar y construir, son económicamente rentables y permiten organizar las labores agrícolas de protección vegetal minimizando el impacto ambiental y, como tal, forman parte fundamental de las **Buenas Prácticas Agrícolas**.

02 QUÉ SON LAS CAMAS BIOLÓGICAS





> ¿Qué son las Camas Biológicas?

Las **Camas Biológicas** son una tecnología sustentable y biológicamente activa que retiene y degrada microbiológicamente, y de manera efectiva, los excedentes de productos fitosanitarios, tanto solos como en mezclas (Torstensson y Castillo 1997, Castillo et al. 2001, Torstensson 2000, Fogg et al. 2003, Fogg et al. 2004, Vischetti et al. 2004, Castillo y Torstensson 2007, Vischetti et al. 2008, Niels et al. 2006). Estas evitan la contaminación puntual con estos productos, impidiendo que lleguen al suelo, a las napas y/o a los cursos de agua. Son una solución práctica para el manejo de derrames y excedentes de mezcla sin aplicar, y para enjuagar y lavar tanto los equipos de aspersión como los equipos de protección personal y otros implementos utilizados en la aplicación de fitosanitarios, y forman parte, a su vez, de las medidas de mitigación de riesgos englobadas en las **Buenas Prácticas Agrícolas**.

La utilización de las **Camas Biológicas** se basa en el principio de la Bioprofilaxis, que utiliza los procesos biológicos para evitar la contaminación. Hay otro enfoque basado en la actividad biológica que es el de Biorremediación, que utiliza procesos biológicos para destruir o reducir la concentración de xenobióticos (fitosanitarios en este caso) en suelos que ya están contaminados, pero este último no es el enfoque que se persigue en los lineamientos del uso responsable de fitosanitarios.



03

CÓMO FUNCIONAN LAS
CAMAS BIOLÓGICAS





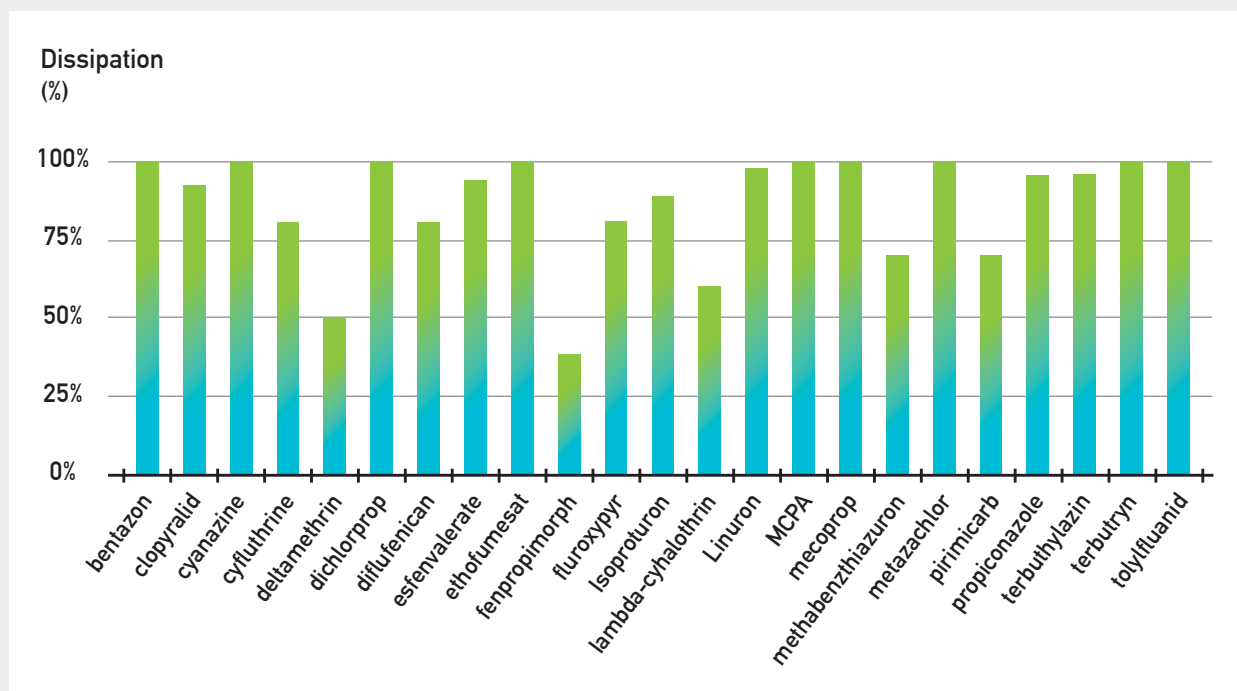
> Cómo funcionan las Camas Biológicas

Como se mencionó más arriba, la efectividad de las **Camas Biológicas** como herramienta de eliminación de productos fitosanitarios a través de la degradación microbiana ha sido comprobada por distintos autores de todo el mundo.

La acción de los microorganismos y la tasa de degradación de estos productos depende de varios factores, tanto ambientales como del tipo de biomezcla utilizada y el manejo que se le dé a la **Cama Biológica**, alcanzando, en general, valores muy elevados de degradación (Figura 1).

A su vez, distintos autores han evaluado la degradación de distintos tipos de productos fitosanitarios y obtuvieron valores elevados de degradación para todos ellos, tanto herbicidas, como insecticidas y hasta fungicidas en una cama biológica (Torstensson y Castillo 1997, Von Wirén-Lehr et al. 2001, Castillo et al. 2001, Torstensson 2000, Fogg et al. 2004, Lescano et al. 2018, Pizzul et al. 2009, Buljan y Astorga 2012, Astorga 2014, Góngora Echeverría et al. 2017, Papazlatani 2019).

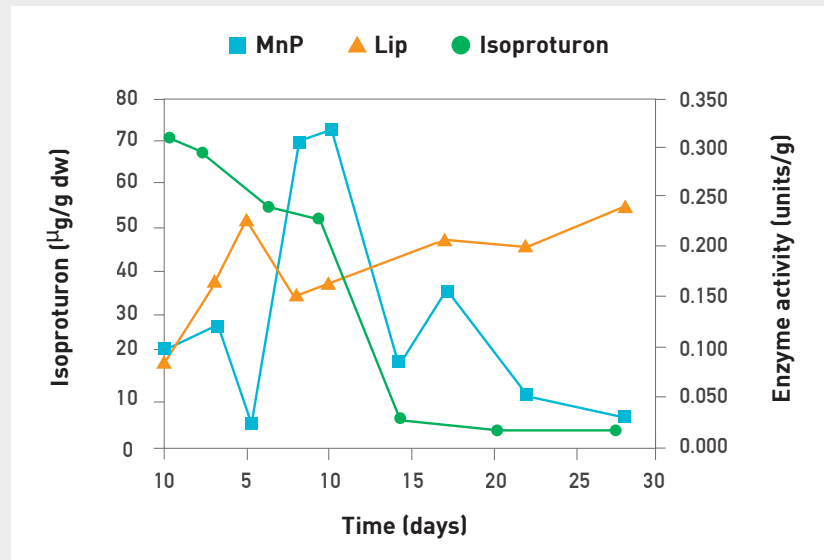
Figura 1. Porcentaje de degradación (%) de distintos principios activos en una biomezcla, luego de un año.
Fuente: Adaptado de Torstensson y Castillo, 1997.





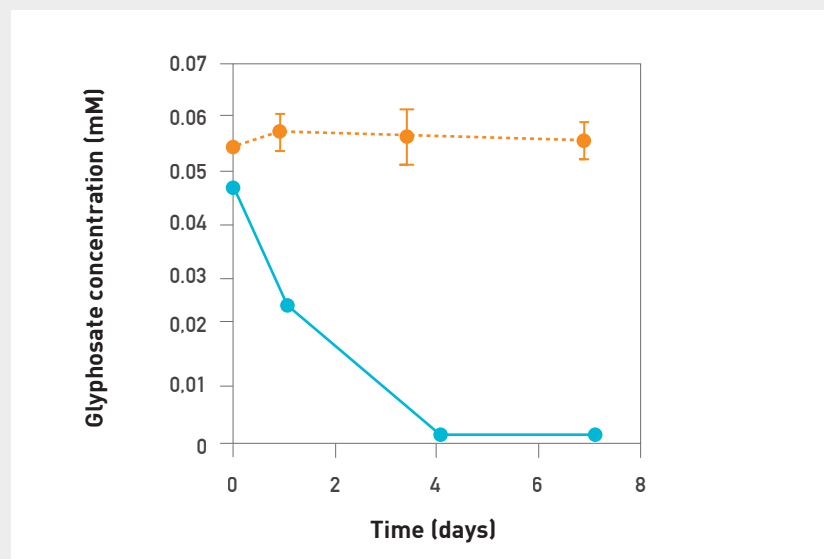
Castillo et al. (2001) demostraron la degradación del principio activo Isoproturon por parte de las enzimas Manganese Peroxidasa y Lignina Peroxidasa, mostrando a los 30 días una degradación la casi la totalidad del producto utilizado (Figura 2).

Figura 2. Degradación del principio activo Isoproturon ($\mu\text{g/g dw}$), y la actividad de las enzimas Lignina Peroxidasa (LiP) y Manganese Peroxidasa (MnP) por día.
Fuente: Adaptado de Castillo et al., 2001.



En 2009, Pizzul et al., evaluaron la degradación de glifosato por la enzima Manganese Peroxidasa (MnP) y comprobaron que este principio activo es eliminado casi en un 100% a los 4 días de exposición (Figura 3).

Figura 3. Degradación (mM/día) de Glifosato (formulación comercial) en presencia (línea entera) o no (línea punteada) de la enzima Manganese Peroxidasa en el medio.
Fuente: Adaptado de Pizzul et al., 2009.





Buljan y Astorga (2012) en Mendoza, Argentina, han realizado un estudio de degradación de fitosanitarios organoclorados y fosforados. Estas evaluaciones se realizaron en distintos tipos de biomezclas, utilizando materiales del lugar, como escobajo de uva y paja de maíz, y se compararon con un testigo que contenía solo suelo del lugar. Las mezclas se inocularon con los fitosanitarios, utilizando productos formulados comerciales, y se realizaron evaluaciones a los 30 días (Figura 4), a los 45 días (Figura 5) y a los 10 meses (Figura 6) y obtuvieron que los productos fosforados estudiados tuvieron un alto porcentaje de degradación (> 80 %) y los clorados del 70%.

Figura 4. Porcentaje de degradación (%) de Clorpirifós Etil y MetidatióN, a los 30 días en una biomezcla compuesta por escobajo de uvas (50%), suelo (25%) y tierra de jardín (25%).
Fuente: Adaptado de Buljan y Astorga, 2012.

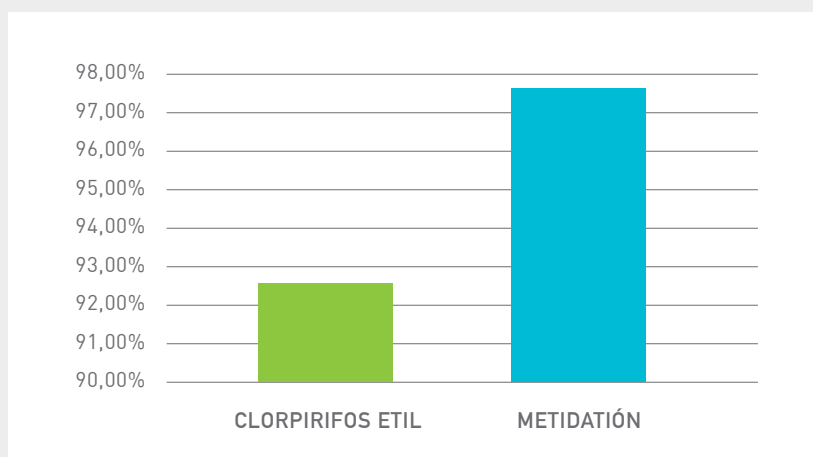
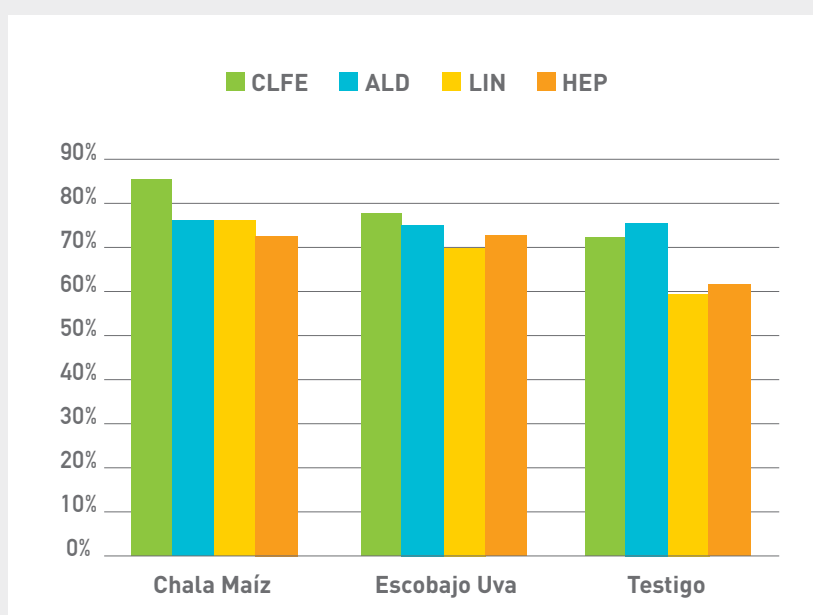


Figura 5. Porcentaje de degradación (%) de Clorpirifos Etil (CLFE), Aldrin (ALD), Lindano (LIN) y Heptacloro (HEP) a los 45 días, en dos biomezcla distintas con la misma proporción que la anterior, pero con distintos componentes (una con chala de maíz y la otra con escobajo de uva) y en un suelo solo (Testigo).
Fuente: Adaptado de Buljan y Astorga, 2012.

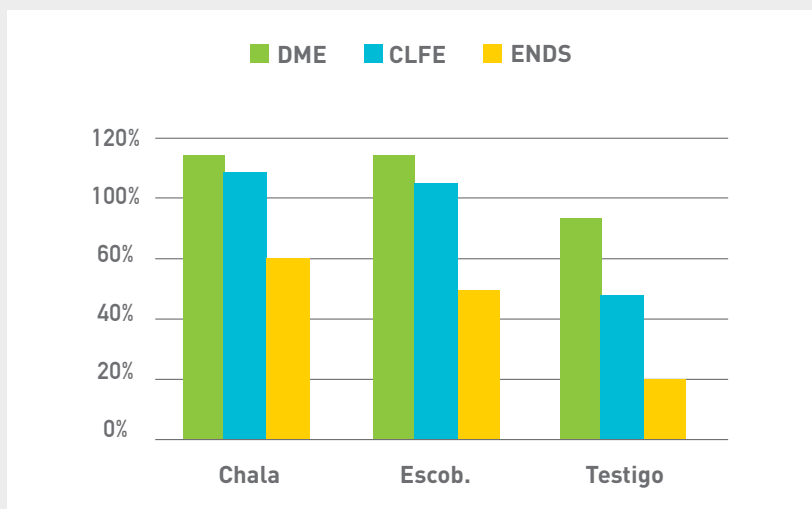




3 | camas biológicas: cómo funcionan

Figura 6. Porcentaje de degradación (%) de Dimetoato (DME), Clorpirifos Etil (CLFE) y Endosulfan (ENDS) a los 10 meses, en dos biomezcla distintas con la misma proporción y componentes y en un suelo solo (Testigo).

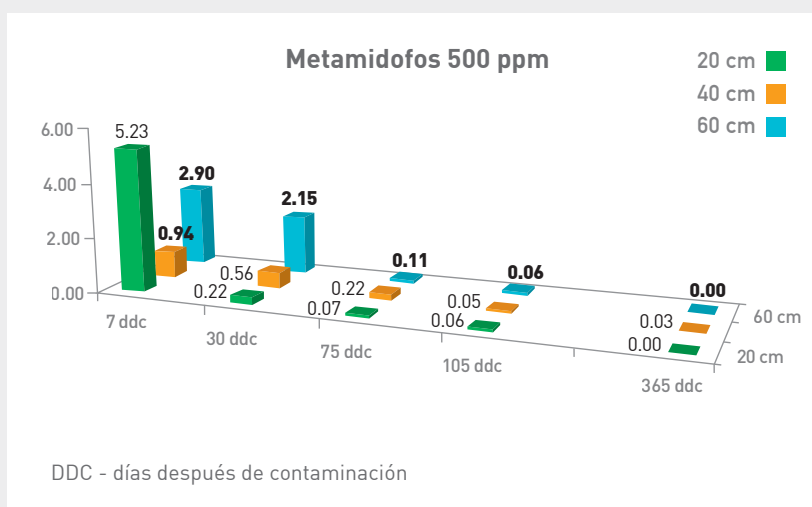
Fuente: Adaptado de Buljan y Astorga, 2012.



Astorga (2015) muestra otra experiencia, también en Mendoza, pero esta vez con productos fitosanitarios decomisados por la autoridad de aplicación (ISCAMen), donde estos productos muchas veces están vencidos, habiendo utilizado este tipo de productos en esta experiencia. El trabajo muestra la evaluación a 14 meses de los principios activos metamidofos y metidation a distintas concentraciones (Figura 7), concluyendo que luego del año de producida la contaminación de la biomezcla, más del 95% de la concentración de los productos utilizados estaba en niveles no detectables.

Figura 7. Concentración de Metamidofós (ppm) en distintos momentos (7, 30, 75, 105 y 365 ddc) desde la contaminación de la biomezcla hasta los 365 días, a 3 profundidades distintas (20, 40 y 60 cm).

Fuente: Adaptado de Astorga, 2015.





En el año 2018, Lescano et al. evaluaron la degradación del principio activo glifosato y de su metabolito AMPA, en distintas biomezclas y comparándolas con suelo solo del lugar que había sido expuesto, también, al glifosato. En este estudio se observa cómo el glifosato se degrada casi en su totalidad a los 25 días para algunas biomezclas y a los 63 días la mayoría de las biomezclas alcanzaron ese nivel de degradación (Figura 8), mientras que su metabolito (AMPA) muestra un alto nivel de degradación, aunque menor al del glifosato (Figura 9). Se observaron también que los niveles de AMPA en el suelo aumentaron considerablemente ya que, a diferencia de las biomezclas donde tenemos mayor actividad microbiana, al degradarse el glifosato, el AMPA aumenta, retardando su degradación de manera significativa.

Figura 8. Degradación de glifosato (%) en distintos momentos (días) desde la contaminación y con distintas biomezclas.

Fuente: Adaptado de Lescano et al., 2018.

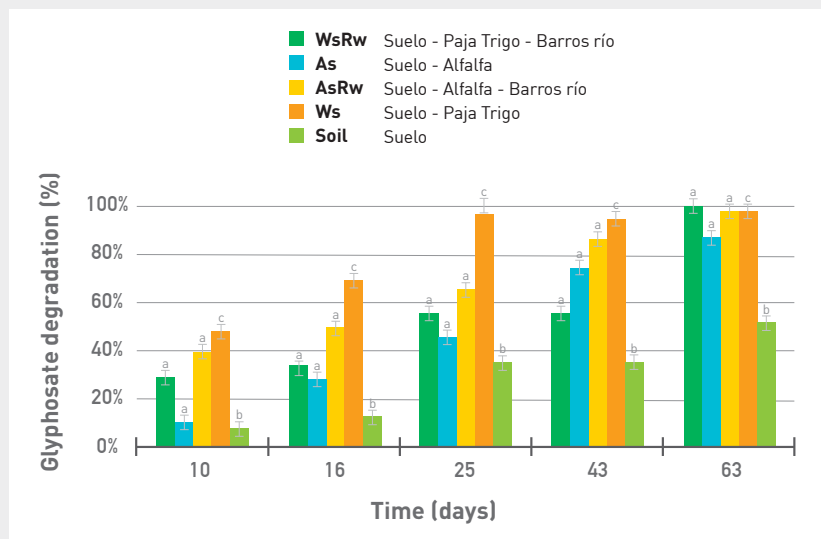
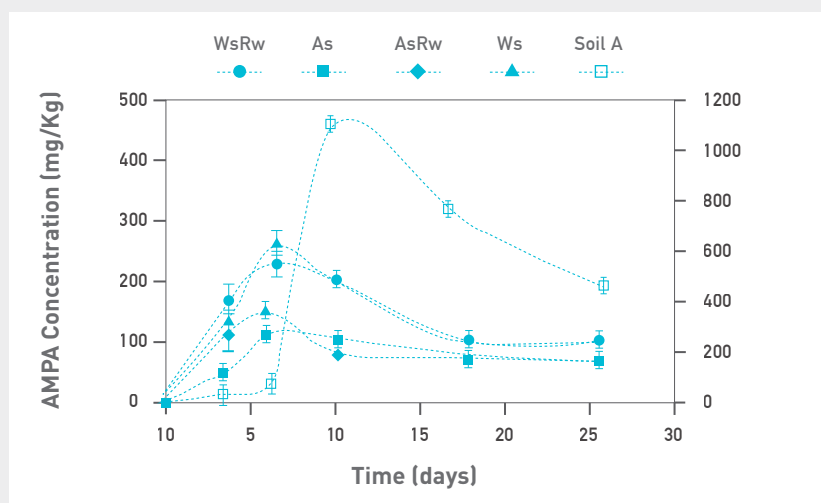


Figura 9. Concentración del Metabolito AMPA (mg/Kg) en distintos momentos (días) desde la contaminación para distintas biomezclas.

Fuente: Adaptado de Lescano et al., 2018.





La capacidad de degradación de los fitosanitarios en las **Camas Biológicas** es muy elevada, siendo capaces de reducir la concentración de los fitosanitarios a niveles muy bajos, hasta, en algunos casos, eliminarlos completamente.

Esta acción degradadora se realiza en el componente más importante de la **Cama Biológica**, que es la **Biomezcla**, cuya composición físico-química proporciona un ambiente óptimo para el crecimiento de un grupo específico de microorganismos, los cuales son los responsables de la degradación de los fitosanitarios.

La **biomezcla** permite la retención y posterior biodegradación de los productos fitosanitarios, reduciendo su concentración debido principalmente a la degradación por los microorganismos presentes en ella (**Norma IRAM 29.561/2020**).

Estos microorganismos, o grupo de ellos, son los hongos de pudrición blanca u hongos degradadores de lignina. Estos han sido identificados por varios autores, encontrando como los más importantes al hongo *Phanerochaete chrysosporium*, entre otros (Fogg et al., 2004, McBride, 1994, Castillo and von Wirén-Lehr et al., 2001).

Los hongos actúan mediante la liberación de un grupo de enzimas de actividad amplia llamadas Fenoxidasas (Figura 10), entre las cuales se encuentran la Lignina Peroxidasa (LiP), la Manganese Peroxidasa (MnP) y la Lacasa, que tienen por objetivo degradar la lignina para que los microorganismos puedan acceder a la celulosa y hemicelulosa, el alimento de estos hongos, liberando dióxido de carbono y agua (Castillo 2014 y Quintero Díaz 2011).

Cuando la concentración de enzimas es lo suficientemente elevada, actúan también sobre otros compuestos orgánicos xenobióticos complejos, entre los que se encuentran los productos fitosanitarios (Figura 2).

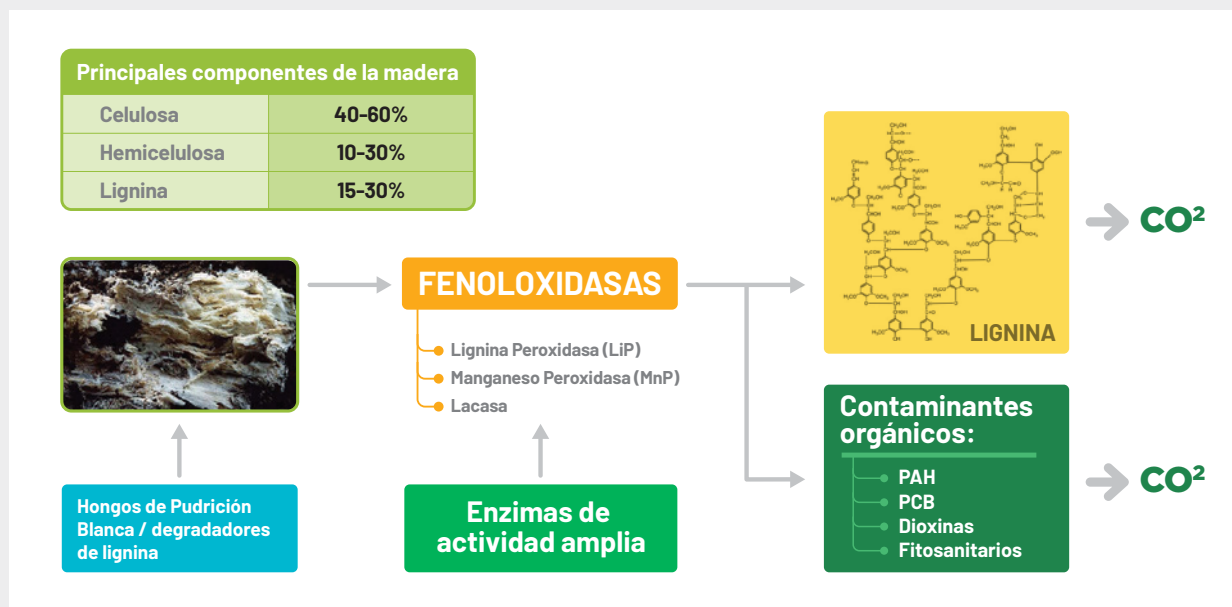
La mayoría de los principios activos de los productos fitosanitarios presentan estructura orgánica y son susceptibles de ser degradados, como sucede con la lignina.



3 | camas biológicas: cómo funcionan

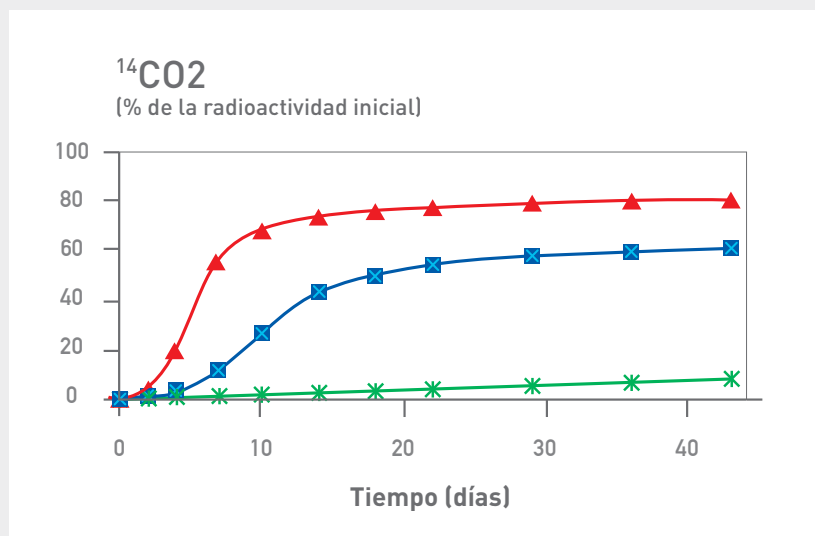
Figura 10. Esquema de degradación microbiológica de Lignina y de Productos Fitosanitarios, a través de la acción enzimática del hongo *Phanerochaete chrysosporium*.

Fuente: Adaptado de Castillo, 2014.



La actividad microbiana puede determinarse a través del registro de la liberación de dióxido de carbono (Figura 11), la cual aumenta cuanto mayor es el sustrato disponible, y los productos fitosanitarios son sustrato para los microorganismos. La Figura 11 muestra que existe mayor actividad de degradación biológica en el sistema al cual fue adicionado el fitosanitario.

Figura 11. Actividad microbiológica expresada como emisión de CO₂ (%) para suelo sin tratar (línea verde) y suelo tratado con Atrazina, uno en mayor concentración (línea azul) y otro en menor concentración (línea roja).
Fuente: Adaptado de Pablo Fernández Poeta - PHYTOBAC, BAYER.



4 | camas biológicas: composición de la biomezcla

04

COMPOSICIÓN
DE LA BIOMEZCLA





> Composición de la Biomezcla

Las **biomezclas** se componen de diferentes proporciones de suelo y material lignocelulósico (es decir, con alta relación carbono/nitrógeno), pudiendo contener también algún porcentaje de otros sustratos orgánicos humificados (turba o compost). La cama biológica original sueca contiene un 25% de suelo, un 25% de turba y un 50% de paja de trigo (Torstensson y Castillo, 1997).

La elección de los diferentes materiales depende de la disponibilidad y el tipo de materiales presentes en la región en que se desea ubicar la Cama Biológica (Cuadro 1). Ejemplos de materiales lignocelulósicos pueden ser rastrojo de trigo, rastrojo de maíz, residuos de girasol, hojas de olivo, tallos de vid, viruta, bagazo de caña de azúcar, etc. Este componente es fundamental para nutrir el crecimiento y desarrollo de las poblaciones de microorganismos.

Hay distintas determinaciones que se deben realizar antes y durante el uso de una Cama Biológica y que nos darán una idea de la durabilidad y de la calidad de la Biomezcla que estamos utilizando. Estas determinaciones son el pH, el contenido de carbono (C), el contenido de nitrógeno (N), la relación C/N y el porcentaje de lignina (Cuadro 1).

En cuanto al nivel de acidez de la cama biológica, el nivel óptimo para el desarrollo de los microorganismos degradadores de lignina se encuentra entre un pH 5,5 y 6, aunque hay muy buenas experiencias a pH de 7.

El material vegetal rico en **lignina** (por ejemplo, paja de trigo) se debe fragmentar a un tamaño de 2 a 10 cm, como máximo. Mientras menor sea su tamaño mayor será la actividad biológica y la degradación de los fitosanitarios, y más fácil su mezclado con los otros componentes de la biomezcla. Es clave para la obtención de una biomezcla eficiente que el material vegetal esté homogéneamente fragmentado (Diez Jerez 2013, Norma IRAM 29.561/2020).



4 | camas biológicas: composición de la biomezcla

| BIOMEZCLA | Composición % | PH | Nitrógeno Total % | Carbono orgánico % | Relación C/N |
|---|---------------|------|-------------------|--------------------|--------------|
| Paja - suelo - turba | 50-25-25 | 4,8 | 0,54 | 30,80 | 57,00 |
| Cebada - suelo - turba | 50-25-25 | 5,0 | 0,46 | 29,70 | 65,00 |
| Aserrín - suelo - turba | 50-25-25 | 5,4 | 0,34 | 28,10 | 82,60 |
| Avena - suelo - turba | 50-25-25 | 5,4 | 0,64 | 32,10 | 50,20 |
| Avena - paja - suelo - turba | 25-25-25-25 | 4,8 | 0,59 | 31,00 | 52,50 |
| Suelo - bagazo | 25-75 | 7,7 | 0,70 | 26,00 | 37,00 |
| Suelo - compost - paja | 50-25-25 | 6,8 | 0,61 | 5,29 | 8,70 |
| Rastrojo de trigo - suelo | 50-50 | 6,3 | 0,35 | 3,12 | 8,80 |
| Rastrojo de trigo - suelo - resaca de río | 50-25-25 | 7,2 | 0,23 | 13,40 | 58,30 |
| Suelo - algas marinas | 50-50 | 7,62 | 1,79 | 23,19 | 12,90 |
| Suelo - rastrojo de maíz | 50-50 | 7,63 | 1,63 | 23,23 | 14,28 |
| Suelo - compost - rastrojo de maíz | 50-25-25 | 7,67 | 1,16 | 18,00 | 15,48 |
| Rastrojo - suelo - turba | 50-25-25 | 4,83 | 0,54 | 30,80 | 57,00 |
| Aserrín - suelo - turba | 50-25-25 | 5,43 | 0,34 | 28,10 | 82,60 |

Cuadro 1. Composición y características fisicoquímicas de distintas biomezclas.

Fuente: Adaptado de la Norma IRAM 29.561/20.

En cuanto a los materiales orgánicos humificados, estos contribuyen a la capacidad de adsorción, al mantenimiento de las condiciones aeróbicas y al control de la humedad de la **biomezcla** (Castillo y Torstensson, 2007).

La turba es el sustrato utilizado originalmente en los primeros desarrollos de Camas Biológicas en Suecia (Torstensson y Castillo, 1997) y en países con alta disponibilidad de este material, como por ejemplo Chile (Diez Jerez, 2013). Sin embargo, debido a su alto costo y a su baja disponibilidad en ciertas regiones geográficas, sumado a que es un recurso natural no renovable, con frecuencia se utilizan sustratos orgánicos alternativos, generalmente compostados como, por ejemplo, compost de diversos residuos agropecuarios, como hojas de olivo, semillas y flores de algodón, semillas y orujo de uva, entre otros (Karanasios et al. 2012, Omirou et al. 2012), compost de resaca de río (Lescano et al., 2018) o de otros orígenes (Norma IRAM 29.561/20), los cuales son más sencillos de conseguir y marcadamente más económicos. La diferencia entre ambos es el pH que se logra con cada sustrato orgánico humificado que se utilice.



Si se utiliza turba, estaremos en valores de pH de 5,5 - 6, mientras que, si utilizamos compost, estaremos más cerca de 7. Ambos son igual de eficientes en la degradación de los fitosanitarios.

En cuanto al suelo a utilizar para la realización de la biomezcla, la recomendación es la de utilizar el suelo del lugar donde se va a construir la cama biológica, ya que tiene desarrollada una flora microbiana propia capaz de degradar los diferentes fitosanitarios que en ese campo se aplican (Norma IRAM 29561/20). Se deben extraer los primeros 20 cm de profundidad, evitando sectores cercanos a caminos y construcciones. El suelo aporta principalmente diversos microorganismos a la biomezcla, los que participan activamente en la degradación de los productos fitosanitarios. Asimismo, el suelo tiene una gran capacidad de retención de los productos fitosanitarios, dependiendo de sus características como pH y contenido de materia orgánica y de arcillas (Diez Jerez, 2013).

La biomezcla tiene un período de maduración y estabilización, el cual oscila entre los dos y tres meses, antes de poner en funcionamiento la cama biológica. Durante este proceso, los microorganismos se desarrollarán y maximizarán su acción degradadora, emitiendo los mayores valores de enzimas al medio, y alcanzando el equilibrio dentro de la cama biológica.



05

TIPOS DE CAMAS
BIOLÓGICAS





> Tipos de Camas Biológicas

Existen distintos tipos de Camas Biológicas, los cuales se diferencian básicamente por el lugar donde ocurre la descarga de los líquidos residuales desde la pulverizadora y, adicionalmente, por la presencia de sistemas de recirculación de líquidos.

Las Camas Biológicas pueden ser:

→ **Camas Biológicas Directas:**

- Cerradas o sin recirculación.
- Abiertas o con recirculación.

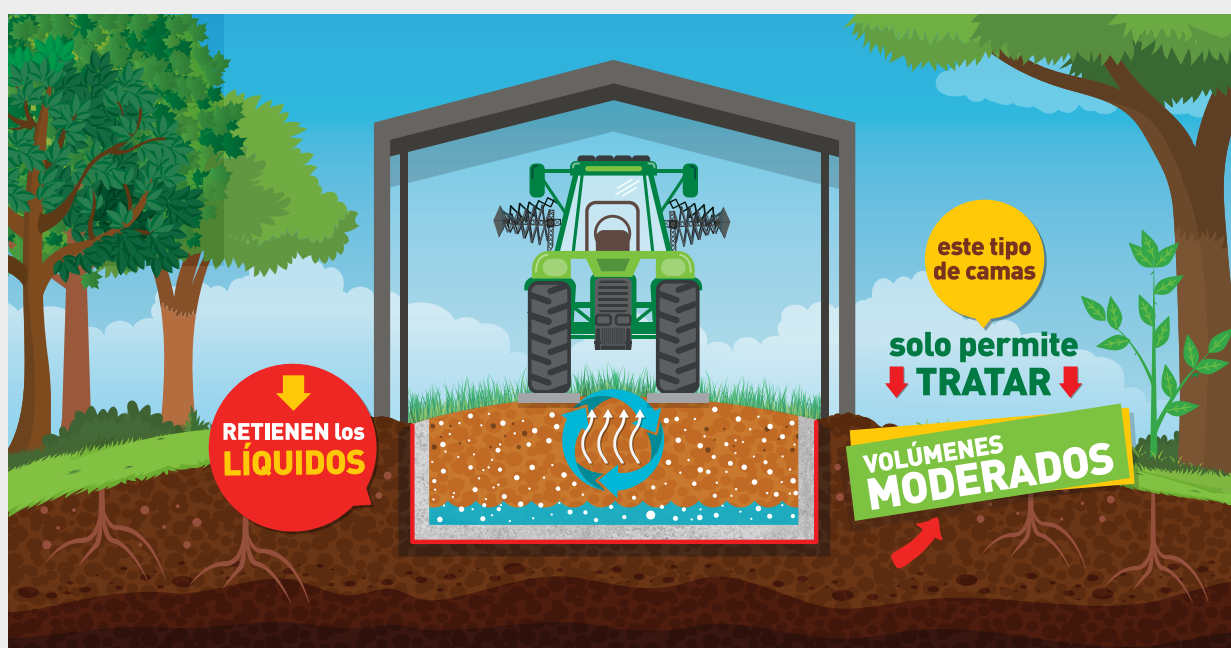
→ **Camas Biológicas Indirectas.**

Camas Biológicas Directas

Figura 12. Esquema de una Cama biológica directa cerrada o sin recirculación.

Fuente: Manual Uso Responsable de Productos Fitosanitarios. CASAFE, 2020.

Las **Camas Biológicas Directas Cerradas** son aquellas en las que la pulverizadora se posa sobre la cama biológica y los derrames, desbordes, goteos y/o líquidos residuales se vuelcan y quedan retenidos directamente en la biomezcla, no conteniendo un sistema de recirculación (Figura 12).





Como se puede observar en la Figura 12, la construcción de este tipo de Biobeds se realiza en el suelo, donde se extrae un volumen de tierra que equivaldrá al volumen de biomezcla a introducir, realizando una excavación de mínimo 60 cm y de 1 m como máximo de profundidad. Como referencia, podemos decir que la superficie de la cama biológica debe tener, como mínimo, 1 metro más que el largo y el ancho de la máquina pulverizadora que se posará sobre el Biobed. A su vez, la estructura debe estar impermeabilizada mediante algún revestimiento en las paredes laterales y fondo de la Cama Biológica con una membrana (por ejemplo, una geomembrana) u otro material impermeable, el cual actúa como una barrera para impedir la percolación de los líquidos residuales de la pulverizadora a las capas de suelo adyacentes y subyacentes a la cama biológica llegando a napas de agua subsuperficiales.

De esta manera, la única vía de pérdida del agua es a través de la evaporación. En algunos casos, sobre todo en sistemas productivos donde el uso de herbicidas no es tan frecuente, se recomienda la presencia de una cobertura vegetal sobre la biomezcla, que favorece la eliminación de agua mediante evapotranspiración. Sin embargo, en otros sistemas productivos, sobre todo los extensivos, por ejemplo, donde el uso de herbicidas es muy frecuente, es más difícil lograr dicha cobertura.

Lo importante en este tipo de camas es que se mantenga protegida de las lluvias, ya que pueden afectar el contenido de humedad de la biomezcla de manera considerable. Si bien la incidencia de lluvias depende de la zona agroecológica en la que se instale la Cama Biológica, es recomendable que esté cubierta. Esta cobertura puede ser permanente, mediante la construcción de un techo, o bien mantenerla cubierta con un plástico de manera tal que evite la entrada de agua de lluvia y, a su vez, permita la circulación de aire, para que se favorezca la evaporación, cuando no se está utilizando.

Cuando la pulverizadora se estaciona sobre la Cama Biológica para la carga, esta lo hace sobre un sistema de soporte o rampa, el cual debe estar construido de manera tal que resista el peso de la máquina, sea esta de arrastre o autopulsada, sin desmoronarse.

Las **Camas Biológicas Directas Cerradas** (Imagen 1) solo permiten tratar volúmenes moderados de líquido residual, producidos por derrames o desbordes de la pulverizadora, ya que la capacidad de



5 | camas biológicas: tipos

retención está limitada por su volumen, al no contar con un sistema de recirculación, no siendo conveniente realizar el lavado interno y/o externo de la pulverizadora en este tipo de Biobed.

Imagen 1. Modelo de una Cama Biológica Directa Cerrada (Imagen tomada en la EEA Cerrillos de INTA en Salta durante el 1er. Congreso Nacional de Fitosanitarios organizado por CASAFE, INTA y entonces Ministerio de Agroindustria de la Nación, en 2017).
Fuente: CASAFE.



Una variante más pequeña de la **Cama Biológica Cerrada**, es la **Mesa Biológica** (Figura 13). Esta tiene el mismo principio que la anterior, con la única diferencia que el volumen de biomezcla que contienen es menor, siendo el objetivo de su construcción aquellos sistemas productivos con pequeñas superficies y donde se aplica fitosanitarios con mochilas pulverizadoras. Las operaciones de carga y lavado del equipo se realizan sobre la **Mesa Biológica**, evitando de esta manera la contaminación puntual también para este tipo de sistemas productivos.

Figura 13. Mesa Biológica.
Fuente: CASAFE.





Otra variante de la **Cama Biológica Directa** es la **Abierta**. Esta se construye de la misma manera que la Cerrada, pero a diferencia de esta última, las abiertas tienen una salida en la parte más baja de la cama biológica, alimentando un sistema de recirculación (Figura 14).



Figura 14. Esquema de una Cama Biológica Directa Abierta o con recirculación.
Fuente: Manual Uso Responsable de Productos Fitosanitarios. CASAFE, 2020.

Este sistema deriva los líquidos residuales excedentes captados a un tanque de almacenaje y luego, cuando la pulverizadora no está estacionada sobre la Cama Biológica, asperja los líquidos almacenados en el tanque sobre la biomezcla.

Este tipo de Cama Biológica permite el procesamiento de un mayor volumen de líquidos residuales, permitiendo en esta versión el lavado interno y externo de la máquina aplicadora, cosa que las Camas Biológicas sin recirculación no permiten.

La primera cama biológica se construyó en 1993, en Suecia, en la chacra de un productor, y fue una Cama Biológica Abierta con recirculación.

Camas Biológicas Indirectas

Las **Camas Biológicas Indirectas** son aquellas en las que la pulverizadora no se estaciona sobre la cama biológica, sino que lo



5 | camas biológicas: tipos

hace sobre una plataforma o playón impermeable, donde caen los líquidos residuales producto de derrames y/o lavado interno y/o externo de la máquina (Figura 15).

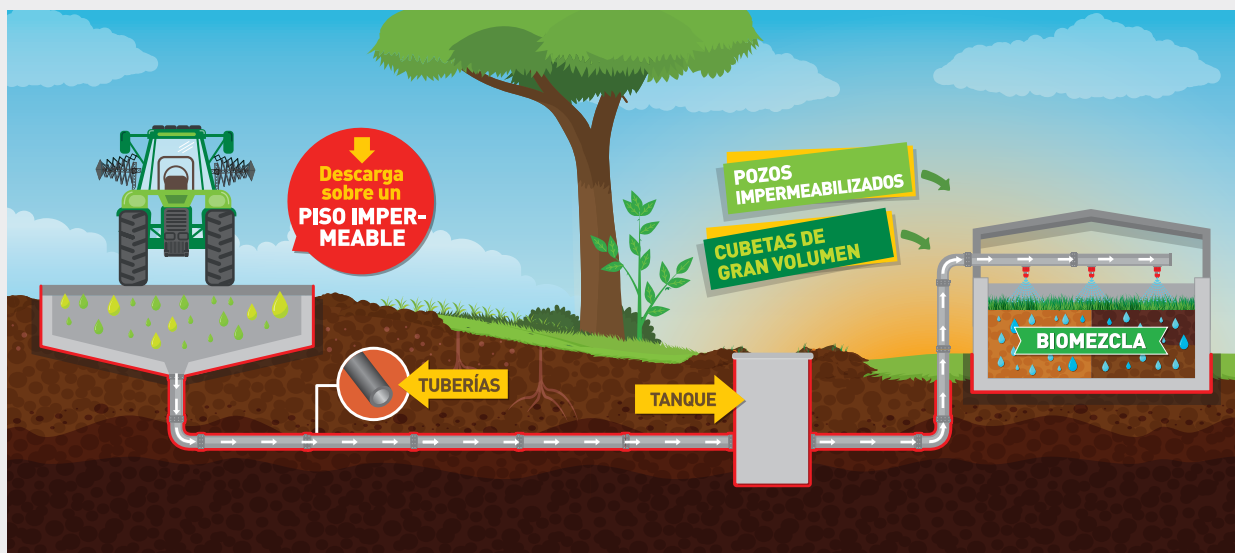
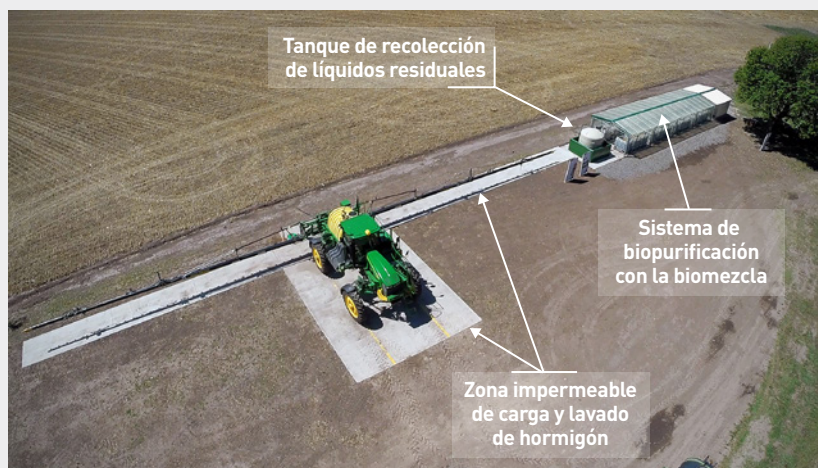


Figura 15. Esquema de una Cama biológica Indirecta.

Fuente: Manual Uso Responsable de Productos Fitosanitarios. CASAFE, 2020.

Estas plataformas deben tener una pendiente tal que conduzcan los líquidos hacia el punto de recolección y contener un socalo en todo el borde o una rejilla de recolección en todo el contorno de la plataforma. De esta manera, todo el líquido será recolectado y, mediante un sistema de drenaje, será almacenado en un tanque, tal como se muestra en la Figura 14, para luego ser asperjado o regado de manera homogénea sobre la biomezcla, la cual está ubicada en un lugar separado del punto de descarga de la pulverizadora (Imagen 2).

Imagen 2. Cama biológica Indirecta, donde se indica la zona de carga y lavado de la pulverizadora, el tanque de recolección de líquidos residuales y donde se ubica la biomezcla, ubicada en las instalaciones de Agrícola Testa S.A., en Pergamino, Bs As. Modelo PHYTOBAC de BAYER.
Fuente: CASAFE.





5 | camas biológicas: tipos

Imagen 3. Cama Biológica Indirecta con sistemas de biofiltros, ubicados en las instalaciones de Agrícola Testa S.A., en Pergamino, Bs As. Modelo PHYTOBAC de BAYER.
Fuente: CASAFE.

Esta biomezcla se coloca en distintos tipos de estructuras, pudiendo ser varios tanques (también llamados biofiltros) de 1 metro cúbico (m³) (Imagen 3) o en un único recipiente, donde se coloca toda la biomezcla junta (Imagen 4). En ella, se puede observar la cañería mediante la cual circulan los líquidos residuales a ser descargados de manera homogénea sobre la biomezcla. Los tanques plásticos pueden ser nuevos o se pueden reciclar de la industria. En cualquier caso, la aspersión del líquido residual se realiza de manera uniforme en toda la superficie.



Imagen 4. Cama Biológica Indirecta con un sistema de contención de la biomezcla, ubicada en las instalaciones de Grupo Forja S.A., Laboulaye, Córdoba.
Fuente: Ing. Lucas Andreoni.



En todas las alternativas constructivas, las cuales tienen distintos niveles de inversión, el líquido residual se asperja sobre la biomezcla de manera tal que se mantenga controlada la humedad de la misma, optimizando los niveles de degradación microbiológica de los productos fitosanitarios por parte de los microorganismos desarrollados en la biomezcla.



5 | camas biológicas: tipos

Imagen 5. Plataformas de carga para aviones aplicadores agrícolas, con pendiente y recolección de líquidos. En la foto de la izquierda, el avión y la plataforma de carga de los pilotos Nicolás y Elio Skare (Salto, Bs. As.). En la foto de la derecha, la plataforma de carga de combustible y fitosanitarios del piloto aeroplacador Freddy Perticarari, en Rojas, Bs. As.
Fuente: CASAFE.

En el caso de los **Aeroaplicadores**, hoy en día muchos de ellos ya cuentan con plataformas de carga impermeable. En muchos casos, producto de los años, las uniones entre los bloques de material de la plataforma perdieron esta impermeabilidad o las uniones no están impermeabilizadas correctamente o han sufrido desgaste por el uso y solo deberán repararlo (Imagen 5). En este caso, para instalar una cama biológica es necesario solo un paso más y que representa la parte más económica de la inversión, que es colocar un tanque de contención y rescate de los líquidos residuales y un sistema de recirculación que derive a la cama biológica per se, colocando los recipientes con la biomezcla tal como se muestra en las Imágenes 3 y 4.



Al igual que las Camas Biológicas Directas, las Indirectas deben ubicarse bajo techo, al resguardo de la lluvia, pero solo los contenedores con la biomezcla (Imagen 6). La plataforma puede mantenerse a la intemperie, tomando la precaución de colocar una llave que abra o cierre el paso hacia el tanque almacenador (Imagen 2).

Imagen 6. Contenedores con Biomezcla y sistema de riego, ubicados en un lugar protegido de la lluvia. Instalaciones de ISCAMen, Mendoza, Argentina
Fuente: Astorga, 2015.



06

MANEJO DE UNA CAMA BIOLÓGICA





> Manejo de una Cama Biológica

Hay varios factores que se deben tener en cuenta al momento de manejar una cama biológica para incrementar su vida útil, sin detener la capacidad de degradación microbiológica de la misma.

Temperatura

Hay una temperatura ideal, la cual varía según cada región, país y zona agroecológica donde se instale una Cama Biológica. Esta tecnología fue desarrollada en los países nórdicos, donde la temperatura media del suelo y del aire es baja. En estas condiciones, la degradación es muy buena, pero toma un poco más tiempo. Castillo y Torstensson (2007) evaluaron distintas temperaturas, donde la mayor fue de 20°C, siendo esta donde hubo mayor tasa de degradación de los fitosanitarios. Lo mismo encontraron Cessna et al. (2017).

También encontramos Camas Biológicas en países de la región tropical, donde la temperatura es considerablemente mayor, sin presentar inconvenientes en la degradación. La degradación aumenta con la temperatura, mientras que la biomezcla se agota con mayor velocidad.

Cuanto mayor es la temperatura, mayor será la actividad de los microorganismos y, por ende, mayor será la solubilización de los fitosanitarios y la velocidad de degradación.

Humedad

La humedad de la biomezcla es un factor fundamental que definirá el tamaño ideal de la cama y que debe ser controlada periódicamente, manteniéndose en alrededor del 60% de la capacidad de retención de agua de la Biomezcla (Castillo y Terstansson 2007, Fernandez Alberti et al. 2012). Si el porcentaje de humedad cae mucho corremos el riesgo de perder a los microorganismos, ya que las condiciones no serían las óptimas para su desarrollo y supervivencia, mientras que, si superamos mucho ese valor, y por un tiempo prolongado, el medio



pasa de ser aeróbico a anaeróbico, con el consiguiente cambio de la población de microorganismos.

Depende de la zona agroecológica donde ubiquemos la Cama Biológica y, sobre todo, el régimen de lluvias, si debemos tenerla cubierta o no para mantener el porcentaje de humedad en los valores recomendados. Esto básicamente es, como ya mencionamos, porque estos sistemas son aeróbicos y si no lo mantenemos protegido del exceso de lluvias, las condiciones para el desarrollo de las poblaciones de hongos no serán las adecuadas, tomando espacio para el crecimiento de otro tipo de microorganismos que no degradarán los fitosanitarios.

Tiempo de permanencia y recambio

La vida útil de una cama biológica va a depender de varios factores. Si se utiliza de manera adecuada podemos pensar en tener una tecnología en su máximo funcionamiento durante, aproximadamente, entre 3 y 5 años, e incluso se han encontrado Biobeds de hasta 8 años (Castillo et al., 2008), tiempo que depende en gran medida de la temperatura ambiental y las condiciones de uso. Luego de transcurrido este tiempo, y observando que el material vegetal ya es inexistente, hay que levantar los residuos de la biomezcla y cambiarla por una biomezcla nueva.

Durante el tiempo en que la Cama Biológica está en uso podrá observarse que se consume el material vegetal de la biomezcla original. La Cama Biológica se hunde aproximadamente 10 centímetros/año, por lo que se recomienda remover la grama y completar con biomezcla nueva, de manera de extender su vida útil.

La biomezcla agotada debe compostarse durante 8 meses, como mínimo, y hasta a 1 año para asegurar que no queden residuos (Torstensson 2000, The Voluntary Initiative – The UK Manual 2006). Torstensson (2000) expresa que, luego del compostado de la biomezcla, la misma puede esparcirse o incorporarse al suelo del campo o ser utilizado para realizar biomezcla nueva. Lo mismo se indica en el Pesticide Manual de UK (The Voluntary Initiative, 2006) donde se recomienda que la cantidad a esparcir en el campo no debe superar las 50 toneladas por ha. y por año.



Por su parte, la norma IRAM 29.561/2020 también expresa que luego del compostado de la Biomezcla agotada, esta puede esparcirse en el campo en pequeñas cantidades, previa realización de evaluaciones ecotoxicológicas. Estas evaluaciones toxicológicas nos dan la pauta de la inocuidad de la biomezcla compostada y nos permiten asegurar que se puede utilizar de la manera explicada más arriba.

La biomezcla debe colocarse sobre un material impermeable y cubrirse para evitar el lixiviado por efecto de la lluvia. Para elegir el lugar en el predio donde realizar el compostaje se deben seguir las mismas recomendaciones que se describen para la ubicación de la Cama biológica respecto a la distancia a las fuentes de agua, entre otras (Torstensson 2000, The Voluntary Initiative 2006, CropLife LA, 2017).

Masin et al. (2018), realizaron ensayos de ecotoxicidad sobre distintos tipos de biomezclas y evaluaron la inocuidad de las mismas, concluyendo que, bajo las condiciones del ensayo, las biomezclas inocuas podrían ser utilizadas como enmiendas orgánicas o ser reutilizadas para realizar biomezcla nueva.

Por su parte, Gebler et al. (2013) trabajaron en un estudio con lombrices de tierra, plantas y microorganismos como bioindicadores sobre tres biomezclas diferentes, previamente contaminadas con fitosanitarios en condiciones controladas, y demostraron que ha habido una gran respuesta al crecimiento de microorganismos debido a la gran eficiencia en la degradación de fitosanitarios por parte de las biomezclas.

En Costa Rica, Lizano-Fallas et al. (2017) realizaron estudios ecotoxicológicos utilizando semillas de *Lactuca sativa* y especímenes del crustáceo *Daphnia magna*, de esta manera lograron demostrar la desintoxicación de las biomezclas con el pasar de los días previstos en el ensayo en cuestión.

Toda la operación de extracción y manipuleo de la Biomezcla agotada debe realizarse con el Equipo de Protección Personal adecuado colocado.



Características de los Productos Fitosanitarios

No todos los productos fitosanitarios se comportan de la misma manera. Hay 2 variables que afectarán el comportamiento; una es la estructura molecular del principio activo, y la otra es el tipo de formulación en la que se presenta ese principio activo. Según se muestra en la Figura 1, la degradación de los distintos productos fitosanitarios varía, siendo mayor para algunos, y menor para otros, pero en todos los casos la degradación es elevada.

Ubicación en el predio

Las Camas Biológicas debes ubicarse cerca del galpón donde se guardan los Fitosanitarios, que es el lugar donde se realizarán las operaciones de carga, previo a la aplicación, y posterior vaciado y lavado de la pulverizadora una vez que se terminaron de aplicar los productos fitosanitarios. En esta ubicación, las Camas Biológicas deben ser aquellas que permitan el procesamiento de grandes volúmenes de agua, siendo estas los tipos Directa Abierta o las Camas Biológicas Indirectas.

Por otro lado, si los establecimientos productivos son lo suficientemente grandes y no alcanza una sola carga para finalizar la aplicación y la pulverizadora no puede volver al galpón de fitosanitarios para recargar el equipo, se recomienda la colocación de plataformas de carga con recolección de líquidos o una cama biológica directa cerrada. Las mismas deben ubicarse estratégicamente en el campo, al lado de una fuente de agua, como los tanques australianos, donde se estacionará la pulverizadora para realizar la operación de recarga de la misma y, de esta manera, evitar la contaminación puntual de estos sectores, los cuales se deben resguardar de posibles derrames, pérdidas de la máquina o posibles accidentes al momento de la carga o lavado de los envases vacíos de fitosanitarios.

Se deben verificar los riesgos para los recursos de agua. Es por eso que las Camas Biológicas se deben construir en las partes altas del terreno, de manera que se eviten inundaciones, y alejadas de cursos o espejos de agua por al menos 150m.



Cálculo del tamaño de la cama biológica

Cuando se calcula el volumen de líquido residual que se genera en un establecimiento agropecuario, hay que tener en cuenta, no solo el volumen agua que se puede utilizar para el lavado interno y externo, sino los líquidos sobrantes de la aplicación y el número de aplicaciones por año.

En cuanto a la cantidad de agua necesaria para el lavado interno y externo, este depende fuertemente del tamaño del equipo pulverizador y de su tanque, pero debemos estimar entre 150 y 300 litros por lavado, aunque hay sistemas que pueden demandar algo más de agua.

El flujo óptimo de líquido residual que soporta el sistema varía según la composición de la biomezcla y el tipo de Cama Biológica a construir, y nos determinará la cantidad de biomezcla necesaria.

Según la Norma IRAM 29.561 (2020), el volumen de líquido residual a tratar en una Cama Biológica está en torno a los 12 litros por m^3 de biomezcla, en un período de 3 días, considerando las variaciones de evapotranspiración del sistema, entre otros factores como, por ejemplo, el tipo de biomezcla utilizada y las condiciones climáticas de la región. Esto resulta en un volumen de 1400 litros por cada m^3 de biomezcla, por año, para una Cama Biológica Directa Abierta o Indirecta.

Hemos encontrado en un modelo realizado en Guatemala, que la relación entre la biomasa de biomezcla y líquidos residuales es de 2:1, o sea que utilizan entre 400 y 600 litros de líquidos residuales por m^3 de Biomezcla (Ruano Martínez, 2009). Estos valores son para una cama biológica Directa Cerrada, donde la única manera de perder el agua es a través de la evapotranspiración, y dependerá, a su vez, de las condiciones de temperatura ambiente y su humedad relativa.

En el Pesticide Handling Manual del Reino Unido (The Voluntary Initiative, 2006), se expresa que la relación entre ambos componentes debe estar cerca de 1 m^3 de Biomezcla para procesar 1000 litros de líquidos residuales.

Según Topps-Life.org (ECPA, 2008), y como mencionamos anteriormente, el volumen de líquido a tratar dependerá de si la Cama Biológica es de sistema Cerrado o Abierto, pudiendo tratar de 400 a



500 litros de líquidos residuales por cada m^3 de biomezcla y por año en un sistema cerrado, mientras que los sistemas abiertos pueden procesar hasta 1.500 litros de líquidos residuales por m^3 de biomezcla por año. La diferencia se debe a que en un sistema abierto se producen lixiviados, que son recirculados al mismo sistema de purificación y en el sistema cerrado no, y depende exclusivamente de la evapotranspiración para la eliminación de agua.

Las diferentes experiencias han sido realizadas con distintas biomezclas, con tipos de Camas Biológicas distintas y en condiciones climáticas distintas, por lo que podemos considerar que por cada m^3 de biomezcla se pueden tratar, aproximadamente, entre 800 y 1200 litros de líquido residual por año, considerando estos valores para calcular la cantidad de biomezcla en función de la cantidad de líquido residual que se tenga que descartar.



07 CONSIDERACIONES FINALES





> Consideraciones finales

Las Camas Biológicas son capaces de reducir la concentración de los productos fitosanitarios a niveles muy bajos, hasta en algunos casos, eliminarlos completamente, como fue demostrado por múltiples autores.

No hay un modelo único ni una única receta, sino que el modelo de Cama Biológica debe adaptarse a cada uno de los casos en los que se quieran instalar un sistema de estas características en función de parámetros como el clima, el volumen de líquido residual a tratar y los materiales locales disponibles para la construcción.

A pesar de esto, creemos que la Cama Biológica que mejor se adapta a cada situación es la del tipo Indirecta, pudiendo ser, a su vez, la más económica de instalar.

Para que las Camas Biológicas funcionen correctamente, deben crearse y mantenerse las condiciones adecuadas para el desarrollo de la actividad microbiana. Caso contrario, estaremos utilizando la estructura como un depósito de líquidos residuales, con capacidad limitada a la misma estructura, y no se soluciona el problema.

Es importante seguir las recomendaciones para la construcción y mantenimiento de las Camas Biológicas, como se expresan en la norma IRAM 29.561, por ejemplo.

Las Camas Biológicas, por sí solas, no mitigarán el riesgo de contaminación puntual si no vienen acompañados con una campaña de educación y difusión a diferentes niveles, tanto productores como aplicadores y asesores Ingenieros Agrónomos. La colaboración entre las instituciones de índole pública y privada, en proyectos conjuntos favorecerá enormemente la difusión e implementación de este sistema.

Queda claro con lo expresado que se requiere mucha más experimentación, no solo sobre la capacidad degradadora de esta tecnología en Argentina y la región, sino para encontrar el tipo de cama biológica que mejor se comporte a las condiciones agroecológicas existentes y, sobre todo, como debe adaptarse al manejo productivo argentino, tanto intensivo como extensivo.

08 BIBLIOGRAFÍA





> Bibliografía

- Astorga, O.W. 2015. Ensayo piloto: sistema de biopurificación para el tratamiento de fosforados remanentes y decomisados según normativa provincial. Mendoza, Argentina. Proyecto cofinanciado por ISCAMen, CASAFE y CropLife Latinamerica.
- Buljan, Maria Eugenia (INTI) y Astorga, Oscar W. (ISCAMen). 2012. Breve Estudio y Evaluación de Camas Biológicas para la degradación de pesticidas organoclorados y fosforados. (Convenio de Cooperación técnica INTI – ISCAMen). 1º Workshop Latinoamericano: Lechos Biológicos para minimizar la contaminación de pesticidas. Universidad de La Frontera, Pucón, Chile.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes - CASAFE. 2020. Manual Uso Responsable de Productos Fitosanitarios. Pp. 22-23.
- Castillo, M.d.P., S. von Wirén-Lehr, I. Scheunert, L. Torstensson. 2001. Degradation of isoproturon by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Biology and Fertility of Soils* 33, 521-528.
- 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, 6206-6219.
- Castillo, M.P. 2014. Pasado, presente y futuro de los Biobeds. 2do Workshop Latinoamericano sobre Lechos Biológicos. Guatemala, 26 y 27 de junio 2014.
- Castillo, M.P. and L. Torstensson. 2007. Effect of biobed composition, moisture, and temperature on the degradation of pesticides. *J. Agric. Food Chem.* 55: 5725-5733.
- Cessna, A.J., J.D. Knight, D. Ngombe, T.M. Wolf. 2017. Effect of temperature on the dissipation of seven herbicides in a biobed matrix. *Can. J. Soil Sci.* 97: 717-731.
- CropLife LA, 2017. Curso Camas Biológicas: Solución para el manejo de excedentes de mezcla y lavado. <https://cursos.croplifela.org/es/>.
- Diez Jerez, M.C., G. Palma Cifuentes, C. Altamirano Quijada, G. Briceño Muñoz, C. Calderón Ramírez, J. Díaz Sánchez, O. Rubinar Araneda, G. Tortella Fuentes. 2013. Manual de Construcción y Operación de Lechos Biológicos. Universidad de la frontera, Santiago de Chile, Chile. Proyecto D09R1006.
- European Crop Protection Association - ECPA. 2008. Train the Operators to prevent Pollution from Point Sources (TOPPS). Sistemas de gestión de residuos de fitosanitarios en explotaciones agrícolas. www.topps-life.org.



- Fernandez Alberti S., O. Rubilar, G.R. Tortella, M.C. Diez. 2012. Chlorpyrifos degradation in a Biomix: Effect of pre-incubation and water holding capacity. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2012, 12 (4), 785-799.
- Fogg, P., A.B. Boxall, A. Walker, A. Jukes. 2004. Degradation and leaching potential of pesticides in biobed systems. *Pest. Manag. Sci.* 60: 645-654.
- Fogg, P., A.B. Boxall, A. Walker. 2003. Degradation of pesticides in biobeds: The effect of concentration and pesticide mixtures. *J. Agr. Food Chem.* 51: 5344-5349.
- Gebler, L., R.S. Silva dos Santos, T. Del Magro, M. Zimboni Pinotti. 2013. Ecotoxicological evaluation of different biobed substrates in Brazil: Preliminary results. Conferencia: 4to Taller Europeo de Biobed, Wageningen, Países Bajos.
- Góngora Echeverría, V.R., F. Martin Laurent, C. Quintal Franco, G. Giacomán Vallejos, C. Ponce Caballero. 2017. Agricultural effluent treatment in biobed systems using novel substrates from southeastern Mexico: the relationship with physicochemical parameters of biomixtures. *Environ Sci Pollut Res* 24, 9741-9753 (2017).
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). 2020. Esquema A. Norma 29.561/2020 - Calidad ambiental. Guía para la construcción y el manejo de Camas Biológicas. Buenos Aires, Argentina.
- Karanasios, E., N.G. Nikolaos, D.G. Tsiropoulos, Karpouzas. 2012. On-farm biopurification systems for the depuration of pesticide wastewaters: recent biotechnological advances and future perspectives. *Biodegradation* (2012), 23, pp. 787-802.
- Lescano, M., Leticia Pizzul, L., Castillo, M.d.P., Zalazar, C. 2018. Glyphosate and aminomethylphosphonic acid degradation in biomixtures based on alfalfa straw, wheat stubble and river waste. *Journal of Environmental Management*, 228, pp. 451-457.
- Lizano Fallas, V., M. Masís Mora, D. Espinoza Villalobos, M. Lizano Brenes, C.E. Rodríguez Rodríguez. 2017. Removal of pesticides and ecotoxicological changes during the simultaneous treatment of triazines and chlorpyrifos in biomixtures, *Chemosphere* (2017).
- Masin, C.E., M.R. Lescano, A.R. Rodríguez, J.L. Godoy, S. Zalazar. 2018. Earthworms to assess the innocuousness of spent biomixtures employed for glyphosate degradation, *Journal of Environmental Science and Health, Part B*.
- McBride M.B. 1994. *Environmental chemistry of soils*. Oxford University Press, New York.
- Niels, H., A. Helweg and K. Heinrichson. 2006. Leaching and degradation of 21 pesticides in full-scale model biobed. *Chemosphere*. 65: 2223-2232.



- Omirou, M., P. Dalias, C. Costa, C. Papastefanou, A. Dados, C. Ehaliotis, D.G. Karpouzas. 2012. Exploring the potential of biobeds for the depuration of pesticide-contaminated wastewaters from the citrus production chain: Laboratory, column and field studies. *Environmental Pollution* 166, pp. 31-39.
- Papazlatani C.V., P.A. Karas, G. Tucac, D.G. Karpouzas. 2019. Expanding the use of biobeds: Degradation and adsorption of pesticides contained in effluents from seed-coating, bulb disinfestation and fruit-packaging activities. *Journal of Environmental Management*. 2019; 248:109221.
- Pizzul, L., M.d.P. Castillo, J. Stenström. 2009. Degradation of glyphosate and other pesticides by ligninolytic enzymes. *Biodegradation* (2009) 20:751–759
- Quintero Díaz, J.C. 2011. Revisión: Degradación de Plaguicidas Mediante Hongos de la Pudrición Blanca de la Madera. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 64(1)5867-5882.
- Ruano Martínez, J.R. 2009. Determinación de la eficiencia destoxicante de “Camas Biológicas” en la bioprofilaxis de suelos agrícolas y cuerpos de agua. Asociación del Gremio Químico Agrícola, AGREQUIMA, Guatemala.
- The Voluntary Initiative. 2006. Design manual: Pesticide Handling Areas and Biobeds. UK. July 2006.
- Torstensson, L. (2000) Experiences of biobeds in practical use in Sweden. *Pesticide Outlook*. 11, 206-212.
- Torstensson, L. and M.P. Castillo. 1997. Use of biobeds in Sweden to minimize environmental spillages from agricultural spraying equipment. *Pesticide outlook*. 8: 24-27.
- Vischetti, C., E. Capri, M. Trevisan, C. Casucci and P. Perucci. 2004. Biomassbed: A Biological system to reduce pesticide point contamination at farm level. *Chemosphere*. 55: 823-828.
- Vischetti, C., E. Monaci, A. Cardinali, C. Casucci and P. Perucci. 2008. The effect of initial concentration, co-application and repeated applications on pesticide degradation in a biobed mixture. *Chemosphere*. 72: 1739-1743.
- Von Wirén-Lehr, S., M.d.P. Castillo, I. Scheunert, L. Torstensson. 2001. Degradation of isoproturon in biobeds. *Biology and Fertility of Soils* 33, 535-540.





Cámara de Sanidad
Agropecuaria y Fertilizantes

