

CAMAS BIOLÓGICAS – BIOTECNOLOGÍA PARA LA PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DE LA CONTAMINACIÓN POR PESTICIDAS

María del Pilar Castillo^{1*}, Lennart Torstensson² y John Stenström²

¹ *JTI - Instituto Sueco de Ingeniería Agrícola y Ambiental, Box 7033, SE-750 07 Uppsala, Suecia*

² *Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, Departamento de Microbiología, Box 7025, SE-750 07 Uppsala, Suecia*

*Autor principal: maria.castillo@jti.se

Más información en:

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.

Las camas biológicas se originaron en Suecia como una respuesta a la necesidad de encontrar un sistema sencillo y efectivo para minimizar la contaminación por pesticidas especialmente durante el llenado de los equipos de aspersión, un ejemplo típico de contaminación puntual.

RESÚMEN

La contaminación del medio ambiente por el uso de pesticidas ocurre principalmente a través de contaminaciones puntuales como por ejemplo durante el llenado de los equipos de aspersión. Este riesgo de contaminación puede ser minimizado con el uso de camas biológicas. Las camas biológicas se han originado en Suecia y son unidades ideadas para retener y degradar derrames de pesticidas. En su diseño original consisten en un agujero en el suelo con una capa de arcilla al fondo, una biomezcla y una capa de grama en la superficie. La típica biomezcla está compuesta por paja, suelo y turba en una proporción de 50-25-25 % en volumen. La paja estimula la actividad de hongos ligninolíticos y la formación de enzimas degradadoras de lignina (como la manganoso peroxidasa) que también degradan muchos pesticidas. El suelo provee de capacidad de retención y es fuente de otros microorganismos degradadores de pesticidas. La turba contribuye también con capacidad de retención y a su vez ayuda a mantener la humedad de la mezcla. La capa de grama en la superficie es importante para el equilibrio de la humedad y sirve asimismo como indicador de derrames de pesticidas. La capa de arcilla al fondo de la biocama actúa como una capa impermeable. En la

actualidad existen más de 1500 camas biológicas en funcionamiento en Suecia y han demostrado contribuir a mitigar la descarga de pesticidas al medio ambiente.

Palabras claves: cama biológica, biocama, pesticidas, peroxidasas, hongos de pudrición blanca, hongos ligninolíticos, lechos biológicos.

INTRODUCCIÓN

Es sabido que el manejo inadecuado de los pesticidas puede contaminar el medio ambiente y especialmente las aguas subterráneas y superficiales. Diversos estudios en Dinamarca (Helweg, 1994, Spliid, et al., 1999, Stenvang & Helweg, 2000), Alemania (Fischer, et al., 1998a, Fischer, et al., 1998b, Frede, et al., 1998, Seel, et al., 1966) y Suecia (Kreuger, 1999) han demostrado que las fuentes puntuales son las que más contribuyen a la contaminación del medio ambiente por pesticidas.

Un ejemplo de fuente puntual es el llenado y lavado de los equipos de aspersión. Ésta actividad es frecuentemente hecha en un mismo lugar de la finca debido a la conveniencia de una fuente de agua. Altas concentraciones de pesticidas han sido detectadas en estas áreas (Helweg, 1994). El riesgo de contaminación es evidente si es que los derrames de pesticidas ocurren en lugares donde la capa superficial del suelo ha sido removida y reemplazada por grava y arena.

¿QUÉ ES UNA CAMA BIOLÓGICA?

Una cama biológica o biocama es una construcción sencilla y económica diseñada para coleccionar y degradar derrames de pesticidas (Torstensson, 2000, Torstensson & Castillo, 1997). Las camas biológicas en su diseño original consisten en un agujero en el suelo de 60 cm. de profundidad el cual es relleno por una capa de arcilla al fondo, una biomezcla de paja, suelo y turba y una capa de grama en la superficie. Se puede incluir una rampa para el estacionamiento del equipo de aspersión (Fig. 1).

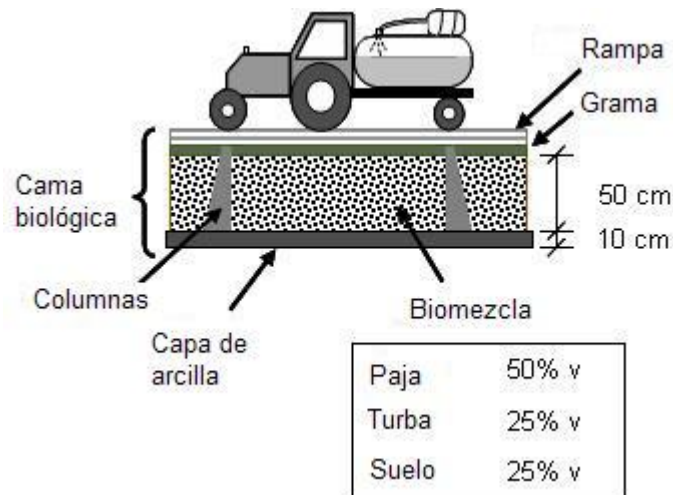


Figura 1. Diagrama de una cama biológica

El propósito es que el manejo de pesticidas durante el llenado del equipo de aspersión sea hecho encima de la cama biológica de manera que si ocurren derrames accidentales los pesticidas puedan ser retenidos y degradados en la biocama. La biomézcla es la que contribuye con la actividad microbiana adecuada para la degradación de los pesticidas.

La típica biomézcla sueca consiste de paja, suelo y turba en una proporción de 50-25-25 % en volumen. El suelo provee de capacidad de retención y de microorganismos degradadores de pesticidas. La turba provee también con una alta capacidad de retención y mantiene la humedad del sistema. La capa de grama en la superficie contribuye con el equilibrio de la humedad por evapo-transpiración y sirve además como un indicador de derrames de pesticidas (Fig. 2).

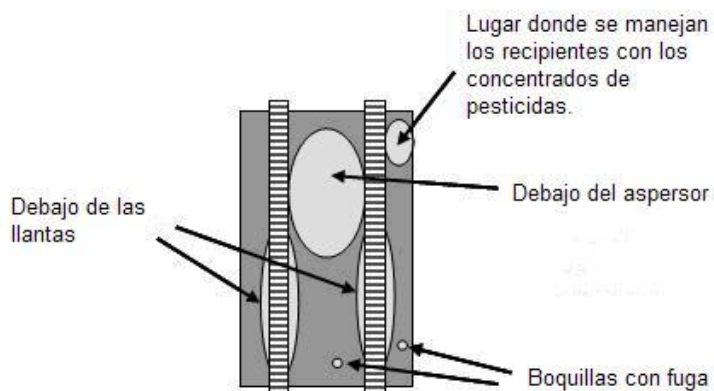


Figura 2. Los derrames de pesticidas, especialmente herbicidas, en una cama biológica mata el césped de la superficie generando zonas decoloradas (modificado de Torstensson, 2000).

La principal actividad microbiana la da la paja al estimular la actividad de hongos de pudrición blanca con capacidad de degradar lignina a través de la formación de enzimas ligninolíticas, como las peroxidasas y las lacasas (actividad fenoloxidasas), las cuales han

demostrado también ser eficientes en la degradación de pesticidas (Castillo, 1997, Castillo, et al., 1997, Castillo, et al., 2000, Castillo, et al., 2001, Coppola, et al., 2007, von Wirén-Lehr, et al., 2001). En los estudios hechos en Suecia se ha encontrado que los niveles de paja en la biomezcla se correlacionan positivamente con el contenido de fenoloxidasas, respiración microbiana y la degradación de la mayor parte de los pesticidas estudiados (Castillo & Torstensson, 2007). También se ha observado que la presencia de un material lignocelulósico en la biomezcla es indispensable para la completa degradación de muchos de los pesticidas sobre todo aquellos con anillos aromáticos y porque desarrolla una población microbiana más robusta en comparación con biomezclas compuestas de otros tipos de materiales orgánicos (Coppola et al., 2007, Vischetti, et al., 2007).

El período donde aparecen las concentraciones más altas de pesticidas en la cama biológica es durante la época de aplicación de los pesticidas, i.e. cuando se usan más intensivamente (Torstensson, 2000, Torstensson & Castillo, 1997). Una vez ocurrido el derrame, los pesticidas son retenidos en la parte superior de la cama biológica y la mayor parte de ellos son degradados dentro de un lapso de un año (Fig. 3). Niveles cercanos o por debajo del límite de detección son encontrados en las partes bajas sugiriendo un transporte mínimo hacia el fondo de la cama biológica.

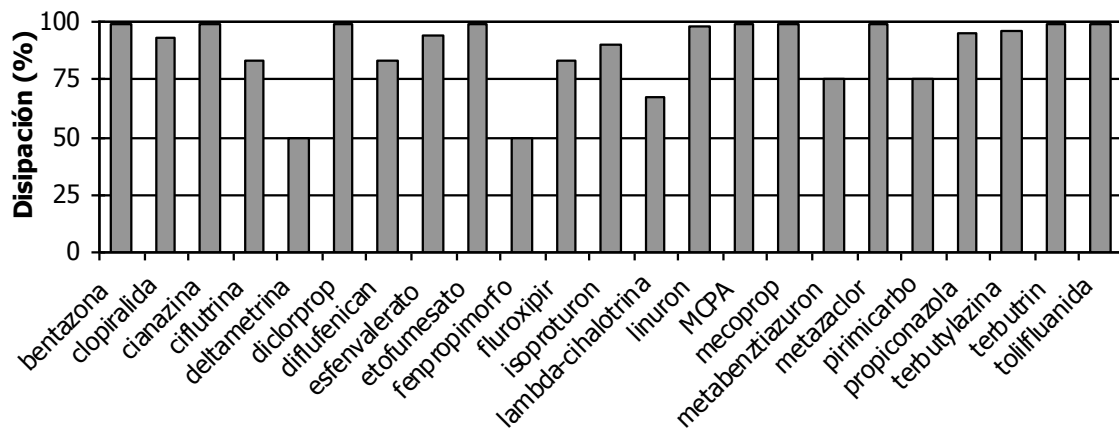


Figura 3. Disipación de pesticidas en una cama biológica después de un año.

Debido a la degradación de la paja, el contenido de carbono en el centro de la cama biológica disminuye con el tiempo a niveles similares a los encontrados en muchos suelos agrícolas (Fig. 4). Cuando eso sucede la biomezcla debe ser totalmente removida y reemplazada por una mezcla nueva. En Suecia se recomienda que ésta remoción se haga cada 6 a 8 años.

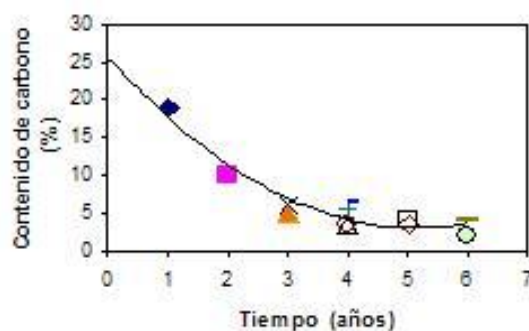


Figura 4. Contenido de carbono (%) en doce camas biológicas. Todas fueron muestreadas en el año 1999, 1 a 6 años de ser construidas.

La biomezcla removida puede contener niveles bajos de pesticidas debido a pesticidas recientemente aplicados o a aquellos que son degradados lentamente. Por lo tanto, se recomienda que el material removido se someta a un proceso de post-compostaje por un período de un año. Luego de ese proceso los niveles de los pesticidas bajan por debajo del límite de detección (Tabla 1).

Tabla 1 Un proceso de post-compostaje de la biomezcla removida reduce los niveles de los pesticidas a por debajo del límite de detección. Datos de una cama biológica en el sur de Suecia. Los residuos detectados están expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$ ms.

Pesticida	Abril	Agosto	Octubre	Diciembre	Límite de detección
Diflufenican	0.30	0.07	<0.05	<0.05	0.05
Esfenvalerato	0.16	0.11	0.06	<0.02	0.02
Fenpropimorfo	0.10	0.04	<0.04	<0.04	0.04
Isoproturon	0.07	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Metazaclor	0.08	<0.04	<0.04	<0.04	0.04
Mentabenziazuron	0.10	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
Pirimicarbo	0.07	0.03	<0.02	<0.02	0.02
Propiconazola	0.12	0.06	<0.05	<0.05	0.05
Terbuthylazina	0.11	0.08	0.04	<0.04	0.04

Debido al clima de Suecia la actividad de la cama biológica está limitada a las épocas de primavera, verano y parte del otoño. Las temperaturas más altas observadas en las biocamas se dan en el sur de Suecia, donde pueden llegar a 20°C en el verano mientras que en el invierno fluctúan entre 2 - 4°C (Fig. 5). Las temperaturas más bajas se dan en el norte de Suecia donde incluso parte de la biocama se congela durante el invierno (Torstensson, 2000).

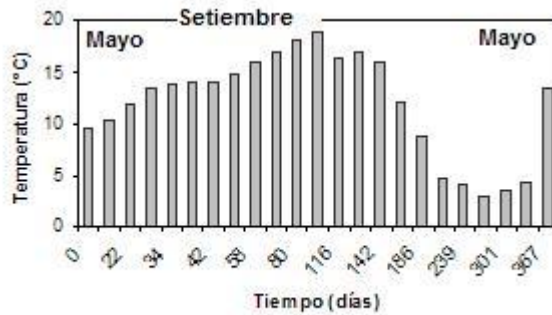


Figura 5. Temperatura en una cama biológica situada al sur de Suecia.

El balance de agua en una cama biológica tiene un efecto importante en la retención y degradación de pesticidas en la cama biológica. Condiciones de no saturación son importantes dado que los procesos de degradación de la mayor parte de los pesticidas en la cama biológica son aeróbicos (Castillo & Torstensson, 2007). Por otro lado, aparte de generar velocidades de degradación lentas, las condiciones cercanas a la saturación no son recomendables porque aumentan el riesgo de transporte de los pesticidas fuera de la biocama. Para evitar este riesgo las camas biológicas no están recomendadas para el tratamiento de grandes cantidades de aguas, como por ejemplo de las que provienen del lavado interno de los equipos de aspersión. Esta actividad deberá ser hecha en el campo. Para las condiciones suecas la humedad en las camas biológicas se mantiene en niveles óptimos para la actividad microbiana si están sujetas solo al agua de las lluvias y las del lavado externo del equipo de aspersión (Fig. 6).

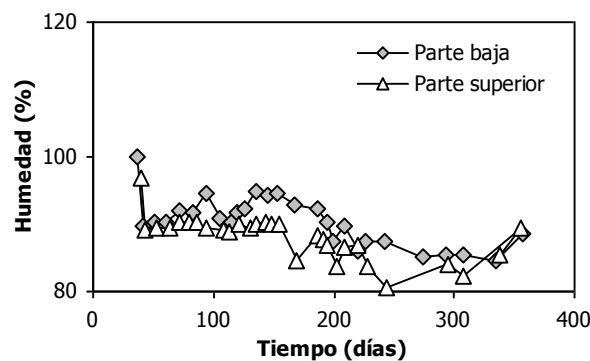


Figura 6. Humedad en una cama biológica en el sur de Suecia. Las mediciones fueron hechas a dos niveles, uno en la parte superior (15 cm) y otro en la parte baja (40 cm) de la biocama (Tostensson, 2000).

Las primeras camas biológicas fueron construidas en Suecia en el año 1993 y en la actualidad se estima que hay unas 1500 funcionando en todo el país. Esta difusión se debe principalmente a que las biocamas son efectivas, económicas y han ganado el aprecio de los

agricultores quienes a su vez han desarrollado diferentes modelos dependiendo de los materiales disponibles en las fincas (Fig. 7).

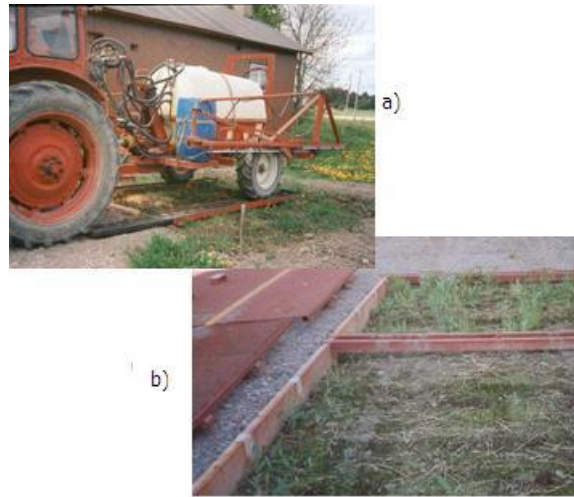


Figura 7. Algunos modelos de camas biológicas desarrollados en Suecia, a) con rampa de madera, b) rampa hecha con una reja de fierro.

CAMAS BIOLÓGICAS EN OTROS PAÍSES

Las camas biológicas han recibido una gran atención en otros países por lo sencillas y efectivas. En Europa, países como el Reino Unido (Fogg, 2004, Fogg & Boxall, 2004, Fogg, et al., 2003a, Fogg, et al., 2003b, Fogg, et al., 2004a, Fogg, et al., 2004b), Italia (Coppola et al., 2007, Vischetti, et al., 2004, Vischetti et al., 2007), Francia (Fournier, et al., 2005, Fournier, 2000), Dinamarca (Henriksen, et al., 2003, Spliid, et al., 2006) entre otros, están realizando los trabajos de adaptación de ellas a las condiciones climatológicas, a las prácticas agrícolas típicas de cada país y a los materiales orgánicos disponibles para preparar la biomezcla. Asimismo, actualmente se están efectuando estudios similares en otras partes del mundo como en Perú, Guatemala, Costa Rica, México, Ecuador, Vietnam, India.

Las camas biológicas han mostrado ser efectivas y una tecnología al alcance de todos.

REFERENCIAS

- Castillo, M.d.P. (1997) Degradation of pesticides by *Phanerochaete chrysosporium* in Solid Substrate Fermentation. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae.
- Castillo, M.d.P. & Torstensson, L. (2007) Effect of biobed composition, moisture and temperature on the degradation of pesticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55, 5725-5733.

- Castillo, M.d.P., Ander, P. & Stenström, J. (1997) Lignin and manganese peroxidase activity in extracts from straw solid substrate fermentations. *Biotechnology Techniques*. 11, 701-706.
- Castillo, M.d.P., Ander, P., Stenström, J. & Torstensson, L. (2000) Degradation of the herbicide bentazon as related to enzyme production by *Phanerochaete chrysosporium* in a solid substrate fermentation system. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 16, 289-295.
- Castillo, M.d.P., von Wirén-Lehr, S., Scheunert, I. & Torstensson, L. (2001) Degradation of isoproturon by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Biology and Fertility of Soils*. 33, 521-528.
- 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, 396-401.
- Fischer, P., Hartmann, H., Bach, M., Burhenne, J., Frede, H.G. & Spiteller, M. (1998a) Gewässerbelastung durch Pflanzenschutzmittel in drei Einzugsgebieten. *Gesunde Pflanzen*. 50, 142-147.
- Fischer, P., Hartmann, H., Bach, M., Burhenne, J., Frede, H.G. & Spiteller, M. (1998b) Reduktion des Gewässerreintrags von Pflanzenschutzmitteln aus Punktquellen durch Beratung. *Gesunde Pflanzen*. 50.
- Fogg, P. (2004) Mechanisms and dynamics within a biobed, *In* J. Husby, (ed.) European Biobed Workshop. Bayer CropScience, Malmö, Sweden.
- Fogg, P. & Boxall, A.B.A. (2004) Effect of different soil textures on leaching potential and degradation of pesticides in biobeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52, 5643-5652.
- Fogg, P., Boxall, A.B.A. & Walker, A. (2003a) Degradation of pesticides in biobeds: The effect of concentration and pesticide mixtures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51, 5344-5349.
- Fogg, P., Boxall, A.B.A., Walker, A. & Jukes, A.A. (2003b) Pesticide degradation in a "biobed" composting substrate. *Pest Management Science*. 59, 527-537.
- Fogg, P., Boxall, A.B.A., Walker, A. & Jukes, A. (2004a) Leaching of pesticides from biobeds: Effect of biobed depth and water loading. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52, 6217-6227.
- Fogg, P., Boxall, A.B.A., Walker, A. & Jukes, A. (2004b) Degradation and leaching potential of pesticides in biobed systems. *Pest Management Science*. 60, 645-654.
- Fournier, J.-C., Martin-Laurent, F. & Catroux, G. (2005) Detoxifying plant health product effluents from farms [Online]. Available by INRA http://www.international.inra.fr/press/detoxifying_plant_health.

- Fournier, J.C. (2000) Bioremediation applications to decompose pesticide wastes in farm: a necessity of knowledge on the microbial behaviour and the environmental risk. InterCOST workshop on Bioremediation, Sorrento, Italy. 89-92.
- Frede, H.G., Fischer, P. & Bach, M. (1998) Reduction of herbicide contamination in flowing waters. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*. 161, 395-400.
- Helweg, A. (1994) Threats to water quality from pesticides—Case histories from Denmark. *Pesticide Outlook*. 5, 12-18.
- Henriksen, V.V., Helweg, A., Spliid, N.H., Felding, G. & Stenvang, L. (2003) Capacity of model biobeds to retain and degrade mecoprop and isoproturon. *Pest Management Science*. 59, 1076-1082.
- Kreuger, J. (1999) Pesticides in the environment - atmospheric deposition and transport to surface waters. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae.
- Seel, P., Knepper, T.P., Gabriel, S., Weber, A. & Haber, K. (1966) Kläranlagen als Haupteintragspfad für Pflanzenschutzmittel in ein Fliessgewässer - Bilanzierung der Einträge. *Vom Wasser*. 86, 247-262.
- Spliid, N.H., Helweg, A. & Heinrichson, K. (2006) Leaching and degradation of 21 pesticides in a full-scale model biobed. *Chemosphere*. 65, 2223-2232.
- Spliid, N.H., Brüsch, W., Jacobsen, O.S. & Hansen, S.U. (1999) Pesticide point sources and dispersion of pesticides from a site previously used for handling of pesticides. 16th Danish Plant Protection Conference, Side effects of pesticides, Weeds. DJF Report 9, 33-46.
- Stenvang, L. & Helweg, A. (2000) Minimizing pollution risk at filling and washing sites for sprayers. 17th Danish Plant Protection Conference, Overview/environment/weeds. DJF report 23, 73-77.
- Torstensson, L. (2000) Experiences of biobeds in practical use in Sweden. *Pesticide Outlook*. 11, 206-212.
- Torstensson, L. & Castillo, M.d.P. (1997) Use of biobeds in Sweden to minimize environmental spillages from agricultural spraying equipment. *Pesticide Outlook*. 8, 24-27.
- Vischetti, C., Capri, E., Trevisan, M., Casucci, C. & Perucci, P. (2004) Biomassbed: a biological system to reduce pesticide point contamination at farm level. *Chemosphere*. 55, 823-828.
- 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.
- von Wirén-Lehr, S., Castillo, M.d.P., Torstensson, L. & Scheunert, I. (2001) Degradation of isoproturon in biobeds. *Biology and Fertility of Soils*. 33, 535-540.