

# Biodegradación aerobia de pesticidas halogenados

**B. Carboneras, M.A. Rodrigo, P. Cañizares, J. Villaseñor, F.J. Fernandez-Morales\***

\* Universidad de Castilla-La Mancha, Departamento de Ingeniería Química, Avenida Camilo José Cela s/n C.P. 13071 Ciudad Real, España. (E-mail: [fcojesus.fmorales@uclm.es](mailto:fcojesus.fmorales@uclm.es))

## Resumen

El uso intensivo de pesticidas ha llevado a la contaminación de los recursos hídricos y problemas relacionados con la salud humana. Debido a estos problemas, el presente estudio se ha centrado en el estudio de la eliminación de pesticidas halogenados mediante tratamientos biológicos en condiciones aerobias.

Para ello se ha trabajado con reactores discontinuos secuenciales y se ha estudiado el efecto de la concentración del pesticida sobre su biodegradabilidad así como su toxicidad. El intervalo de concentraciones de pesticida estudiado se ha situado entre 10 y 100 ppm. El inóculo de microorganismos empleado provenía de una EDAR convencional.

En los experimentos realizados se observó que, tras una etapa de retardo, se produjo un crecimiento exponencial de la biomasa. Este crecimiento de la biomasa fue debido al consumo del pesticida, cuya concentración decayó significativamente.

En cada uno de los experimentos realizados se determinó la velocidad máxima de eliminación del pesticida, obteniéndose velocidades de degradación decrecientes al aumentar la concentración del pesticida, lo que es indicativo de un fenómeno de inhibición del metabolismo microbiano.

De cualquier modo, las velocidades máximas de degradación del pesticida oscilaron entre 0.49 y 0.20 g pesticida / d · g SSV, para las concentraciones de 10 y 100 ppm respectivamente. Lo que significa velocidades de degradación adecuadas para que estos procesos puedan implementarse a escala real.

Por este motivo, la principal conclusión de trabajo fue que es posible eliminar, por vía biológica, pesticidas halogenados como el 2,4-D sin necesidad de emplear cultivos aclimatados.

**Palabras Clave:** Aerobio, biodegradabilidad, halogenado, pesticida.

## Introducción

El uso intensivo de pesticidas ha llevado a una contaminación de los recursos hídricos. El principal problema de los pesticidas es su toxicidad en los organismos vivos, incluyendo seres humanos, siendo esta problemática agravada por la movilidad de estos compuestos químicos y por fenómenos de bio-acumulación.

Debido a estos problemas es necesario desarrollar tecnologías de tratamiento que permitan minimizar el impacto de los pesticidas en el medioambiente.

Las técnicas de eliminación de contaminantes se pueden dividir principalmente en 3 grupos. A continuación se presentan estos grupos y algunos ejemplos de cada uno:

- Tratamientos biológicos. Se utilizan para la eliminación de contaminantes susceptibles de ser biodegradados por la acción de microorganismos. La recuperación puede llevarse a cabo mediante la acción de microorganismos autóctonos (técnica denominada bioestimulación) mediante la adición de microorganismos externos (técnica denominada bioaumento).
- Tratamientos físico-químicos. Están enfocados en el tratamiento de lugares contaminados con contaminantes tóxicos y persistentes a la acción de los microorganismos. El objetivo de estos tratamientos está enfocado principalmente en transformar los contaminantes en compuestos con menor peligrosidad, más estables, menos móviles y/o inertes mediante técnicas de oxidación química o electroquímica, o bien a la concentración y aislamiento de los contaminantes. Algunos ejemplos son la oxidación química, electrorremediación o el lavado de suelos.
- Tratamientos térmicos. Este tipo de tratamientos es aplicado a suelos contaminados. Consisten en calentar el subsuelo para aumentar la velocidad de volatilización de los contaminantes semivolátiles y mejorar su extracción. A este grupo pertenecen tratamientos como la pirólisis, vitrificación o incineración.

Tradicionalmente, las tecnologías empleadas han sido de naturaleza físico-química, sin embargo, en los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías que presentan menores costes e impacto ambiental. Entre las nuevas tecnologías destacan los bio-procesos.

Esta tecnología, también conocida como bio-remediación (Verma y col., 2014), ha mostrado elevados rendimientos asociados a bajos costes.

Fruto del metabolismo microbiano, los compuestos químicos de naturaleza compleja se transforman en otros más sencillos de menor impacto medioambiental.

Esta degradación es debida a la combinación de diferentes mecanismos, entre los que se encuentran la bio-transformación, bio-mineralización, bio-degradación y bio-acumulación (Verma y col., 2014).

En la Tabla 1 se resumen las ventajas y desventajas de estos 3 grupos de tratamientos.

En base a la información presentada en la tabla 1 puede indicarse que el método biológico, es un método prometedor, siempre que el pesticida fuera biodegradable.

Este tratamiento podría ser efectivo, mínimamente peligroso, económico, respetuoso con el medio ambiente, versátil y no produce intermedios tóxicos (Porto y col., 2011).

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas de los métodos eliminación contaminantes

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Tratamientos biológicos</b>	Efectivos en cuanto a costes Menor impacto en el medio ambiente Los contaminantes generalmente son destruidos Se requiere un mínimo o ningún tratamiento posterior	Requieren mayores tiempos de tratamiento Es necesario verificar la toxicidad de productos intermedios y/o productos No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano
<b>Tratamientos físico-químicos</b>	Efectivos en cuanto a costes Pueden realizarse en periodos cortos El equipo es accesible y no se necesita mucha energía ni ingeniería	Los residuos generados por técnicas de separación, deben tratarse o disponerse Los fluidos de extracción pueden aumentar la movilidad de los contaminantes
<b>Tratamientos térmicos</b>	Permite tiempo rápidos de limpieza	Es el grupo de tratamientos más costoso Los costes aumentan en función del empleo de energía y equipo Intensivos en mano de obra

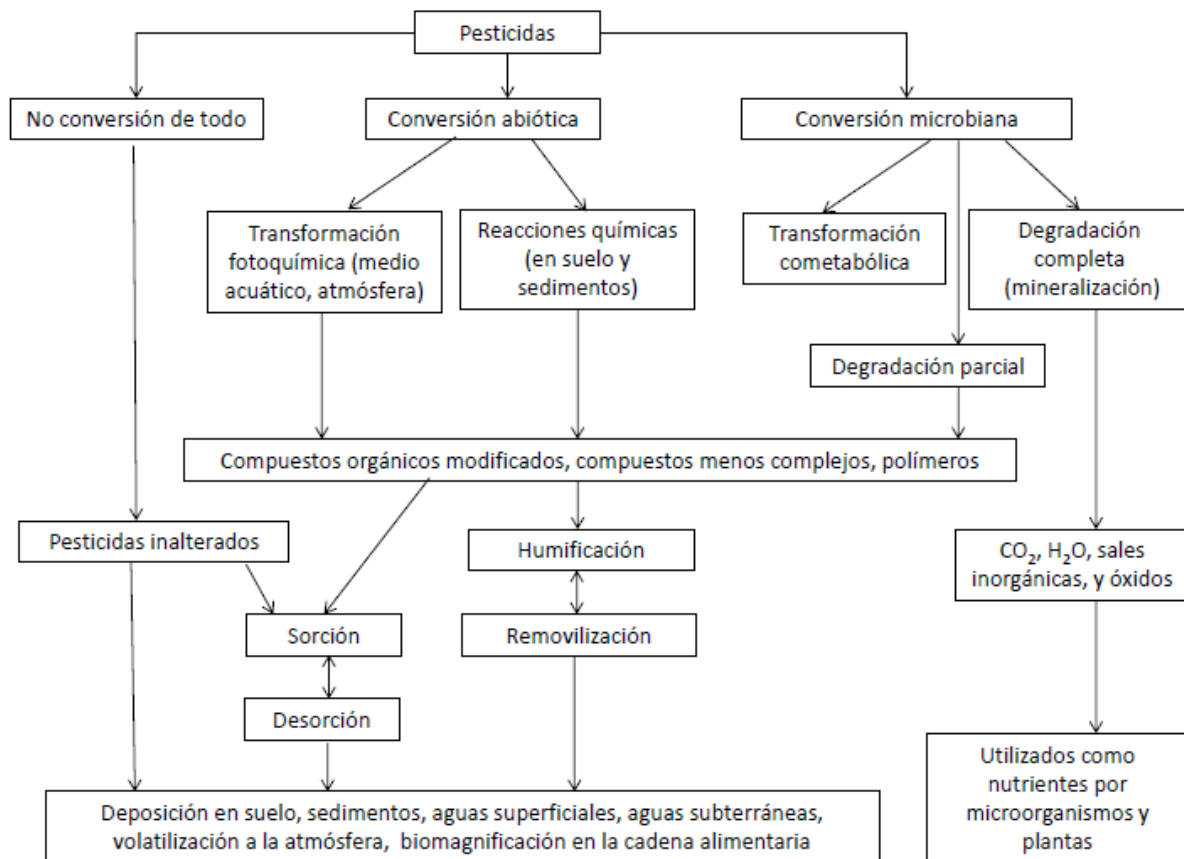
Los microorganismos que habitan en suelos y aguas descomponen varios componentes xenobióticos, transformándolos en sales minerales las cuales son utilizadas por las plantas.

Los microorganismos, especialmente las bacterias, debido a su continua exposición a los contaminantes del medio ambiente, desarrollan un sistema genético contra los agentes tóxicos [14].

La alta diversidad de las comunidades microbianas presentes en agua dulce y salada, alcantarillado y suelo son capaces de transformar un alto rango de compuestos orgánicos.

En comparación con métodos químicos, los microorganismos presentes en el medio ambiente consumen los pesticidas para obtener la energía necesaria para su desarrollo y de esta manera eliminan estos compuestos químicos presentes en agua y suelo (Verma y col., 2014).

La Figura 1 muestra los diferentes métodos mediante los cuales los pesticidas son degradados.



**Figura 1.** Principales vías de biodegradación de pesticidas.

La degradación de estos compuestos químicos se puede llevar a cabo mediante diferentes vías como la biotransformación, bioacumulación, biodegradación, biorremediación, etc. (Finley y col., 2010).

La degradación microbiana implica la ruptura enzimática de pesticidas como lo son los compuestos organoclorados, organofosforados y carbamatos, en sustancias no tóxicas.

Esta degradación microbiana puede ser definida como la degradación de compuestos orgánicos complejos, en este caso pesticidas, en productos inorgánicos simples, llevándose a cabo en lugares contaminados como lo pueden ser suelo, agua, lodo y sistemas de agua y gas industriales (Yon y Liu, 2004; Finley y col., 2010; Porto y col., 2011).

Por lo tanto, los microorganismos desempeñan un papel importante en la eliminación in situ de los agentes tóxicos que se encuentran en el medio ambiente.

Como se ha comentado anteriormente, las bacterias son los principales microorganismos que degradan compuestos tóxicos, algunas de estas bacterias son: *Arthobacter*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Rhodococcus*, *Bacillus*, etc. (Verma y col., 2014).

Los microorganismos, gracias a su metabolismo presentan la capacidad de eliminar contaminantes que emplean como fuente de carbón y energía.

Algunos de estos microorganismos se adaptan fácilmente al nuevo medio que los rodea, tienen una alta capacidad para degradar los pesticidas gracias al desarrollo de nuevos genes, los cuales codifican enzimas que pueden usar estos compuestos como sustancias primarias (Suenaga y col., 2001).

En este contexto, el presente trabajo se centro en el estudio de la biodegradabilidad de un pesticida halogenado, 2,4-D, en condiciones aerobias, empleando para ello un cultivo de fango activo convencional.

## Material y métodos

El presente estudio se ha realizado empleando reactores discontinuos secuenciales de mezcla completa. Estos reactores han sido alimentados con distintas concentraciones de pesticida, en el intervalo entre 10 y 100 ppm. El inóculo de microorganismos empleado provenía de una EDAR convencional.

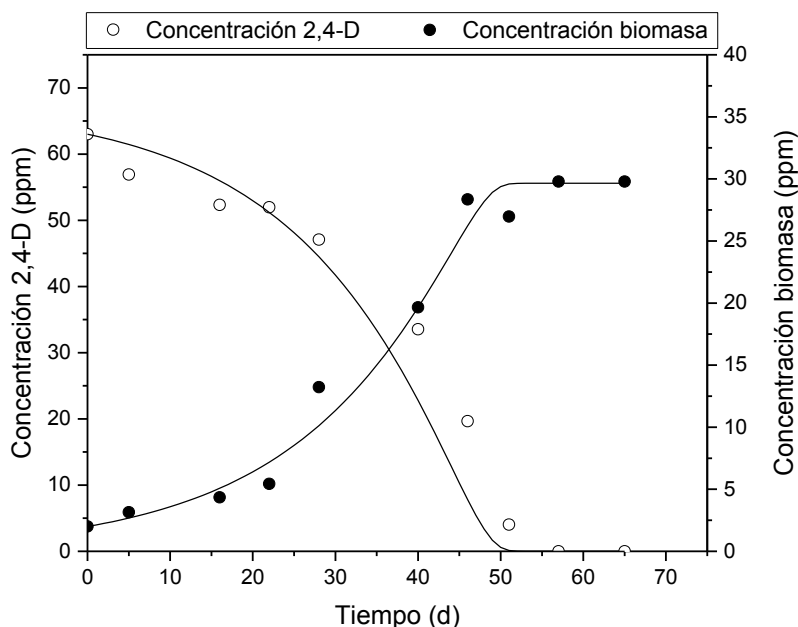
Para permitir la biodegradación del pesticida se alimentó una disolución de nutrientes cuya composición se muestra en la tabla 2. Durante el proceso de bio-degradación se determinaron las características del cultivo microbiano y de la fase líquida.

**Tabla 2.** Disolución de nutrientes empleada en el estudio.

Componente	Concentración (mg/L)	Componente	Concentración (mg/L)
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	741,5	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	502,9
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	445,7	$\text{CaCl}_2$	300,4
$\text{NaHCO}_3$	1152	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$	31,3

## Resultados y discusión

La evolución de los pesticidas y la biomasa fue monitorizada en cada una de las reacciones. En la figura 2 se muestra, a modo de ejemplo, la tendencia seguida en el experimento realizado con 63 ppm de 2,4-D.



**Figura 2.** Evolución del Sistema cuando se alimentó una concentración de 63 ppm del pesticida 2,4-D.

Como puede verse en la figura, tras una etapa de retardo se observó un crecimiento exponencial de la biomasa. Este crecimiento de la biomasa fue debido al consumo del pesticida, cuya concentración decayó significativamente.

En cada uno de los experimentos realizados se determinó la velocidad máxima de eliminación del pesticida, observándose que al aumentar la concentración del pesticida se reducía la velocidad de biodegradación del mismo, lo que puede explicarse debido a fenómenos de inhibición y a la aparición de una etapa de retardo cuya duración fue directamente proporcional a la concentración inicial del pesticida.

## Conclusiones

Es posible eliminar por vía biológica pesticidas halogenados como el 2,4-D sin necesidad de emplear cultivos aclimatados.

Sin embargo, un fenómeno de inhibición de la actividad microbiana se observa cuando la concentración del pesticida aumenta.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Gobierno de España el soporte económico a través del proyecto CTM2013-45612-R.

## Referencias

Finley, S.D.; Broadbelt, L.J.; Hatzimanikatis, V. (2010) *In silico* feasibility of novel biodegradation pathways for 1,2,4-trichlorobenzene, in *Bmc Systems Biology*, vol. 4, 2010.

Porto, A.L.M.; Melgar, G.Z.; Kasemodel M.C.; Nitschke, M. (2011) *Biodegradation of Pesticides, Pesticides in the Modern World - Pesticides Use and Management*, Dr. Margarita Stoytcheva (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/17686.

Suenaga, H.; Mitsuoka, M.; Ura, Y.; Watanabe, T.; Furukawa, K. (2001) Directed evolution of biphenyl dioxygenase: emergence of enhanced degradation capacity for benzene, toluene and alkylbenzenes. *Journal of Bacteriology*, Vol. 183, pág. 4.

Verma, J. P.; Jaiswal, D. K.; Sagar, R. (2014) Pesticide relevance and their microbial degradation: a-state-of-art. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v. 13, n. 4, p. 429-466.

Yon, M.; Liu, X. (2004) *Biodegradation and bioremediation of pesticide pollution*. *Chinese Journal of Ecology*, Vol. 23, pág. 5.