

## TRATAMIENTOS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON PESTICIDAS

**Cristina Fernández  
Rodríguez**

En el presente trabajo se ha comparado la eficiencia de los tratamientos biológicos y fotocatalíticos en la depuración de aguas contaminadas con dos pesticidas: Pirimetanil y Triadimenol, ampliamente utilizados como fungicidas sistémicos en la lucha contra plagas de hongos en los cultivos de tomate de la isla de Gran Canaria. Ambos compuestos son considerados tóxicos para organismos acuáticos, hecho que justifica la necesidad de estudiar un tratamiento efectivo de depuración de aguas residuales que los contengan, antes de proceder a su vertido. Paralelamente, se ha llevado a cabo el mismo estudio con otro contaminante orgánico: Resorcinol, con mayor biodegradabilidad que los pesticidas estudiados. Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que las aguas contaminadas con ambos pesticidas deben ser tratadas mediante procesos fotocatalíticos, mientras que, en el caso de Resorcinol, el tratamiento debe ser mediante procesos de depuración biológicos.

*In this work, the efficiency of biological and photocatalytic treatment to purify water polluted with two pesticides, Pyrimethanil and Triadimenol, widely used as systemic fungicides in Gran Canaria tomato crops, has been studied. Both compounds are considered environmental pollutants and both of them have toxic effects on aquatic organisms. Therefore, the study regarding an efficient treatment for purifying these wastewaters before dumping is a very important task. At the same time, we have carried out a parallel investigation with another environmental pollutant: Resorcinol, with higher biodegradability than the pesticides studied. The results have shown that pesticides should be removed by photocatalytic water treatment, while Resorcinol could be removed by biological water treatment.*

### INTRODUCCIÓN

El desarrollo agrícola mundial que tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XX llevó consigo la proliferación del uso de pesticidas para mejorar la calidad y cantidad de la producción agrícola (a nivel mundial). Los pesticidas o plaguicidas son sustancias químicas destinadas a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de plagas (insectos, hongos, nematodos, etc...). Así, desde el descubrimiento del primer insecticida sintético, el Dicloro-

Difenil-Tricloroetano (más conocido como DDT), en los años 40, el consumo de pesticidas en el mundo no ha dejado de crecer, llegándose, en el caso de España, a un consumo anual de 110.459 toneladas [AEPLA 2004].

De esta forma, el incremento en el uso de pesticidas en los últimos cincuenta años ha dado lugar a una creciente preocupación sobre el efecto que dichas sustancias tienen sobre los ecosistemas, tanto acuáticos como terrestres. De hecho, distintos

informes de las Naciones Unidas han indicado que, de todos los pesticidas usados en la agricultura, menos del 1% son incorporados a los cultivos. El resto termina contaminando la tierra, el aire y principalmente el agua.

Desde que en el año 1962 la zoóloga norteamericana Rachel L. Carson, con la publicación del libro *La Primavera Silenciosa*, alertara al mundo de los efectos nocivos que para la naturaleza tenía el empleo masivo de productos químicos como los pesticidas, y el DDT en particular, se han ido implantado políticas medioambientales de racionalidad en el uso de pesticidas por parte de los organismos estatales y supranacionales competentes en materia medioambiental.

Según datos del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (1998), Canarias es la región española en la que se emplean más pesticidas por hectárea. En este sentido, en el cultivo de tomates en invernaderos, desde que se plantan las semillas, hasta la recolección del fruto, se pueden emplear entre quince y veinte tipos distintos de pesticidas. Dentro de los diferentes pesticidas utilizados, existen algunos con alta probabilidad de contaminar los sistemas acuáticos (superficiales y subterráneos) que, por otra parte, son escasos en esta región española, por lo que se hace necesario encontrar tratamientos de depuración eficaces, seguros y no contaminantes aplicables a la purificación de aguas residuales agrícolas en las Islas Canarias.

En este sentido, el grupo de investigación FEAM (Fotocatálisis y Electroquímica para Aplicaciones Medioambientales) de la Universidad de Las Palmas

de Gran Canaria ha abierto una línea de investigación dedicada al estudio y tratamiento de depuración de aguas contaminadas con pesticidas.

En este trabajo se ha abordado el estudio de dos pesticidas ampliamente utilizados en cultivos de tomates en la isla de Gran Canaria: Pirimetanil y Triadimenol. El Pirimetanil (Scala®) es un fungicida del grupo de las Anilino pirimidinas utilizado para prevenir la infección de las tomateras por hongos del género *Oidio* sp. y, por su parte, el Triadimenol (Bayfidan®) es un fungicida del grupo de los Triazoles cuyo hongo diana pertenece al género *Botrytis* sp. Paralelamente a los estudios con pesticidas, se ha complementado el trabajo con el estudio del tratamiento de Resorcinol, compuesto orgánico ampliamente utilizado en la industria química de resinas sintéticas y tintes, llevando a cabo para este compuesto los mismos tratamientos en las mismas condiciones que para los pesticidas, con el objeto de comparar los resultados obtenidos para los tres compuestos.

Los tratamientos aplicados en el presente trabajo para la eliminación de estos compuestos han sido:

- Tratamientos biológicos.
- Tratamientos químicos de oxidación avanzada: Fotocatálisis Heterogénea y Fotocatálisis Homogénea.

Los **tratamientos biológicos** se basan en la utilización de organismos vivos, tales como bacterias, hongos e incluso macrófitos (plantas), los cuales son capaces de eliminar numerosos tipos de contaminantes orgánicos presentes en las

**El incremento del uso de pesticidas en los últimos cincuenta años ha dado lugar a una creciente preocupación sobre el efecto que dichas sustancias tienen sobre los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres**

**En las últimas décadas ha habido un auge en el estudio de procesos de purificación de aguas residuales industriales y agrícolas**

**Los tratamientos biológicos se basan en la capacidad que poseen los organismos vivos, tales como bacterias, hongos e incluso macrófitos de degradar la materia orgánica presente en las aguas**

aguas, ya que los utilizan como fuente de carbono y/o energía para su propio desarrollo. Estos sistemas tienen la ventaja de ser métodos sencillos y relativamente baratos. Sin embargo, no todos los pesticidas son susceptibles de eliminarse por esta vía, ya que dichas sustancias pueden resultar tóxicas para los organismos vivos. Por otro lado, la alta estabilidad química de las moléculas de algunos pesticidas hace que su degradación biológica sea bastante difícil [Comisión Europea 2000a].

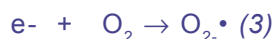
Por su parte, los **tratamientos fotocatalíticos** se basan en la combinación de la luz ultravioleta, ya sea artificial (lámparas UV) o solar y un catalizador de la reacción (Dióxido de Titanio, Hierro,...) que, en las condiciones adecuadas (pH, temperatura, concentración de aire,...) dan lugar a la formación de radicales altamente oxidantes capaces de degradar las moléculas orgánicas disueltas en el agua y consecuentemente producir la eliminación del contaminante. Estos procesos tienen la capacidad de producir una intensa degradación de los compuestos orgánicos presentes en el agua, por lo que logran, en muchos casos, la total mineralización de los mismos. Asimismo, presentan una reactividad no selectiva con la inmensa mayoría de compuestos orgánicos, especialmente interesante si se quiere evitar la presencia de subproductos potencialmente tóxicos procedentes de los contaminantes originales. El principal inconveniente de estos tratamientos es que tienen un coste mayor que los biológicos ya que utilizan reactivos más caros como catalizadores de las reacciones (Dióxido de Titanio, Hierro, Peróxido de Hidrógeno...), viéndose aumentado el coste económico si la fuente de luz utilizada proviene

**Los tratamientos fotocatalíticos utilizan la combinación de la luz ultravioleta y un catalizador para degradar la materia orgánica presente en las aguas**

de lámparas de UV (frente al uso de la luz solar) [Caceres Vázquez, 2003, 1.18].

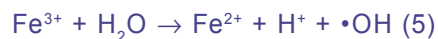
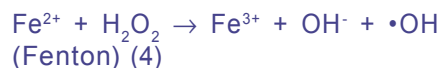
En este trabajo se han utilizado las dos técnicas fotocatalíticas capaces de aprovechar la radiación solar:

a) *Fotocatálisis Heterogénea* utilizando como catalizador un semiconductor: Dióxido de titanio. En este caso la formación de los radicales oxidantes tiene lugar mediante las reacciones:



donde  $\text{h}^+$  y  $\text{e}^-$  son los huecos y electrones generados en el semiconductor al absorber la radiación ultravioleta. Los radicales  $\cdot\text{OH}$  tienen un poder oxidante que solo es superado por el del flúor.

b) *Fotocatálisis Homogénea* utilizando como catalizador el  $\text{Fe}^{2+}$  (Foto-Fenton). En este caso los radicales  $\cdot\text{OH}$  son generados al reaccionar el  $\text{Fe}^{2+}$  con  $\text{H}_2\text{O}_2$ . El  $\text{Fe}^{3+}$  generado en presencia de luz ultravioleta puede dar lugar también a estos radicales  $\cdot\text{OH}$ :



La aplicación de la Fotocatálisis Heterogénea al tratamiento de los residuos presenta, como principal ventaja, la posibilidad de recuperar el catalizador mediante procesos de filtración o decantación. Sin embargo, la eficiencia de esta técnica es, en general, menor que la homogénea, debido principalmente al menor contacto entre el catalizador-sustrato y

a la menor capacidad para producir radicales  $\cdot\text{OH}$ . En cambio, esta última presenta el principal inconveniente de la dificultad para retirar el Hierro utilizado como catalizador y el  $\text{H}_2\text{O}_2$  residual del proceso.

Todo el trabajo ha sido realizado a escala de laboratorio con el objeto de encontrar el tratamiento más efectivo para el Pirimetanil, Triadimenol y Resorcinol.

### METODOLOGÍA

#### Tratamientos biológicos

Los estudios de los tratamientos biológicos se han realizado en reactores de plástico de pequeñas dimensiones (32 x 19 x 25 cm) (Imagen 1).



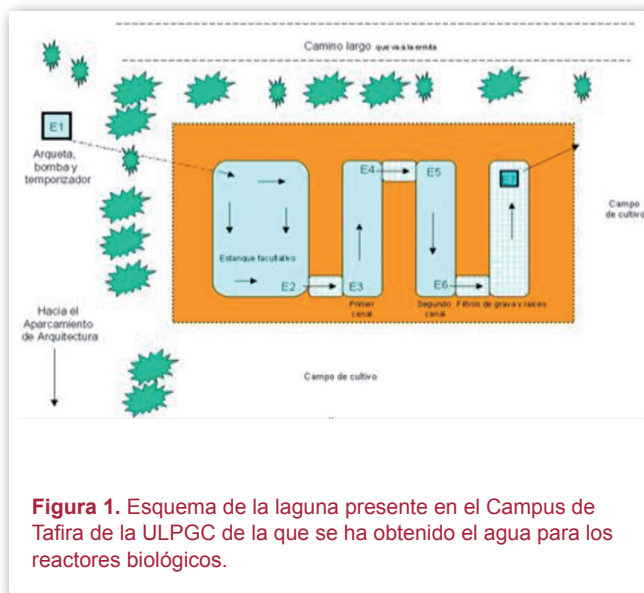
**Imagen 1.** Reactores utilizados en los estudios de los tratamientos biológicos.

Para el tratamiento de cada pesticida se han diseñado tres sistemas distintos en tres reactores:

- *Reactor 1:* grava + agua residual.
- *Reactor 2:* agua residual + plantas.
- *Reactor 3:* grava + agua residual + plantas.

El agua residual utilizada proviene de una laguna presente en el Campus de Tafira de la ULPGC. El agua ha sido tomada en el punto E4 (Figura 1)

donde la masa bacteriana es la apropiada para este tipo de tratamientos.



**Figura 1.** Esquema de la laguna presente en el Campus de Tafira de la ULPGC de la que se ha obtenido el agua para los reactores biológicos.

En estos reactores se ha mantenido una recirculación continua del agua con objeto de homogeneizar el sistema. Las plantas utilizadas han sido del género *Cyperus sp.*, las cuales también se encuentran presentes en esta laguna. En los reactores 1 y 3 también se ha añadido al sistema grava ( $\approx 6$  kg) de un tamaño aproximado de 2 cm, con el objeto de que sirva como soporte de la masa bacteriana. De esta forma, con el presente diseño se pretende determinar: si este tipo de sistema funciona, qué efecto tiene la presencia de grava (como soporte bacteriano) y/o la presencia de plantas (también como soporte bacteriano en las raíces, incorporando el mismo pesticida o emitiendo sustancias que favorezcan la eliminación) en el sistema diseñado.

Los reactores se mantuvieron 15 días en recirculación para la estabilización del sistema. Después de este periodo, se procedió a añadir pequeñas concentraciones del pesticida (1-2 mg/l) cada 3 ó 4 días durante 10

**Se realizan adiciones crecientes del contaminante para lograr la adaptación de la flora bacteriana presente en el reactor biológico**

días con la intención de conseguir una adaptación de la masa bacteriana al residuo.

Se han realizado también análisis de la concentración de aniones presentes en el agua residual utilizada (Tabla 1), no observándose cambios significativos en los distintos reactores después de las diferentes adiciones.

Aniones	Concentración media (mg/L)
Fluoruro	3,89
Cloruro	1.845
Sulfato	603
Nitrato	6,55
Fosfato	0

**Tabla 1.** Concentración media de aniones presentes en el agua residual utilizada en los reactores 1-3.

### Tratamientos fotocatalíticos

Los estudios fotocatalíticos se han realizado a escala de laboratorio en reactores de cristal cilíndricos de 200 ml utilizando lámparas de 60 W Solarium Philips HB175 equipadas con 4 tubos fluorescentes Philips CLEO de 15 vatios con un espectro de emisión entre 300 y 400 nm (con un máximo alrededor de 365 nm) (Imagen 2).

Los tratamientos de Fotocatálisis con  $TiO_2$  (1g/l) se realizaron a pH 5, mientras que los de Foto-Fenton se realizaron a un pH de aproximadamente 3. En estos estudios, el control del pH se ha realizado de forma continua debido a que su variación puede modificar de forma importante el rendimiento del proceso.

Todos los experimentos fueron realizados con compuestos de elevada pureza:



**Imagen 2.** Reactores utilizados en los estudios de los tratamientos fotocatalíticos.

- Pirimetanil (99.6%)
- Triadimenol (96%)
- Resorcinol (95%)

### Análisis

El seguimiento de la evolución de los pesticidas tanto en el sistema biológico como en los fotocatalíticos, se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), técnica analítica cuantitativa que determina la concentración de los tres compuestos en las muestras de agua. La fase móvil utilizada ha sido Acetonitrilo:Agua:Ácido acético (en diferentes proporciones para cada uno de ellos) y la longitud de onda óptima del detector de UV ha sido 270 nm para el Pirimetanil y el Resorcinol y 254 nm para el Triadimenol.

En los estudios fotocatalíticos se siguió la evolución del carbono orgánico total (TOC) en los reactores mediante un Analizador TOC Shimadzu 5000-A. Estos análisis se han realizado con objeto de determinar la eficacia de la técnica, no solo para rom-

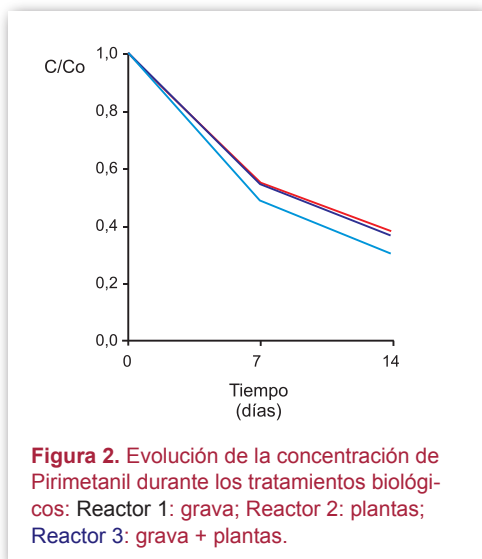
per la molécula del contaminante, sino para lograr una mejor mineralización de los productos intermedios que se formen en el transcurso de la reacción. Por su parte, en los tratamientos biológicos no se ha realizado el seguimiento del TOC, ya que la materia orgánica procedente del agua residual provoca interferencias en el seguimiento de los posibles intermedios producidos en la degradación de los diferentes compuestos.

## RESULTADOS

### Tratamiento biológico

#### Pirimetamil

En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos en el tratamiento biológico de Pirimetamil (10 mg/l) con los diferentes reactores. Tal como se puede observar, ninguno de los sistemas es capaz de degradar este compuesto después de 14 días de tiempo de residencia en el reactor.

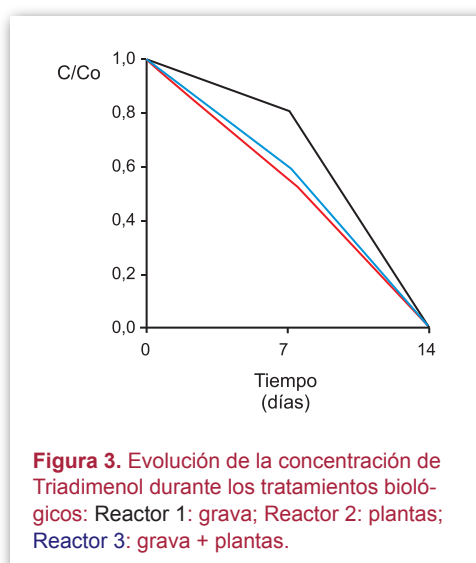


**Figura 2.** Evolución de la concentración de Pirimetamil durante los tratamientos biológicos: Reactor 1: grava; Reactor 2: plantas; Reactor 3: grava + plantas.

#### Triadimenol

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos en el tratamiento biológico de Triadimenol (10 mg/l) con los

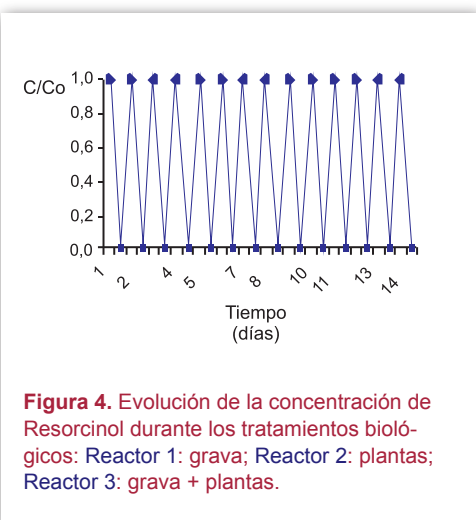
diferentes reactores. En este caso, se observa una lenta pero progresiva degradación en los reactores 2 y 3 donde se hallan presentes las plantas. Por su parte, en el reactor 1 donde solo se encuentra la grava con el agua residual, la degradación en los primeros 7 días es más lenta que en los reactores con plantas. Sin embargo, después de este periodo parece que el sistema se reactiva.



**Figura 3.** Evolución de la concentración de Triadimenol durante los tratamientos biológicos: Reactor 1: grava; Reactor 2: plantas; Reactor 3: grava + plantas.

#### Resorcinol

En la Figura 4, se muestran los resultados obtenidos en el tratamiento biológico después de una adición diaria de Resorcinol (10 mg/l) durante 15



**Figura 4.** Evolución de la concentración de Resorcinol durante los tratamientos biológicos: Reactor 1: grava; Reactor 2: plantas; Reactor 3: grava + plantas.

**La degradación biológica de los pesticidas (10 ppm) es un proceso muy lento, existiendo concentraciones de ambos en el agua tras 10 días de tiempo de residencia en el reactor**

días en los diferentes reactores. La degradación biológica de este compuesto es mucho más eficaz que la de los anteriores estudiados. Así, tal como se puede observar en la figura 4, en los tres reactores se produce una degradación de aproximadamente 10 ppm diarios, comportándose los diferentes sistemas de forma parecida, aunque el reactor 1 (agua de la laguna + grava) parece ser el más eficiente en la degradación de este contaminante, por lo que la presencia de plantas no produce ninguna mejora.

**Tratamientos fotocatalíticos**

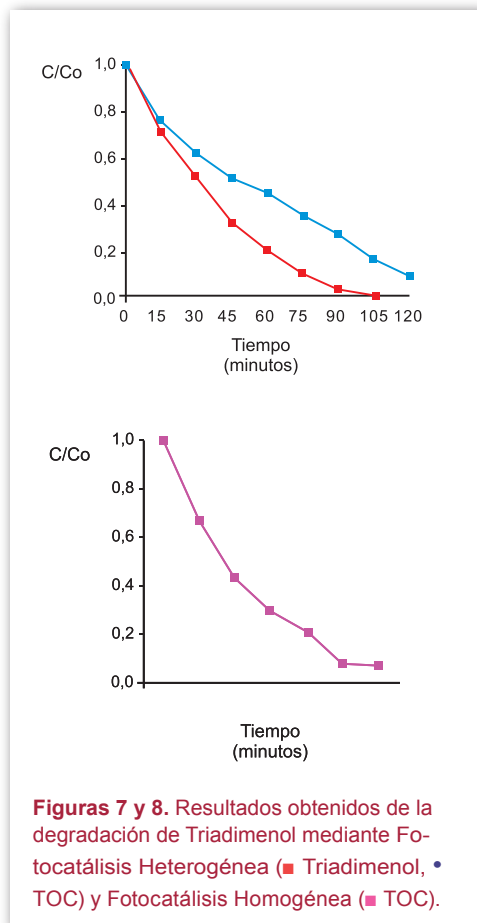
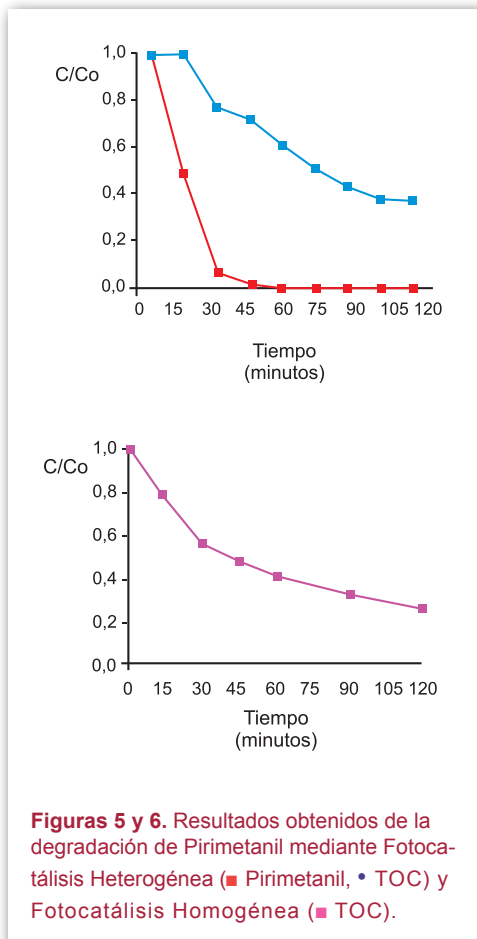
**Pirimetaniil**

En las Figuras 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos en la degradación de

Pirimetaniil (30 mg/l) mediante Fotocatálisis Heterogénea con TiO<sub>2</sub> y Fotocatálisis Homogénea (Foto-Fenton), respectivamente.

La degradación de este compuesto con TiO<sub>2</sub> (Figura 5) tiene lugar en 30 minutos. Sin embargo, la mineralización de los intermedios generados durante la degradación es más lenta. Por su parte, la degradación de este compuesto mediante Foto-Fenton (Figura 6) es inmediata y la velocidad de mineralización del compuesto es prácticamente igual que en el estudio realizado con TiO<sub>2</sub>. La inmediata degradación observada en este proceso se atribuye a la reacción de Fenton (reacción 4).

De hecho, se han realizado los mismos estudios en oscuridad y se han observado los mismos resultados.



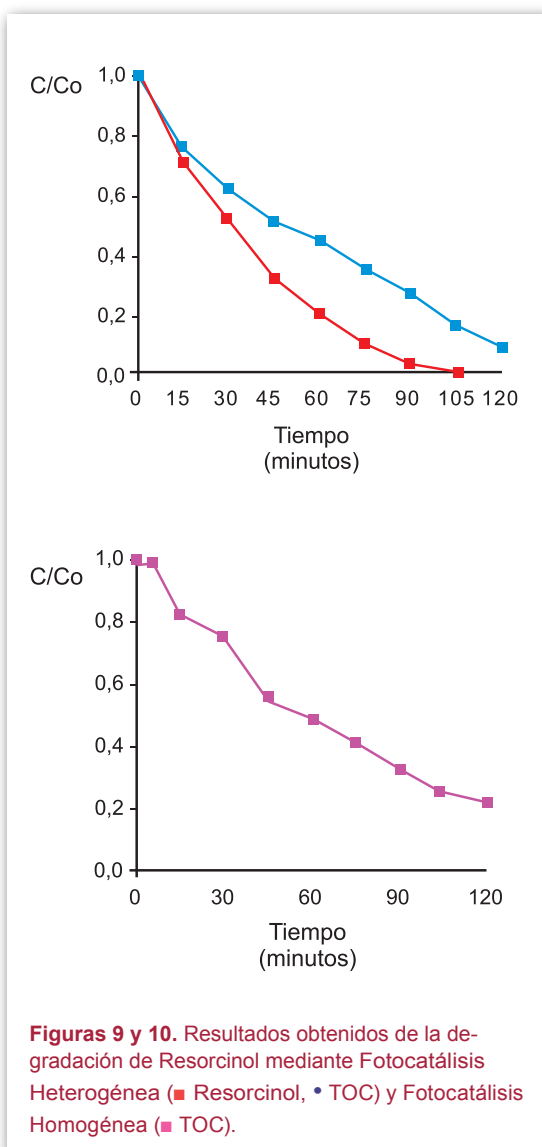
### Triadimenol

En las Figuras 7 y 8 se muestran los resultados obtenidos en la degradación de Triadimenol (30 mg/l) mediante Fotocatálisis Heterogénea con  $TiO_2$  y Fotocatálisis Homogénea (Foto-Fenton) respectivamente.

Tal como se puede observar en las figuras indicadas, la degradación fotocatalítica con  $TiO_2$  de este compuesto es más lenta que la de Pirimetanil, necesitándose, en este caso, 60 minutos para obtener la degradación total de este compuesto. Sin embargo, la mineralización de Triadimenol es ligeramente más rápida que la de Pirimetanil. Por su parte, en los estudios realizados mediante Foto-Fenton se ha observado, de nuevo, una degradación inmediata debido a la reacción de Fenton. Sin embargo, y al igual que en el estudio realizado con Pirimetanil, la mineralización es más lenta y del mismo orden que la obtenida mediante Fotocatálisis Heterogénea.

### Resorcinol

En las Figuras 9 y 10 se muestran los resultados obtenidos en la degradación de Resorcinol (30 mg/l) mediante Fotocatálisis Heterogénea con  $TiO_2$  y Fotocatálisis homogénea (Foto-Fenton), respectivamente, donde se observa una ligera mejor degradación por Fotocatálisis con  $TiO_2$  que por Foto-Fenton, al contrario que ocurría con los pesticidas.



**Figuras 9 y 10.** Resultados obtenidos de la degradación de Resorcinol mediante Fotocatálisis Heterogénea (■ Resorcinol, • TOC) y Fotocatálisis Homogénea (■ TOC).

Los tratamientos fotocatalíticos con  $TiO_2$  eliminan 30 ppm de ambos pesticidas tras 60 minutos de tiempo de reacción

## DISCUSIÓN

Los resultados comparativos obtenidos a partir de los tratamientos biológicos y fotocatalíticos han puesto de manifiesto que los primeros son mucho menos eficientes para la degradación de Pirimetanil y de Triadimenol que los sistemas fotocatalíticos. Estos últimos son capaces de degradar 10 ppm de pesticidas en 60 minutos o incluso en tiempo menor, en el caso de Pirimetanil, aplicando tratamientos con  $TiO_2$ , o inmediatamente en el caso de la técnica de Foto-Fenton.

La degradación biológica de Resorcinol (10 ppm) es un proceso muy rápido. Se produce una eliminación total en menos de 24 horas de tiempo de residencia en el reactor

**En la actualidad existen plantas de tratamiento de aguas residuales contaminadas con pesticidas mediante tratamientos fotocatalíticos en la provincia de Almería (España)**

Por otra parte, los estudios de evolución del carbono orgánico total (TOC) en los tratamientos fotocatalíticos han puesto de manifiesto una lenta mineralización de los intermedios de reacción.

Como se ha indicado en la introducción, el principal inconveniente de los procesos de Foto-Fenton es la eliminación del hierro y del exceso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> añadido. En cambio, en los procesos de Fotocatálisis Heterogénea el TiO<sub>2</sub> se puede eliminar mediante un simple proceso de filtración o decantación. Así pues, dado que la mineralización alcanzada con ambos procesos fotocatalíticos evoluciona de forma parecida y que la degradación de estos compuestos con TiO<sub>2</sub> es considerablemente más rápida, parece más apropiado que el tratamiento de aguas contaminadas con estos pesticidas se realice mediante Fotocatálisis Heterogénea. De hecho, en la actualidad hay diseñadas y construidas plantas, como por ejemplo la construida en Almería por la empresa Albaida Recursos Naturales y Medioambiente en colaboración con el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) y la Plataforma Solar de Almería que gestiona aguas contaminadas con pesticidas provenientes de envases de productos fitosanitarios mediante radiación solar. Con esta técnica se pueden tratar volúmenes de 400 a 1000 litros de agua. Dado que las concentraciones de estos pesticidas en las aguas procedentes del cultivo de tomates son del orden o menores de las estudiadas en el presente trabajo parece que la implantación de este tipo de técnicas para el tratamiento de estas aguas sería apropiado. Por otra parte, aunque después de 2 horas de tratamiento fotocatalítico no se haya obtenido la mineralización total del residuo, el agua tratada podría ser vertida

directamente a una laguna natural donde se terminaría de depurar.

Por su parte, la degradación biológica del resorcinol es eficaz, aunque ligeramente más lenta que la fotocatalítica. Los tratamientos biológicos requieren un menor coste económico, por lo que parece obvio que para depurar aguas contaminadas con Resorcinol se elija un tratamiento biológico.

De cualquier forma, el presente trabajo es solo un estudio preliminar para determinar a "priori" cuál de los métodos estudiados parece más óptimo para el tratamiento de estos residuos.

**CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se ha comparado la eficiencia de los métodos biológicos con los métodos fotocatalíticos para el tratamiento de los pesticidas: Pirimetanil, Triadimenol y el derivado fenólico Resorcinol.

Los resultados obtenidos en estos estudios han determinado que los métodos fotocatalíticos, y en especial los llevados a cabo mediante Fotocatálisis Heterogénea, son más eficientes y prácticos para el tratamiento de Pirimetanil y Triadimenol. En cambio, los métodos biológicos parecen más apropiados para el tratamiento de Resorcinol.

Finalmente, el presente trabajo ha puesto de manifiesto la necesidad de estudiar y optimizar el tratamiento de estos compuestos a escala de laboratorio con objeto de determinar las mejores opciones y condiciones para el tratamiento de estos residuos.

**BIBLIOGRAFÍA**

Asociación Empresarial para la Protección de las Plantas (AEPLA): *Memoria anual 2004.*

Agüera, A., Almans, E., Tejedor, A., Fernández, A., Malato, S. y Maldonado, M. (2000): *Environmental Science and Technology*, núm 34, págs 1563-1571.

Albert, L.A. (1998): *Los plaguicidas persistentes y sus efectos a largo plazo*. México D.F. II Simposio Internacional Sobre Agricultura Sostenible.

Araña, J., Doña, J., Tello, E., Garriga, C., González, O., Herrera, J., Pérez, J., Colón, G. y Navío, J. (2003): "TiO<sub>2</sub> Activation by Using Activated Carbon as Support". Part II. En: *Photoreactivity and FTIR study. Applied Catalysis B: Environmental*, núm. 44, págs.153-160.

Cáceres, J.: *Evaluación analítica y optimización de procesos de oxidación avanzada en planta piloto solar*. Madrid, Ed. Ciemat. 2003:18.

Comision Europea (2000): *Socio-Economic Impacts of the Identification of Priority Hazardous Substances under the Water Framework Directive*. Bruselas, Directorate-general Environment.

Malato S., Blanco, J., Richter, C., Braun, B. y Maldonado, M. (1998): *Enhancement of the Rate of Solar Photocatalytic Mineralization of Organic Pollutants by Inorganic Species*. Appl. Catal. B Environ., núm 17, págs. 347-356.

Malato, S., Blanco, J., Richter, C. y Vincent, M. (1996): *Photocatalytic Degradation of Industrial Residual Waters*, *Solar Energy*, núm. 56(5), págs 401-410.

Minero, C., Pelizzetti, E., Malato, S. y Blanco, J. (1996): *Large*

*Solar Plant Photocatalytic Water Decontamination: Degradation of Atrazine*. *Solar Energy*, núm. 56 (5), págs. 411-419.

Poulios, M., Kositzi, A. y Kouras, J. (1998): *Photocatalytic decomposition of triclopyr over aqueous semiconductor suspensions*. *Photochem. Photobiol. A: Chem*, núm. 115, págs. 175-183.

Tomin, C.: *The Pesticide Manual, a World Compendium*. 1997:11. Croydon, UK, British Crop Protection Council.

## BIOGRAFÍA

### CRISTINA FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

Licenciada en Farmacia por la Universidad de Salamanca, realizó los estudios de doctorado del programa "Medio Ambiente, Recursos Naturales y Contaminación: Aspectos Químicos", impartido por el departamento de Química de la ULPGC.

Actualmente compagina su actividad laboral en el campo del asesoramiento y control higiénico-sanitario de aguas y alimentos con el desarrollo de la tesis doctoral con el grupo de investigación FEAM (Fotocatálisis y Electroquímica para Aplicaciones Medioambientales) de la ULPGC colaborando en la publicación de varios artículos de investigación.

cristina\_fdez\_rdez@yahoo.es

Patrocinador de esta investigación:

**ELÉCTRICA DE MASPALOMAS, S.A.  
(ELMASA)**