



# Evaluación de la degradación del pesticida Mertect empleando procesos avanzados de oxidación (PAO)

Joan Amir Arroyave Rojas<sup>1</sup> / Luis Fernando Garcés Giraldo<sup>2</sup>

*Evaluation of the Mertect pesticide's degradation by the use of advanced oxidation processes (AOP)*

*Avaliação da degradação do pesticida mertect empregando processos avançados de oxidação (PAO)*

## RESUMEN

**Introducción.** En la actualidad, se encuentra en desarrollo la aplicación de los procesos avanzados de oxidación (PAO), que se basan en tecnologías de destrucción de los contaminantes por medio de sustancias químicas conocidas como radicales libres hidroxilos, las cuales tienen la propiedad de ser altamente oxidantes; dichos radicales reaccionan con el contaminante y lo transforman en compuestos inocuos al ambiente; para el caso específico del pesticida Mertect, se han estudiado varios procesos avanzados de oxidación entre los cuales se encuentran: oxidación química, fotólisis, fotocatalisis heterogénea y homogénea, que buscan degradar dicho contaminante, y de esta forma disminuir los impactos negativos que este puede generar en el medioambiente. **Objetivo.** Evaluar la eficiencia en la degradación del pesticida Mertect empleando procesos avanzados de oxidación (PAO). **Materiales y métodos.** Para la realización experimental del proyecto se planteó un diseño experimental factorial 3<sup>3</sup>, para el cual se empleó un fotorreactor que consistió en una lámpara de luz ultravioleta, una cuba de vidrio para el almacenamiento de la solución del pesticida a degradar y una bomba sumergible que

---

<sup>1</sup> Ingeniero Sanitario, Especialista en Construcción Sostenible, Candidato a Magíster en Ingeniería Ambiental. Docente Facultad de Arquitectura e Ingeniería. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Investigador del grupo de investigación Ambiente y Hábitat. <sup>2</sup>Ingeniero Sanitario, Doctor of Science, Master of Science, Magíster en Ingeniería Ambiental, Especialista en Cuencas Hidrográficas, y Especialista en Ingeniería Ambiental. Director de Investigación, Corporación Universitaria Lasallista. Investigador del Grupo de Investigación GAMA.

Correspondencia: Joan Amir Arroyave Rojas, e-mail: joan.arroyave@colmayor.edu.co

Artículo recibido: 10/11/2011, Artículo aprobado: 13/12/2011

permitía la recirculación de la solución por el sistema de tratamiento; la degradación del pesticida se determinó mediante espectrofotometría ultravioleta/visible. **Resultados.** Se encontró que los procesos fotoquímicos basados en la fotocatalisis heterogénea con Dióxido de Titanio –  $TiO_2$ – y la fotocatalisis homogénea con hierro (III) presentan porcentajes de remoción significativos del pesticida Mertect superiores al 99.0% y 95.0% respectivamente, para los procesos de oxidación antes mencionado. **Conclusión.** Los procesos de oxidación avanzados son adecuados para la remoción y degradación del pesticida Mertect.

**Palabras clave:** fotodegradación, fotocatalisis, aguas residuales, pesticida, tiabendazol, Mertect.

## ABSTRACT

**Introduction.** In this moment, an application of advanced oxidation processes (AOP) is being developed. They are based on technologies for the destruction of pollutants by the use of chemical substances known as hydroxyl free radicals, which have high oxidation properties. Those radicals react with the pollutant and transform it into environmentally harmless compounds. For the specific case of Mertect pesticide several advanced oxidation processes have been studied, among which chemical oxidation, photolysis and homogeneous and heterogeneous photocatalysis can be remarked. They aim to degrade this pollutant and thus reducing the negative impacts it can bring to the environment. **Objective.** To evaluate the degradation efficiency of the Mertect pesticide by the use of advanced oxidation processes (AOP). **Materials and methods.** For the experimental part of the project, a factorial 33 experimental design was proposed. For this design it was used a photo reactor that consisted on an ultra violet light lamp, a glass container to keep the solution of the pesticide to be degraded and a submersible pump that allowed the solution to recirculate through the treatment system. The degradation of the pesticide was measured by ultra violet/visible spectrophotometry. **Results.** Photochemical processes based on heterogeneous photocatalysis with titanium dioxide –  $TiO_2$ – and homogeneous photocatalysis with iron (III) have significant removal rates of the Mertect pesticide, above 99.0% and 95.0%, respectively, for the aforementioned oxidation processes. **Conclusion.** Advanced oxidation processes are adequate for the removal and degradation of the Mertect pesticide.

**Key words:** Photodegradation, photocatalysis, waste water, pesticide, thiabendazole, Mertect.

## RESUMO

**Introdução.** Na atualidade, encontra-se em desenvolvimento a aplicação das processos avançados de oxidação (PAO), que se baseiam em tecnologias de destruição dos contaminantes por meio de substâncias químicas conhecidas como radicais livres hidroxilos, as quais têm a propriedade de ser altamente oxidantes; ditos radicais reagem com o contaminante e o transformam em compostos inócuos ao ambiente; para o caso específico do pesticida Mertect, estudaram-se vários processos avançados de oxidação entre os quais se encontram: oxidação química, fotólise, foto-catálises heterogénea e homogénea, que procuram degradar dito contaminante, e desta forma diminuir os impactos negativos que este pode gerar no meio ambiente. **Objetivo.** Avaliar a eficiência na degradação do pesticida Mertect empregando processos avançados de oxidação (PAO). **Materiais e métodos.** Para a realização experimental do projeto se propôs um desenho experimental fatorial 33, para o qual se empregou um fotoreactor que consistiu num lustre de luz ultravioleta, uma cuba de vidro para o armazenamento da solução do pesticida a degradar e uma bomba submersível que permitia a recirculação da solução pelo sistema de tratamento; a degradação do pesticida se determinou mediante espectrofotometria ultravioleta/visível. **Resultados.** Encontrou-se que os processos fotoquímicos baseados na fotocatalises heterogénea com Dióxido de Titânio –  $TiO_2$ – e a fotocatalises homogénea com ferro (III) obtêm percentagens de remoção significativos do pesticida Mertect superiores ao 99.0% e 95.0% respectivamente, para os processos de oxidação antes mencionado. **Conclusão.** Os processos de oxidação avançados são adequados para a remoção e degradação do pesticida Mertect.

**Palavras importantes:** fotodegradação, fotocatalises, águas residuais, pesticida, tiabendazol, Mertect.

## INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de la sociedad para dar solución a aguas contaminadas de diversos orígenes, materializada en regulaciones cada vez más estrictas, ha impulsado, en la última década, al desarrollo de nuevas tecnologías de purificación<sup>1,2</sup>.

En la práctica, la aplicación de los métodos de tratamiento debe tener en cuenta fundamentalmente la naturaleza y las propiedades fisicoquímicas de las aguas o efluentes a tratar<sup>3</sup>. Las aguas contaminadas por la actividad humana pueden, en general, ser procesadas eficientemente por plantas de tratamiento biológico, por adsorción con carbón activado u otros adsorbentes, o por tratamientos químicos convencionales (oxidación térmica, cloración, ozonización, permanganato de potasio, etc.). Sin embargo, en algunos casos estos procedimientos resultan inadecuados para alcanzar el grado de pureza requerido por la legislación o por el uso ulterior del efluente tratado. En estos casos y cada vez más crecientemente, se está expandiendo el uso de las llamadas Tecnologías o Procesos Avanzados de Oxidación (TAO, PAO)<sup>1,3</sup>. La mayoría de las TAO pueden aplicarse a la remediación y destoxificación de aguas especiales<sup>3-6</sup>, generalmente en pequeña o mediana escala. Los métodos pueden usarse solos o combinados entre ellos o con métodos convencionales, y pueden ser aplicados también a contaminantes de aire y suelos; permiten incluso la desinfección por inactivación de bacterias y virus.

Las TAO se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes, que involucran la generación y uso de especies transitorias poderosas, principalmente el radical hidroxilo ( $\text{HO}\cdot$ ). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) o por otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Algunas TAO, como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas recurren, además, a reductores químicos que permiten realizar transformaciones en contaminantes tóxicos poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados<sup>1-3,5,7-21</sup>.

El proceso de destoxificación mediante fotocatalisis consiste en la utilización de la radiación ultravioleta la cual es muy energética; dicha radiación activa un semiconductor, como el dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) o el hierro (III)<sup>3,4,7-21</sup> para provocar una serie de reacciones de reducción y oxidación, en las que se forma el radical libre hidroxilo que es la especie oxidante primaria formada por la descomposición del peróxido de hidrógeno, catalizada por la activación del  $\text{TiO}_2$  o el  $\text{Fe}^{3+}$ . El radical libre hidroxilo es el segundo agente oxidante después del flúor ( $\text{HO}\cdot$ ,  $E_0 = -2,8\text{V}$  vs. flúor,  $E_0 = -3,0\text{V}$ )<sup>1,3-21</sup>, y es capaz de realizar oxidaciones no específicas de algunos compuestos orgánicos. Cuando se genera una concentración suficiente de radical libre hidroxilo y otros radicales, las reacciones de oxidación de los compuestos orgánicos pueden llegar hasta una total mineralización<sup>9</sup>.

Para el caso del presente estudio se evaluaron diferentes tecnologías avanzadas de oxidación buscando establecer las mejores combinaciones de los factores experimentales para la degradación del tiabendazol (Mertect 20 SL)<sup>7,8,15-20</sup>, que es un fungicida empleado ampliamente en la agroindustria bananera para el control del complejo de hongos que genera la pudrición de la corona, del cuello y de los dedos del banano y el plátano, que se produce principalmente por la presencia de los hongos *Fusarium spp*, *Colletotrichum sp*, *Verticillium sp*<sup>22-28</sup>; por lo tanto, se encuentra dicho contaminante en los vertimientos de aguas residuales generadas en la agroindustria bananera<sup>22-28</sup>.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo experimental se emplearon dos de las tecnologías de oxidación avanzada (fotocatalisis heterogénea ( $\text{TiO}_2$ ) y homogénea ( $\text{Fe}^{3+}$ ), basada en la utilización de una lámpara de luz ultravioleta, la cual posee una cámara donde se hace pasar el afluente del agua residual; allí se realizó la irradiación del agua contaminada con los rayos de luz ultravioleta; se contó con una cuba de vidrio que sirvió de reservorio para el almacenamiento de la muestra de agua, además de una bomba sumergible para

realizar la recirculación del agua residual por la lámpara UV. El sistema de bombeo se trabajó a un caudal de 0.05 L/s, para la fotocatalisis homogénea y heterogénea; se trabajó con un pH de la solución de 3,0 y 5,0, respectivamente. Se utilizó una concentración inicial de 250 mg/L del pesticida Mertect, concentración típica de las descargas de los desechos líquidos de la industria bananera. La degradación de este se determinó mediante el empleo de la espectrofotometría UV/Visible.

El diseño experimental utilizado en la investigación es un diseño factorial de tres factores (tipo de catalizador, concentración de catalizadores y agente oxidante – Peróxido de hidrógeno), completamente aleatorizado. Los niveles de cada uno de los factores se encuentran consignados en la tabla 1; adicionalmente, se hicieron tres réplicas por corrida experimental; al final de los ensayos se determinó la remoción del pesticida mediante el empleo de la espectrofotometría UV/Visible a una longitud de onda de 425 nm.

El modelo estadístico utilizado para el análisis de la información fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \chi_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\chi)_{ik} + (\beta\chi)_{jk} + (\alpha\beta\chi)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

En donde,

$\mu$  = Es el porcentaje medio de remoción o degradación del pesticida mertec en el modelo.

$\alpha_i$  = Es el efecto del i-ésimo nivel del tipo de catalizador (fotolisis, dióxido de titanio, hierro).

$\beta_j$  = Es el efecto del j-ésimo nivel del factor concentración de catalizador (dióxido de titanio; i = 0, 50 y 100 mg/L – hierro (III); i = 0, 25 y 50 mg/L).

$\chi_k$  = Es el efecto del k-ésimo nivel del factor concentración de agente oxidante – peróxido de hidrógeno; j = 0, 1 y 2 %v/v.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Es el efecto de la interacción entre los niveles i y j de los factores tipo de catalizador y la concentración de catalizador.

$(\alpha\chi)_{ik}$  = Es el efecto de la interacción entre los niveles i y k de los factores tipo de catalizador y la concentración de agente oxidante – peróxido de hidrógeno.

$(\beta\chi)_{jk}$  = Es el efecto de la interacción entre los niveles j y k de los factores concentración de catalizador y la concentración de agente oxidante – peróxido de hidrógeno.

$(\alpha\beta\chi)_{ijk}$  = Es el efecto de la interacción triple entre los niveles i, j y k de los factores tipo de catalizador, concentración de catalizador y la concentración de agente oxidante – peróxido de hidrógeno.

$\varepsilon_{ijkl}$  = Es el l-ésimo termino de error aleatorio.

## RESULTADOS

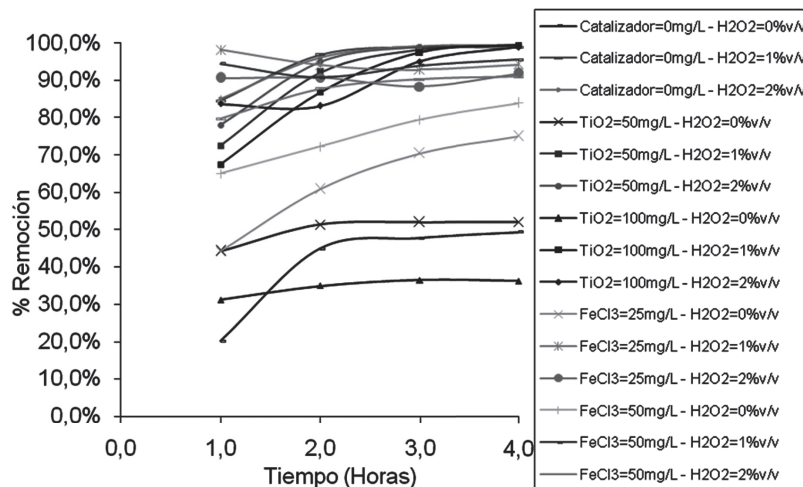
En la tabla 1 y la gráfica 1 se muestran de forma comparativa los porcentajes de degradación del Mertect de acuerdo con las combinaciones que presenta el diseño experimental donde se variaron el tipo de catalizador; las concentraciones catalizador (dióxido de titanio y del hierro (III)) como del agente oxidante (peróxido de hidrógeno). De esta forma se puede identificar que el pesticida Mertect es un contaminante medianamente fotoactivo. En esta investigación se alcanzaron remociones del 49,3% del pesticida.

Tabla I. Combinaciones experimentales de factores y porcentajes de remoción<sup>6,7</sup>

TAO	Concentración Catalizador (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (%v/v)	% Remoción
Fotolisis	0,0	0,0	49,30%
Oxidación Química	0,0	1,0	98,80%
	0,0	2,0	98,90%
Fotocatálisis Heterogénea (TiO <sub>2</sub> )	50,0	0,0	52,10%
	50,0	1,0	99,50%
	50,0	2,0	99,40%
	100,0	0,0	36,20%
	100,0	1,0	99,50%
	100,0	2,0	99,00%
Fotocatálisis Homogénea (Hierro (III))	25,0	0,0	75,00%
	25,0	1,0	94,20%
	25,0	2,0	93,10%
	50,0	0,0	83,90%
	50,0	1,0	95,60%
	50,0	2,0	91,00%

Fuente: elaboración propia

Se observó que el pesticida Mertect obtiene porcentajes de remoción altos para las combinaciones experimentales que representan oxidaciones químicas, mediante el empleo de agentes oxidantes, como es el caso de peróxido de hidrógeno en combinaciones de 0 mg/L de catalizador, y para las concentraciones de 1%v/v y 2%v/v de peróxido de hidrógeno, para las cuales se obtienen remociones del 98,80 y 98,90%, respectivamente.



Gráfica I. Fotodegradación del Pesticida Mertect mediante Fotocatálisis

Fuente: elaboración propia

En la gráfica 1, también se observa que los procesos de degradación fotoquímicos, donde se combinaron diferentes concentraciones de catalizadores y agente oxidante, se obtuvieron altos porcentajes de remoción del pesticida Mertect, por lo cual se puede concluir que los procesos fotoquímicos son adecuados para la remoción de este. El mayor porcentaje para el proceso de fotocatalisis homogénea se presenta para la combinación de 50 mg/L de hierro (III) y una concentración de 1 %v/v de peróxido de hidrógeno con una remoción del 95,6%, mientras que para el proceso de la fotocatalisis heterogénea se presenta en las combinaciones experimentales de 50 mg/L de dióxido de titanio y una concentración de 1 %v/v de peróxido de hidrógeno, y 100 mg/L de dióxido de titanio y una concentración de 1 %v/v de peróxido de hidrógeno, con una remoción del 99,5%.

De esta forma, se presenta que la fotocatalisis heterogénea alcanza porcentajes de remoción del pesticida Mertect más elevados que la fotocatalisis homogénea; sin embargo, a lo largo del desarrollo experimental se obtuvieron mejores porcentajes de remoción para las primeras horas de experimentación en el segundo proceso, lo cual podría indicar que se podría plantear la realización de una combinación entre estos dos procesos de oxidación avanzada en la cual se comience con un proceso homogéneo como lo es la fotofenton y se culmine con un proceso heterogéneo con dióxido de titanio.

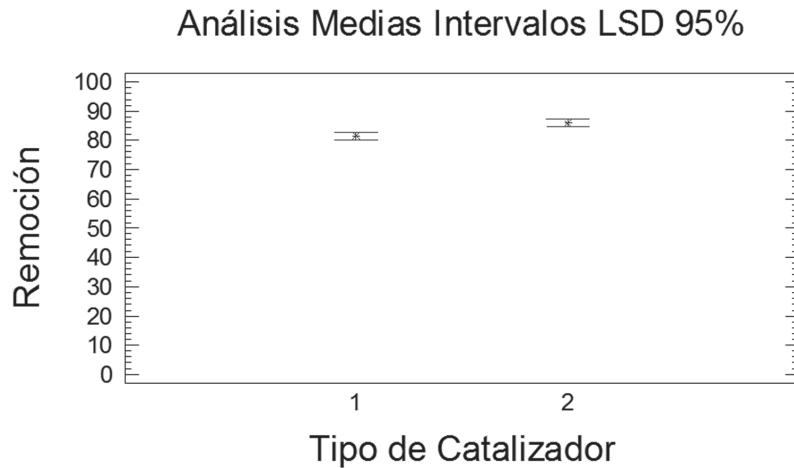
El análisis estadístico de los datos experimentales, empleando el ANOVA, encuentra que para los factores tipo de agente catalizador, el agente oxidante (peróxido de hidrógeno), las interacciones dobles que existen entre los tres factores y la interacción triple entre los factores experimentales poseen una variación significativa en la variable respuesta, es decir, en el porcentaje de remoción del pesticida Mertect, el modelo es significativo estadísticamente debido a que el error máximo permisible o aceptado por el ANOVA para el modelo estadístico es del 5%. Los resultados obtenidos del modelo empleado sirven para explicar la degradación del pesticida Mertect de acuerdo con los factores definidos, debido a que el valor de p es inferior a 0.05 (tabla 2).

**Tabla 2. Análisis Estadístico ANOVA de los datos experimentales**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio al cuadrado	Coefficiente F	Valor de p
A:Tipo de catalizador	1	260,48	260,48	11,93	0,0014
B:Concentración de catalizador	2	48,06	24,03	1,10	0,3435
C:Agente oxidante	2	18280,70	9140,33	418,80	0,0000
Interacciones					
AB	2	392,70	196,35	9,00	0,0007
AC	2	2470,89	1235,45	56,61	0,0000
BC	4	759,43	189,86	8,70	0,0001
ABC	4	1463,35	365,84	16,76	0,0000
Residuos	36	785,70	21,83		
Total (Corregido)	53	24461,30			

Fuente: elaboración propia

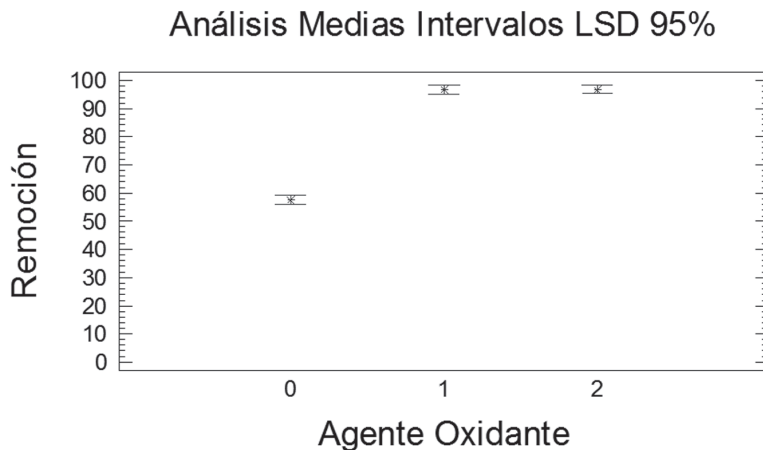
La gráfica 2 muestra el método utilizado para identificar las diferencias significativas de Fisher (LSD), en donde se tiene que para la variación del tipo de catalizador empleado en la fotodegradación del pesticida Mertect, entre el (1) dióxido de titanio y (2) el hierro (III) se muestra una diferencia estadísticamente significativa con un nivel de confianza 95,0%.



**Gráfica 2. Análisis de medias para intervalos de confianza 95% LSD para el tipo de catalizador. (1) dióxido de titanio, (2) hierro (III)**

Fuente: elaboración propia

De esta misma forma, en la gráfica 3, se observa que para los intervalos de los niveles del agente oxidante—peróxido de hidrógeno con un nivel de confianza del 95%, las variaciones de las medias entre 0–1 %v/v y 0–2 %v/v de peróxido de hidrógeno, poseen diferencias significativas entre los niveles experimentales, mientras que para la variación entre 1 y 2 %v/v de peróxido no se presenta una variación significativa entre estos dos niveles.



**Gráfica 3. Análisis de medias para intervalos de confianza 95% LSD para el agente oxidante (peróxido de hidrógeno)**

Fuente: elaboración propia

Se identifica la mediana fotoactividad del pesticida, y se evidencia que el empleo de peróxido de hidrógeno y agentes catalizadores como el dióxido de titanio y el hierro (III) favorecen las reacciones de degradación del mismo; esto último se comprueba de acuerdo con el análisis estadístico del ANOVA,

en donde se encuentran diferencias significativas entre los diferentes niveles de los factores y entre ellos mismos.

De acuerdo con los resultados obtenidos durante este trabajo se encontró que el pesticida Mertect se puede eliminar eficientemente por oxidación química, mediante el empleo de peróxido de hidrógeno, para el cual se alcanzaron porcentajes de remoción superiores al 98% del pesticida.

Por otro lado, los procesos fotoquímicos mediante el empleo de la fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), lograron los mayores porcentajes de remoción para el pesticida Mertect para la combinaciones experimentales de 50 mg/L de dióxido de titanio y una concentración de 1 %v/v de peróxido de hidrógeno, y 100 mg/L de dióxido de titanio y una concentración de 1 %v/v de peróxido de hidrógeno, con una remoción del 99,5%. Mientras que para la fotocatalisis homogénea se alcanzan porcentajes de remoción elevados, obteniéndose el mejor resultado para la combinación experimental de 50 mg/L de hierro (III) y una concentración de 1 %v/v de peróxido de hidrógeno con una remoción del 95,6%<sup>6,7</sup>.

Se observa que la fotocatalisis heterogénea y homogénea empleando catalizadores ambientalmente inocuos, las cuales hacen parte de las tecnologías avanzadas de oxidación (TAO), son procesos eficientes para la remoción y degradación de pesticida Mertect; estas podrían contribuir al mejoramiento de los desequilibrios ambientales que generan estos pesticidas en el ambiente. De esta forma, se pretende definir un proceso válido y eficaz para el tratamiento de los vertimientos líquidos que contengan mezclas del pesticida Mertect, el cual es ampliamente utilizado en las regiones de producción y explotación bananera, en donde se emplea para el control de las enfermedades de la corona, del cuello y de los dedos del banano y el plátano. Sin lugar a dudas, contribuye con el mejoramiento de la calidad de vida de la población, a la competitividad del sector de producción y exploración bananera, y a la ampliación del conocimiento tecnológico e incremento de la oferta tecnológica de nuestro país en el campo del tratamiento de aguas residuales y residuos tóxicos.

## CONCLUSIONES

Se observa cómo los procesos avanzados de oxidación, en este caso, la reacción de fotofenton y la fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio, son tecnologías apropiadas para lograr la degradación de compuestos recalcitrantes y persistentes como es el caso del pesticida Mertect, y de esta forma, alcanzar la disminución de los impactos negativos que éste genera en las regiones donde se emplea como pesticida para el control de las enfermedades de la corona, del cuello y de los dedos del banano y el plátano.

## REFERENCIAS

1. CYTED. Red Temática VIII - G. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Cooperación Iberoamericana. Eliminación de Contaminantes por Fotocatalisis Heterogénea. Brasil: CYTED, 2001. 316 p.
2. ARROYAVE ROJAS, Joan A. y CORREA OCHOA, A.A. Fotodegradación de Malatión usando colector solar. Tesis Pregrado Ingeniería Sanitaria. Universidad de Antioquia, 2001. 104 p.
3. ARROYAVE ROJAS, J.A. y GARCÉS G., L. F. Tecnologías Ambientalmente Sostenibles. En: Revista de Producción Más Limpia. Julio-diciembre 2006. Vol. 1, No. 2. p. 78-86.
4. GARCÉS G., L.; et al. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: Revista Lasallista de Investigación. Junio 2004. Vol. 1, No. 1. p. 83-92.
5. GARCÉS G., L.; et al. Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero-junio 2005. Vol. 2, No. 1. p. 15-18.



6. GARCÉS G., L. Cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 en aguas. En: Revista Lasallista de Investigación. Julio-diciembre 2005. Vol. 2, No. 2. p. 21-25.
7. ARROYAVE ROJAS, J.A.; *et al.* Fotodegradación del Pesticida Mertect empleando Fotofenton con Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Junio-diciembre 2006. Vol. 3, No. 2. p. 19-24.
8. ARROYAVE ROJAS, J.A.; *et al.* Fotodegradación de las aguas residuales con pesticida Mertect en la industria bananera empleando Fotocatálisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero-junio 2007. Vol. 4, No. 1. p. 7-13.
9. ARANGO RUÍZ, A.; ARROYAVE R., J. A. y GARCÉS G., L. F. Mineralización del colorante Tartrazina mediante un proceso de oxidación avanzada. En: Revista Lasallista de Investigación. Julio-diciembre 2009. Vol. 6, No. 2. p. 27-34.
10. MEJÍA T., J.; ARROYAVE R., J.A. y GARCÉS G., L. F. Empleo del reactivo de fenton para la degradación del colorante tartrazina. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero-junio 2009. Vol. 6, No. 1. p. 27-34.
11. AGUDELO L., C.; *et al.* Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatalisis heterogénea empleando lámpara de luz ultravioleta. En: Revista de Producción Más Limpia. Julio-diciembre 2008. Vol. 3, No. 2. p. 21-32.
12. MARTÍNEZ R., C.A.; *et al.* Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatalisis homogénea empleando lámpara de luz ultravioleta. En: Revista de Producción Más Limpia. Enero-junio 2008. Vol. 3, No. 1. p. 25-35.
13. Arroyave R., J.A.; *et al.* Photo degradation of the tartrazine dye by means of photofenton, using an ultra violet light lamp. En: Revista Lasallista de Investigación. Julio-diciembre 2008. Vol. 5, No. 2. p. 6-12.
14. CRUZ C., A. F. ARROYAVE R., J.A., GARCÉS G., L. F. Fotocatálisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: investigaciones y aplicaciones. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista, 2007. 174 p.
15. \_\_\_\_\_. Degradación de las aguas residuales de la industria bananera empleando fotocatalisis con dióxido de titanio y lámpara de luz ultravioleta. En: Fotocatálisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: investigaciones y aplicaciones. Cap. 8. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista, 2007. 174 p.
16. \_\_\_\_\_. Fotodegradación del pesticida Mertect empleando fotofenton con lámpara de luz ultravioleta. En: Fotocatálisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: investigaciones y aplicaciones, Cap. 7. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista, 2007. 174 p.
17. \_\_\_\_\_. Avances en Investigación Formativa 2007. Capítulo Trabajos de Investigación Terminados, Ciencias Agrarias: Fotodegradación del Pesticida Mertect empleando fotofenton con Lámpara de Luz Ultravioleta. 2ª ed. Medellín: Redcolsi, 2007. 156 p.
18. \_\_\_\_\_. Avances en Investigación Formativa 2007. Capítulo Trabajos de Investigación Terminados, Ciencias Agrarias: Degradación de las aguas residuales con pesticida Mertect en la industria bananera empleando fotocatalisis con dióxido de titanio y lámpara de luz ultravioleta. 2ª ed. Medellín: Redcolsi, 2007. 156 p.
19. \_\_\_\_\_. Avances en Investigación Formativa 2006. Capítulo Trabajos de Investigación en Curso, Medio Ambiente: Fotodegradación del Pesticida Mertect empleando Hierro (III) y Lámpara Ultravioleta. Medellín: Redcolsi, 2006. 153 p.

20. \_\_\_\_\_. Libro Avances en Investigación Formativa 2008. Capítulo Trabajos de Investigación Terminados, Ciencias Agrarias: Fotodegradación del pesticida Mertect empleando fotofenton con lámpara de luz ultravioleta. Medellín: Redcolsi, 2010. 259 p.
21. \_\_\_\_\_. Libro Avances en Investigación Formativa 2008. Capítulo Trabajos de Investigación Terminados, Ciencias Agrarias: Evaluación de la degradación del colorante tartrazina empleando fotocatalisis homogénea con hierro (III) y lámpara de luz ultravioleta. Medellín: Redcolsi, 2010. 259 p.
22. SYGENTA CROP. PROTECTION AG. Ficha técnica del Mertect 20 SL. Edición local comunidad andina. Noviembre 26 de 2002.
23. VEGA GUTIÉRREZ, Jesús; *et al.* Larva migratoria cutánea. Tratamiento tópico con tiabendazol al 6,25%. Servicio de Dermatología. Hospital Clínico y Facultad de Medicina de Valladolid, Casos Breves. Valladolid, España: Facultad de Medicina de Valladolid, 2001. p. 171 – 173.
24. MUELA POMEDA, Susana; *et al.* Efecto de codisolventes y dispersiones sólidas de Polivinilpirrolidona K-30 en la solubilidad del Tiabendazol. *En:* VI congreso SEFIG y 3ª jornadas TF. Departamento de farmacia y tecnología farmacéutica, Universidad de Alcalá, 2003. p. 85 – 87.
25. TAUBE, J.; *et al.* Pesticide residues in biological waste. *En:* Chemosphere. 2002. Vol. 49. p. 1357–1365.
26. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, FACULTAD NACIONAL DE SALUD PÚBLICA. Estudio ambiental y de salud por uso de agroquímicos en Urabá – Eje Bananero. Medellín: U. de A., 1994. 50 p.
27. BANATURA. Manejo de aguas. *En:* Revista Programa de gestión social y ambiental del sector bananero colombiano. Medellín. 2003. p. 42 – 45.
28. BERMÚDEZ MONTOYA, L.; *et al.* Tratamiento para el efluente del curado de coronas. *En:* Revista de Mejores Prácticas. Medellín, 2004.