

Fotodegradación de las aguas residuales con pesticida Mertect en la industria bananera empleando Fotocatálisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta

Joan Amir Arroyave Rojas¹ / Luís Fernando Garcés Giraldo²
Andrés Felipe Cruz Castellanos³

Línea de Investigación: Tratamiento de Aguas.
Semillero SIGMA y Grupo de Investigación GAMA.

Degradation of waste waters from the banana industry by the use of photocatalysis with titanium dioxide and ultra violet light lamp

Resumen

Introducción. Los pesticidas son compuestos químicos sintéticos que poseen la característica de ser persistentes, lo cual favorece la contaminación de las aguas, la incorporación a suelos, pastizales, vegetales y animales comestibles, los que al ser consumidos actúan como transportadores de los pesticidas facilitando su acumulación en los organismos vivos en todos los eslabones de la cadena trófica; es por esta razón que reviste importancia los procesos de degradación y descontaminación de este tipo de contaminantes. **Objetivo.** Evaluar la fotodegradación del pesticida Mertect empleando fotocatálisis con dióxido de titanio y lámpara de luz ultravioleta. **Materiales y métodos.** En la experimentación se utilizó una lámpara de luz ultravioleta, una cuba de vidrio para el almacenamiento de la solución del pesticida a degradar y una bomba que permitía la recirculación de la solución por el sistema de tratamiento; la degradación del pesticida se determinó mediante espectrofotometría ultravioleta/visible. Para el análisis de la información se empleó el diseño experimental factorial 2³, completamente balanceado. **Resultados.** El porcentaje de remoción más alto fue de 99,5%; este se obtuvo para dos condiciones experimentales: 50 mg/L de dióxido de titanio y 1

%v/v de peróxido de hidrógeno, y 100 mg/L de dióxido de titanio y 1 %v/v de peróxido de hidrógeno. **Conclusión.** Los procesos de oxidación avanzados son adecuados para la remoción y eliminación del pesticida Mertect en las aguas residuales de la industria bananera.

Palabras Clave: Fotodegradación. Fotocatálisis. Aguas Residuales. Pesticida. Mertect. Tiabendazol. Industria Bananera.

Abstract

Introduction. Pesticides are synthetic chemical compounds with the characteristic of being persistent, thus helping to contaminate water and incorporating pollutants to the soils and to edible vegetables and animals that, when eaten, act as pesticide transporters, accumulating that pesticide in living organisms from all the links of the trophic chain. This is the reason for the great importance of the degradation and decontamination processes of this kind of pollutants. **Objective.** To evaluate the photodegradation of the Mertect pesticide by the use of photocatalysis with titanium dioxide and ultra violet light. **Materials and methods.** In the experiment, an ultra violet light lamp, a glass bucket to store the

¹ Ingeniero Sanitario, Candidato a Magíster en Ingeniería Ambiental. Jefe del Programa de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria Lasallista. Coordinador Semillero de Investigación en Gestión y Medio Ambiente – SIGMA. Grupo de Investigación GAMA./ ² Ingeniero Sanitario, Magíster en Ingeniería Ambiental, Especialista en Cuencas Hidrográficas, y Especialista en Ingeniería Ambiental. Decano Facultad de Ingenierías, Corporación Universitaria Lasallista. Director Grupo de Investigación GAMA./ ³ Estudiante de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria Lasallista. Semillero de Investigación en Gestión y Medio Ambiente – SIGMA. Grupo de Investigación GAMA.

Correspondencia: Joan Amir Arroyave Rojas. e-mail: joarroyave@lasallista.edu.co

Fecha de recibo: 05/02/2007; fecha de aprobación: 12/06 /2007

pesticide to be degraded and a bomb to recirculate the solution through the treatment system were used. The degradation of the pesticide was determined by visible/ultraviolet spectrophotometry. For the information analysis the 2³ experimental factorial designs was used, under complete balance. **Results.** The highest removal percentage was 99.5%, obtained for two experimental conditions: 50 mg /L of titanium dioxide and 1% v/v of hydrogen

peroxide, and 100mg/L of titanium dioxide and 1%v/v of hydrogen peroxide. **Conclusions.** Advanced oxidation processes are adequate to remove and eliminate the Mertect pesticide in the waste waters from the banana industry.

Key Words: Photodegradation. Photocatalysis. Wastewater. Pesticida. Mertect. Tiabendazol. Banana Industries.

Introducción

Treinta años han transcurrido desde que la “Revolución Verde” introdujo en los países en desarrollo variedades de productos de alto rendimiento, empleo de sistemas de riego, pesticidas y fertilizantes para incrementar la productividad.

Los pesticidas o plaguicidas son sustancias químicas destinadas a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de plagas¹ en su sentido más amplio.

Considerando plaga a aquellos organismos nocivos que transmiten enfermedades, compiten por alimentos y/o dañan bienes económicos y culturales. El uso de pesticidas, que se masificó a partir de la segunda guerra mundial, está estrechamente vinculado con los cambios introducidos en los modelos de producción y cultivo, que duplicaron la productividad de la agricultura respecto al resto de la economía. Los plaguicidas por sí solos son responsables de al menos el 30% del aumento de la producción.

Dentro de las sustancias contaminantes, los pesticidas presentan un amplio uso a escala mundial. Los pesticidas ingresan a las aguas naturales directamente durante su aplicación, a través de la escorrentía e infiltración de los suelos agrícolas, de los efluentes industriales, por medio del polvo y del agua lluvia¹⁻³. El problema no reside sólo en el deterioro del ecosistema terrestre o acuático, sino en las consecuencias que se derivan por la concentración cada vez más elevada que se va produciendo a lo largo de la cadena alimenticia con efectos nocivos graves en los niveles tróficos más elevados⁴.

La persistencia (resistencia química, física y biológica a la degradación) de los pesticidas

favorece la contaminación de las aguas, la incorporación a suelos, pastizales, vegetales y animales comestibles, los que al ser consumidos actúan como transportadores de los pesticidas facilitando su acumulación en los organismos vivos. Así mismo, mediante los residuos y desechos producidos, los plaguicidas o sus productos de degradación vuelven al agua, al suelo, a la flora y fauna; provocando la pérdida de biodiversidad y la degradación de todos los recursos naturales^{1,4}.

En Colombia, se utilizan indiscriminadamente y sin control grandes cantidades de agroquímicos para mejorar la productividad de los suelos y controlar las plagas.

En nuestro país, como en el resto del mundo, no se puede concebir una agricultura sin plaguicidas, pues sin ellos nuestras cosechas disminuirían en un 50%. El país consume 40.000 toneladas de plaguicidas por año, a través de 1.500 formulaciones registradas en el Ministerio de Salud, siendo el segundo consumidor en Suramérica, después del Brasil¹.

La dependencia cada vez mayor de los insumos químicos, el uso de pesticidas tóxicos⁵ y peligrosos, la escasez de tierras adicionales para el regadío, a la vez que las pérdidas de suelos cultivables por la salinidad y el anegamiento, hacen necesaria la búsqueda de cultivos más resistentes y productivos, además de modos de protección, mejoramiento de los suelos y conservación del recurso agua; es en éste ítem, donde los procesos avanzados de oxidación retoman importancia, para disminuir y eliminar los efectos negativos de los pesticidas en el ambiente.

El tiabendazol (Mertect 20 SL)⁶, es un fungicida para el control del complejo de hongos de la

putrición de la corona, del cuello y de los dedos del banano y plátano, el cual se produce principalmente por la presencia de los hongos *Fusarium spp*, *Colletotrichum sp*, *Verticillium sp*⁷⁻⁹; por tal razón, se emplea un fungicida altamente sistémico con propiedades preventivas y curativas, el cual actúa inhibiendo la división celular de los patógenos y de esta forma evitando la generación del deterioro de la corona de la planta de plátano o banano. De esta forma, el Mertect 20 SL, es un pesticida empleado para regular el crecimiento de la corona del banano, y se encuentra en los vertimientos de aguas residuales generadas en la industria bananera^{7,10-13}.

En la actualidad, se encuentra en desarrollo la aplicación de las tecnologías de procesos avanzados de oxidación (POAs)^{9-11,13-15}, las cuales se basan en procesos 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.

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 (TiO₂) para provocar una serie de reacciones primarias de reducción y oxidación^{1,9,10,16,17}, 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 dióxido de titanio (TiO₂). El radical libre hidroxilo es el segundo agente oxidante después del flúor (HO·, E°=-2,8 V vs. flúor, E°=-3,0 V), 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^{1,9,10,11,17}.

Materiales y Métodos

Se empleó una lámpara de luz ultravioleta, la cual posee una cámara o camisote por donde se hace pasar el afluente del agua residual, allí se realiza la irradiación del agua contaminada con los ra-

ys de luz ultravioleta, empleando para ello una lámpara de mercurio. El sistema de fotorreactor lo complementaba una cuba de vidrio que servía de reservorio para el almacenamiento de la muestra problema; además de una bomba sumergible para ejecutar la recirculación del agua residual por la lámpara de luz ultravioleta. Este sistema se trabajó con un caudal de 0,05 L/s, y con un pH de la solución de 5,0. 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 éste, se determinó mediante el empleo de la espectrofotometría UV/Visible después de cuatro horas de experimentación.

Se adicionó la concentración de catalizador (dióxido de titanio) y agente oxidante (peróxido de hidrógeno) correspondiente a la combinación que se consigna en la Tabla 1.

Tabla 1 Combinaciones Experimentales de TiO₂, H₂O₂ y porcentajes de remoción obtenidos.

TiO ₂ (mg/L)	H ₂ O ₂ (%v/v)	% Remoción
0	0	49,3%
0	1	99,1%
0	2	99,0%
50	0	52,1%
50	1	99,5%
50	2	99,4%
100	0	36,2%
100	1	99,5%
100	2	99,0%

Resultados

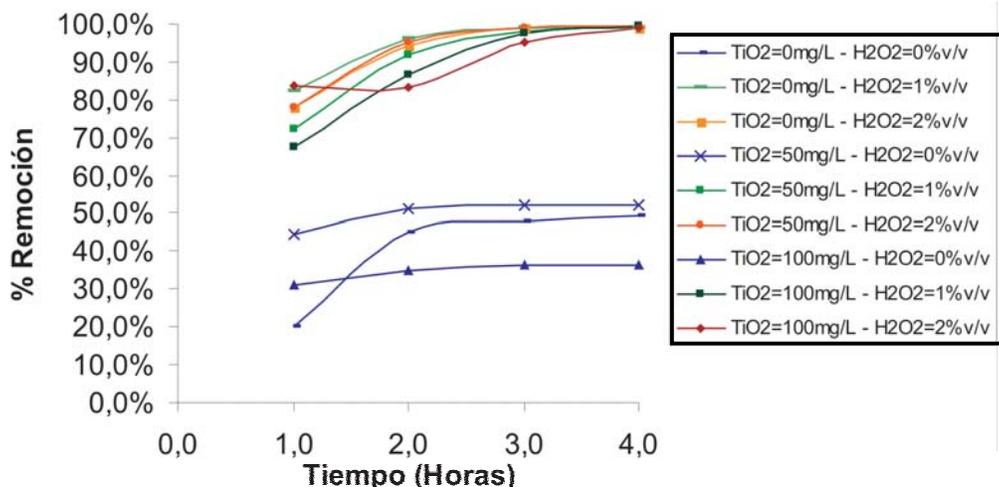
En la gráfica 1 se muestran de forma comparativa los resultados de los ensayos descritos arriba.

Los resultados obtenidos para la fotólisis (en ausencia de dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno) alcanzó una remoción del 49,3% del pesticida; lo que indicó que el pesticida es medianamente fotoactivo.

Se obtuvieron porcentajes de remoción altos para los experimentos donde se utilizó el agente

oxidante (peróxido de hidrógeno) con concentraciones de 1 y 2 %v/v y en ausencia de dióxido de

titanio (TiO_2), estos fueron 99,1% y 99,0% respectivamente.



Gráfica 1. Fotodegradación del pesticida Mertect mediante fotocatalisis empleando dióxido de titanio

También se observaron en los experimentos donde se combinó diferentes concentraciones de catalizador (50 y 100 mg/L de dióxido de titanio) y agente oxidante (1 y 2% v/v), altos porcentajes de remoción del pesticida Mertect; por lo cual se puede definir que los procesos fotoquímicos son adecuados para la su remoción.

El mayor porcentaje de remoción para el pesticida Mertect se presenta para dos combinaciones experimentales, las cuales corresponden a 50 mg/L de dióxido de titanio y 1 %v/v de peróxido de hidrógeno; 100 mg/L de dióxido de titanio y 1 %v/v de peróxido de hidrógeno, con una remoción del 99,5%.

De acuerdo con los resultados de degradación presentados en la tabla 1 en todos los ensayos donde se utilizó peróxido de hidrógeno el porcentaje de degradación superó el 99% de remoción; por lo tanto, para un futuro tratamiento a escala real se podría utilizar alguna de estas combinaciones.

Por otro lado, se observó que al prolongar el tiempo de exposición e irradiación del pesticida Mertect se incrementa el porcentaje de remoción del mismo, debido al periodo de tiempo en el cual se desarrollan las reacciones de oxidación y reducción de compuestos en los procesos de oxidación avanzada.

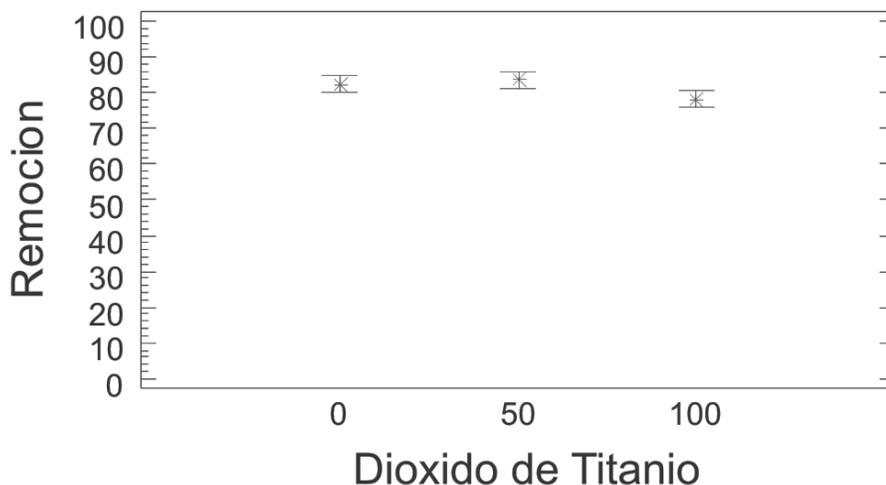
El análisis estadístico de los datos experimentales, empleando el ANOVA, encuentra que el agente oxidante (peróxido de hidrógeno), y la interacción doble que existen entre los dos factores experimentales (TiO_2 y H_2O_2), poseen una variación significativa en la variable respuesta, es decir, en el porcentaje 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 en el modelo empleado, sirven para explicar la degradación del pesticida Mertect de acuerdo a los factores definidos, debido a que el valor de probabilidad 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	Coficiente F	Valor de p
A:Dióxido de Titanio	2	148,1	74,1	3,27	0,0617
B:Peróxido de Hidrógeno	2	17095,3	8547,7	376,78	<0,001
Interacción AB	4	285,2	71,3	3,14	0,0400
Residuos	18	408,3	22,7		
Total (Corregido)	26	17937,1			

La gráfica 2 muestra el método utilizado para identificar las diferencias significativas de Fisher (LSD), en donde se tiene que para la interrelación entre el catalizador dióxido de titanio (TiO_2), presentando una diferencia significativa entre los niveles experimentales de 50 mg/L y de 100 mg/L de

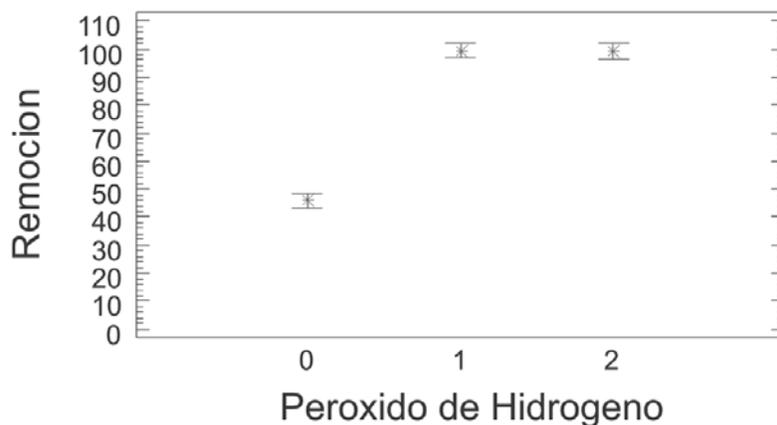
TiO_2 . Por lo tanto, se muestran unas diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95,0%; mientras que para la variación entre 0 – 50 mg/L de TiO_2 y 0 – 100 mg/L de TiO_2 , no se presenta una variación significativa entre los dos niveles.



Gráfica 2. Medias e Intervalos de Confianza 95% LSD para el Dióxido de Titanio

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 – 2 %v/v de peróxido no se presenta una variación significativa entre los dos niveles.



Gráfica 3. Medias e Intervalos de Confianza 95% LSD para el Peróxido de Hidrógeno

Discusión

En este estudio 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 del 99% del pesticida.

Se identifica la mediana fotoactividad del pesticida, y se evidencia que el empleo de peróxido de hidrógeno y el dióxido de titanio favorecen las reacciones de degradación del mismo; esto último se comprueba de acuerdo al análisis estadístico del ANOVA, en donde se encuentran diferencias significativas entre los diferentes niveles de los factores y entre ellos mismos.

Por otro lado, los procesos fotoquímicos mediante el empleo de la fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio (TiO_2), logró los mayores porcentajes de remoción para el pesticida Mertect para las combinaciones experimentales de 50 mg/L de dióxido de titanio y de 1 %v/v de peróxido de hidrógeno, y 100 mg/L de dióxido de titanio y de 1 %v/v de peróxido de hidrógeno, con una remoción del 99,5%.

Se observa como la fotocatalisis heterogénea empleando dióxido de titanio como catalizador, la cual hace parte de los procesos avanzados de oxidación, es una tecnología eficiente para la remoción y degradación de pesticida Mertect; esta

podría contribuir al mejoramiento de los desequilibrios ambientales que generan este tipo de contaminantes en el ambiente.

Conclusión

Con esta investigación se encuentra que la fotocatalisis heterogénea es 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 en la corona, del cuello y de los dedos del banano y 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.

Referencias

1. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir y CORREA OCHOA, Adrián Alexis. Fotodegradación de Malatión usando colector solar. Medellín, 2001, 104 p. Trabajo de grado (Ingeniero Sanitario y Ambiental). Universidad de Antioquia. Departamento de Ingeniería Sanitaria.

2. HENAO HERNÁNDEZ, Samuel y COREY, German. Plaguicidas organofosforados y carbámicos. Mexico : Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, 1986. 194 p.
3. INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Las Aguas Subterráneas y los Plaguicidas. España : Instituto Tecnológico Geominero de España, 1992. 149 p.
4. MADRIGAL CARDEÑO, Alejandro. La problemática de los plaguicidas. Medellín : Secretaría de Agricultura de Antioquia, Gobernación de Antioquia, 1992. 87 p.
5. KIELY, Gerard. Ingeniería ambiental: Fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestión. España : McGraw-Hill Interamericana, 1999. 3 v.
6. SYGENTACROP PROTECTIONAG. Ficha técnica del Mertect 20 Sl. Edición local comunidad andina. s.l. : Sygenta, Noviembre 26 de 2002.
7. VEGA GUTIÉRREZ, Jesús et al. Larva migratoria cutánea. Tratamiento tópico con tiabendazol al 6,25%. En : Actas dermo-sifiliográficas. Vol. 92, No. 4 (feb. 2001); p. 171-173
8. MUELA POMEDA, Susana et al. Efecto de codisolventes y dispersiones sólidas de Polivinilpirrolidona K-30 en la solubilidad del Tiabendazol. En : CONGRESO SEFIG Y JORNADAS TF (6 : 2003 : Alcalá) Memorias del VI Congreso y 3^{AS} Jornadas. Alcalá : Universidad de Alcalá, 2003. p. 85 – 87.
9. TAUBE, J. et al. Pesticide residues in biological waste. In : Chemosphere. Vol. 49, No. 10 (dec. 2002); p. 1357–1365.
10. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, FACULTAD NACIONAL DE SALUD PÚBLICA “HÉCTOR ABAD GÓMEZ”. Estudio ambiental y de salud por uso de agroquímicos en Urabá – eje bananero. Medellín : Universidad de Antioquia, Facultad Nacional de Salud Pública, 1994. p. 50
11. BANATURA. Programa de gestión social y ambiental del sector bananero Colombiano “manejo de aguas”. Medellín : BANATURA, 2003. p. 42 – 45.
12. BERMÚDEZ MONTOYA, LUIS Heraclio et al. Tratamiento para el efluente del curado de coronas. En : AUGURA. Mejores prácticas. Medellín : Augura, 2004. 19 p.
13. ARROYAVE ROJAS. Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe. Fotodegradación del Pesticida Mertect empleando Fotofenton con Lámpara de Luz Ultravioleta. En : Revista Lasallista de Investigación. Vol 3, No 2 (ene. – jun. 2007); p. 19 – 24.
14. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando; MEJÍA FRANCO, Edwin Alejandro y SANTA MARÍA ARANGO, Jorge Julián. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En : Revista Lasallista de Investigación. Vol 1, No 1 (jun-dic. 2004); p. 83 – 92.
15. RED TEMÁTICA VIII - G. CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO (CYTED). Eliminación de Contaminantes por Fotocatalisis Heterogénea. Brasil : Red Temática VIII, 2001. 305 p.
16. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis. En : Revista Lasallista de Investigación. Vol 2, No 1 (ene. – jun. 2005); p. 15 – 18.
17. _____. Cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 en aguas. En : Revista Lasallista de Investigación. Vol 2, No 2 (jul. – dic. 2005); p. 21 – 25.