



Degradación del colorante tartrazina mediante fotocatalisis heterogénea empleando lámpara de luz ultravioleta

Joan Amir Arroyave Rojas¹ / Luis Fernando Garcés Giraldo² / Álvaro de Jesús Arango Ruiz³
Carlota Marcela Agudelo López⁴ / Carlos Andrés Martínez Rivera⁴

Degradation of the tartrazine dye by the use of heterogeneous photocatalysis with an ultra-violet lamp

Degradação do corante tartrazina mediante foto-catálisis heterogênea empregando lustre de luz ultravioleta

RESUMEN

Introducción. La prevención y control de la contaminación ambiental es una de las principales responsabilidades y preocupaciones del hombre moderno y en los últimos años se han registrado un número significativo de investigaciones para la prevención y el control de dicha contaminación. Entre éstas, la fotodegradación de contaminantes forma parte del grupo de tecnologías

¹ Ingeniero Sanitario, Candidato a Magíster en Ingeniería Ambiental. Jefe del Programa de Ingeniería Ambiental de la Corporación Universitaria Lasallista. Coordinador Semillero SIGMA e investigador del Grupo de Investigación GAMA/² Ingeniero Sanitario, Magíster en Ingeniería Ambiental, Especialista en Cuencas Hidrográficas, y Especialista en Ingeniería Ambiental. Decano Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Lasallista. Director Grupo de Investigación GAMA/³ Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Ambiental, y Especialista en Ingeniería Ambiental. Docente Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Lasallista. Investigador del Grupo de Investigación GAMA/⁴ Estudiante de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria Lasallista, Semillero de Investigación en Gestión y Medio Ambiente – SIGMA. Grupo de Investigación GAMA.

Correspondencia: Luis Fernando Garcés Giraldo, email: lugarces@lasallista.edu.co

Fecha de recibo: 15/06/2008 ; fecha de aprobación: 08/08/2008

de oxidación avanzada, que busca reducir y/o eliminar compuestos persistentes como son los colorantes Azo.

Objetivo. Evaluar la degradación del colorante tartrazina, empleando fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio y lámpara de luz ultravioleta.

Materiales y métodos. Se empleó un diseño experimental factorial aleatorizado. Para el desarrollo experimental se utilizó una lámpara de luz ultravioleta, un reservorio de vidrio para el almacenamiento del colorante tartrazina en solución acuosa para someterlo a tratamiento y una bomba que permitía la recirculación de la solución por el sistema de fotoreactor. La degradación del colorante tartrazina se determinó mediante espectrofotometría ultravioleta/visible.

Resultados. Se obtuvo un buen porcentaje de remoción (100,0 %) del colorante tartrazina para la combinación de oxidación química mediante el empleo de 0 mg/L de TiO_2 y 0,4 %v/v del agente oxidante peróxido de hidrógeno, además de la combinación experimental del proceso fotoquímico de la fotocatalisis heterogénea con los ensayos experimentales de 50 mg/L de TiO_2 y 0,2 %v/v H_2O_2 , y 50 mg/L de TiO_2 y 0,4 %v/v H_2O_2 para un porcentaje de remoción igual al 100,0%.

Conclusión. Los procesos de oxidación avanzados son adecuados para la remoción y eliminación del colorante tartrazina.

Palabras Claves: Fotodegradación. Tartrazina. Colorante Azo. Dióxido de Titanio. Peróxido de Hidrógeno. Industria de Alimentos.

ABSTRACT

Introduction. The prevention and control of environmental pollution is one of the main responsibilities and concerns of modern men. In recent years a great number of research works have been made for such a purpose, among these we can remark pollutants biodegradation works. This is an advanced technique that aims to reduce or eliminate persistent compounds such as Azo dyes.

Objective. To evaluate the degradation of the tartrazine dye by the use of heterogeneous photocatalysis with titanium dioxide and an ultra-violet light lamp.

Materials and methods. A factorial randomized experimental design was used. For developing the experiment we used an ultra violet light lamp, a glass container for keeping the tartrazine dye in an aqueous solution and treat it and a pump that allowed the re-circulation of the solution through the photoreactor system. The degradation of the tartrazine dye was determined by the use of ultra-violet/visible spectrophotometry.

Results. A good tartrazine dye removal rate was obtained (100,0%) for the combination of chemical oxidation by the use of 0 mg/L of TiO_2 and 0,4 %v/v of the oxidation agent hydrogen peroxide, and the experimental combination of the photo chemical process of heterogeneous photocatalysis with the experimental rehearsals of 50 mg/L of TiO_2 and 0,2 %v/v H_2O_2 and 50 mg/L of TiO_2 and 0,4 %v/v H_2O_2 for a removal rate of 100,0%.

Conclusion. Advanced oxidation processes are adequate for removing and eliminating the tartrazine dye.

Key words. Photodegradation. Tartrazine. Azo dye. Titanium dioxide. Hydrogen peroxide. Food industry.

RESUMO

Introdução. A prevenção e controle da contaminação ambiental é uma das principais responsabilidades e preocupações do homem moderno. Nos últimos anos, registraram-se um número significativo de investigações para a prevenção e o controle de dita contaminação; dentro destas, a foto-degradação de contaminantes, faz parte do grupo de tecnologias de oxidação avançada, que procura reduzir e/ou eliminar compostos persistentes como o são os corantes Azo.

Objetivo. Avaliar a degradação do corante tartrazina empregando foto-catálisis heterogénea com dióxido de titânio e lustre de luz ultravioleta.

Materiais e métodos. Empregou-se um desenho experimental fatorial aleatório; para o desenvolvimento experimental se utilizou um lustre de luz ultravioleta, um reservatório de vidro para o armazenamento do corante tartrazina em solução aguada para submetê-lo a tratamento e uma bomba que permitia a recirculação da solução pelo sistema de foto-reator. A degradação do corante tartrazina se determinou mediante espectrofotometria ultravioleta/visível.

Resultados. Obteve-se uma boa percentagem de remoção (100,0 %) do corante tartrazina para a combinação de oxidação química mediante o emprego de 0 mg/L de TiO_2 e 0,4 %v/v do agente oxidante peróxido de hidrogênio, além das combinação experimental do processo fotoquímico da foto-catálisis heterogénea com os ensaios experimentais de 50 mg/L de TiO_2 e 0,2 %v/v H_2O_2 , e 50 mg/L de TiO_2 e 0,4 %v/v H_2O_2 para uma percentagem de remoção igual ao 100,0%.

Conclusão. Os processos de oxidação avançados são adequados para a remoção e eliminação do corante tartrazina.

Palavras chaves: Foto-degradação. Tartrazina. Corante Azo. Dióxido de Titânio. Peróxido de Hidrogênio. Indústria de Alimentos.

INTRODUCCIÓN

El empleo de aditivos en la industria de los alimentos implica el conocimiento claro de los efectos que estos poseen sobre el producto terminado y la finalidad con la cual son incorporados a la formulación. Del vasto grupo de aditivos que existen, los colorantes comprenden una familia bastante amplia que atrae la atención de los profesionales de la ciencia de los alimentos por las numerosas afirmaciones, unas con fundamento y otras simples especulaciones, sobre sus efectos adversos en la salud de los consumidores^{1,2}.

La tartrazina es uno de los colorantes artificiales más utilizados en la industria de alimentos I, y pertenece a la familia de los colorantes azoicos². Dicho colorante le confiere a los alimentos y bebidas un tono amarillo más o menos anaranjado, dependiendo de la cantidad añadida, y adicionalmente se emplea para obtener colores verdes al mezclarlo con colorantes azules. Es ampliamente utilizado desde 1916 en productos de repostería, derivados cárnicos, sopas preparadas, conservas vegetales, salsas, helados, postres, caramelos y otras golosinas. Además se utiliza para colorear bebidas refrescantes de naranja y limón. Su utilización se da en

más de sesenta países del mundo, incluyendo Estados Unidos y la Unión Europea. De esta forma se observa que es un producto sintético con un espectro amplio de utilización, y en investigaciones recientes se ha tratado de generar productos sustitutos para dicho colorante buscando reducir su consumo, debido a que se ha ido desfavoreciendo por algunos posibles efectos secundarios. Para ello se ha recomendado a los titulares de productos clasificados como alimentos, cosméticos o medicamentos que contengan tartrazina, que deben proceder a modificar el registro sanitario³⁻⁶, e incluir la expresión en el pronto "Contiene tartrazina que puede producir reacciones alérgicas, tipo de angioedema, asma, urticaria y shock anafiláctico", teniendo en cuenta las disposiciones expuestas por la sala especializada en medicamentos y productos biológicos de la comisión revisora dentro del concepto emitido en el acta No 1 de 2007^{5,6}.

La implementación de programas de producción más limpia enmarcados en la disminución de vertimientos y efluentes contaminantes, y en especial la aplicación de tecnologías ambientalmente sostenibles⁷ en los procesos industriales, reduce la demanda de bienes y servicios ambientales en nuestros ecosistemas. Es por ello que en la actualidad se encuentra en desarrollo la aplicación de tecnologías de procesos avanzados de oxidación (POAs)⁸⁻¹⁷, las cuales se basan en procesos de destrucción de los contaminantes por medio de sustancias químicas conocidas como radicales libres hidroxilos, que tienen la propiedad de ser altamente oxidantes. Dichos radicales reaccionan con el contaminante y lo transforman en compuestos inocuos al ambiente⁸⁻¹⁷.

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 (TiO_2)- para provocar una serie de reacciones primarias de reducción y oxidación⁸⁻¹⁷ 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 (TiO_2)^{8,9,11-13,15,17}. El radical libre hidroxilo es el segundo agente oxidante después del flúor ($\text{HO}\cdot$), $E_o = -2,8\text{V}$ vs. flúor, $E_o = -3,0\text{V}$, 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^{8-9,13-17}.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó una lámpara de luz ultravioleta, la cual posee una cámara o camisote por donde circula el afluente del agua residual. Allí se realiza la irradiación del agua contaminada con los rayos de luz ultravioleta, empleando para ello una lámpara de mercurio. El sistema de fotorreactor lo complementaba una cuba de vidrio, que se emplea como 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^{9,12,13}. 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 100 mg/L del colorante tartrazina. La degradación de éste se determinó mediante el empleo de la espectrofotometría UV/Visible, después de dos 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 I. Para lograr un desarrollo experimental apropiado y el cumplimiento de los supuestos de residuales, se ejecutaron tres réplicas de los ensayos de forma aleatoria.

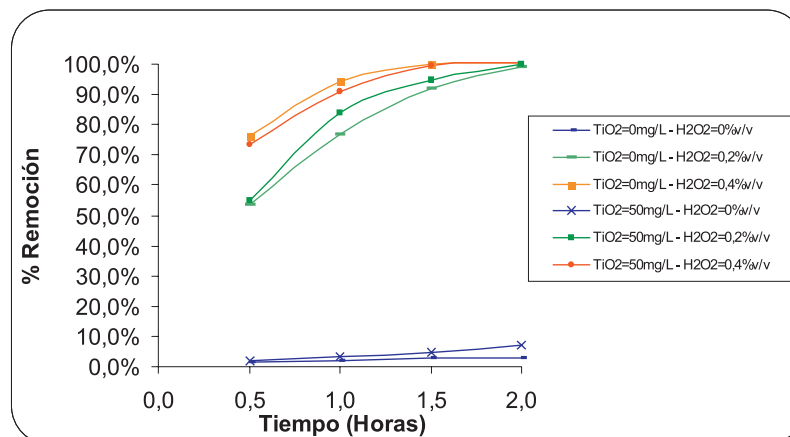
Tabla I. Combinaciones experimentales de TiO_2 , H_2O_2 y porcentajes de remoción obtenidos

TiO_2 (mg/L)	H_2O_2 (%v/v)	% Remoción
0	0,0	2,6
0	0,2	99,3
0	0,4	100,0
50	0,0	7,3
50	0,2	100,0
50	0,4	100,0

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos en el desarrollo experimental del estudio de la degradación del colorante tartrazina empleando dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno, utilizando como fotorreactor una lámpara de luz ultravioleta (los cuales se pueden observar en la Tabla I y en la Gráfica I) se obtiene que el colorante no es fotoactivo, por lo que no se presenta degradación significativa. Se logra un incipiente 2,6% en la degradación mediante la irradiación con luz ultravioleta, con una longitud de onda de 254 nm.

Gráfica I. Fotodegradación del colorante tartrazina mediante fotocatalisis empleando dióxido de titanio



De esta misma forma se observa que la adición de catalizador, en ausencia de agente oxidante (peróxido de hidrógeno), no favorece la degradación del colorante. Para la combinación de 50 mg/L de TiO_2 y 0 %v/v de H_2O_2 , se alcanza un porcentaje de remoción de 7,3%, siendo éste muy bajo con respecto a las demás combinaciones realizadas.

Como se aprecia en la Tabla 1 y la Gráfica 1, la adición del agente oxidante genera un incremento sustancial en la degradación del colorante tartrazina para las cuatro combinaciones en las cuales se empleó como agente oxidante el peróxido de hidrógeno y se obtuvieron altos niveles de remoción en las dos horas de tratamiento de la muestra de agua a degradar.

La combinación de 0 mg/L de TiO_2 y 0,2 %v/v de H_2O_2 alcanza el menor porcentaje de remoción entre los experimentos que emplean peróxido de hidrógeno, con un 99,3% de remoción, obteniendo un buen resultado en la degradación del colorante tartrazina.

Adicionalmente, se observa que para las combinaciones de 0 mg/L de TiO_2 y 0,4 %v/v de H_2O_2 , 50 mg/L de TiO_2 y 0,2 %v/v de H_2O_2 y 50 mg/L de TiO_2 y 0,4 %v/v de H_2O_2 , se obtiene el mejor porcentaje de remoción, el cual corresponde a un 100% de remoción en las dos horas de tratamiento de la muestra. Sin embargo, si se analiza el costo/beneficio de la degradación del colorante tartrazina por las combinaciones mencionadas anteriormente, se opta por definir que la mejor sería la de 0 mg/L de TiO_2 y 0,4 %v/v de H_2O_2 , debido a que se disminuye la adición de reactivos o insumos químicos para el tratamiento y degradación de dicho colorante.

Se realizó el análisis estadístico de los datos experimentales empleando para ello un ANOVA, como se puede observar en la Tabla 2. De acuerdo con los valores arrojados de probabilidad, se encuentra que cada uno de los factores, dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno, tienen una variación significativa en la variable respuesta, es decir en el porcentaje de remoción del colorante tartrazina.

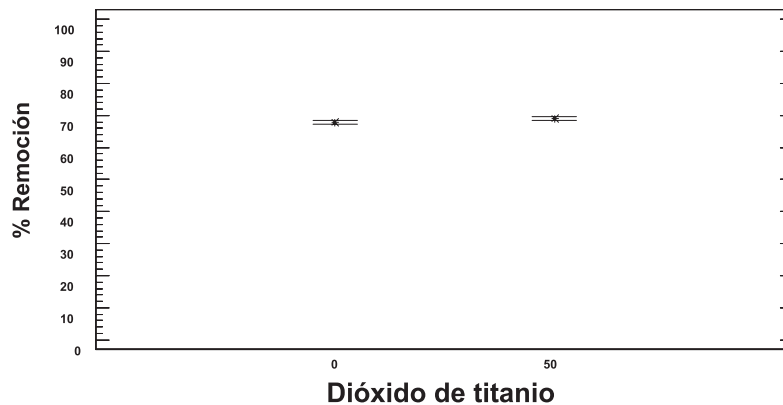
Por lo tanto, los resultados obtenidos del modelo estadístico empleado sirven para explicar la degradación del colorante tartrazina de acuerdo con los factores definidos.

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	1	4,56	4,56	6,03	0,0494
B: Peróxido de hidrógeno	2	23488,20	11744,10	15520,87	<0,0001
Interacción AB	2	4,09	2,04	2,70	0,1458
Residuos	6	4,54	0,76		
Total (corregido)	11	23501,40			

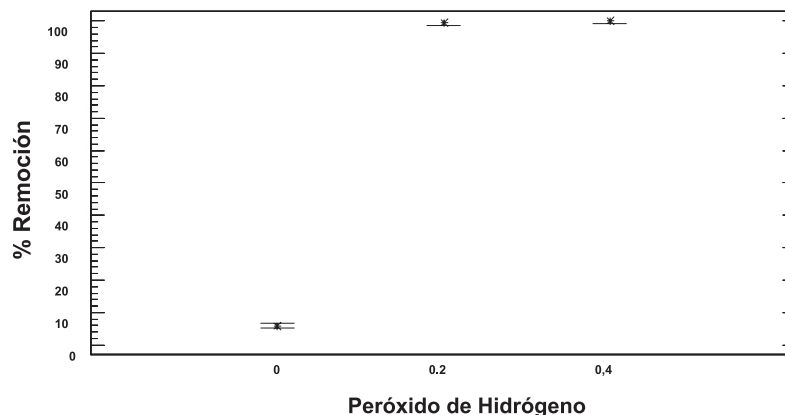
En la Gráfica 2 se observa el método utilizado para identificar las diferencias significativas de Fisher (LSD), en donde se tiene que para la interrelación entre el catalizador dióxido de titanio, se presentan diferencias significativas entre las medias obtenidas experimentalmente entre 0 y 50 mg/L de dióxido de titanio. Por lo tanto, se muestran las diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95,0%.

Gráfica 2. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para el dióxido de titanio



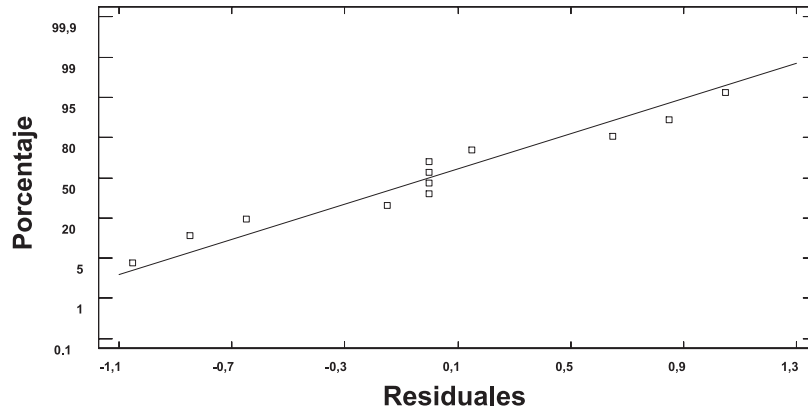
De igual forma, en la Gráfica 3 se observa que para los intervalos de los niveles del agente oxidante – peróxido de hidrógeno con un nivel de confianza del 95%, las variaciones de las medias entre 0 – 0,2 %v/v y 0 – 0,4 %v/v de peróxido de hidrógeno poseen diferencias significativas entre los niveles experimentales y la variable respuesta, es decir, la remoción del colorante tartrazina, mientras que para la variación entre 0,2 – 0,4 %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

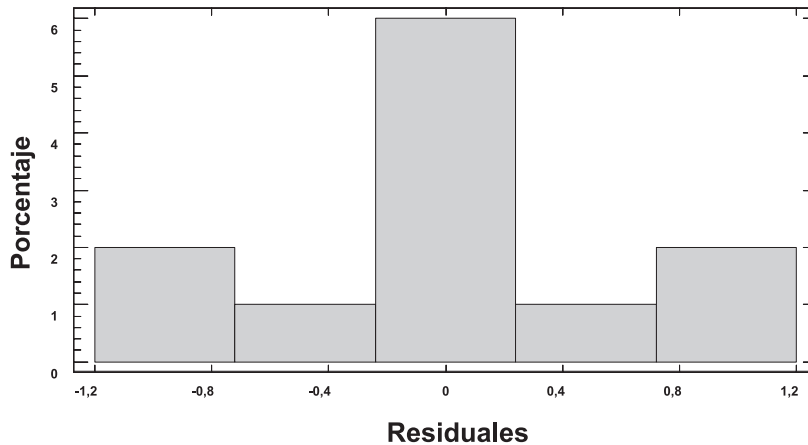


Adicionalmente se realizó la prueba de normalidad para los residuales de acuerdo con el análisis del modelo experimental, como se puede observar en las Gráficas 4 y 5, de probabilidad de normalidad para residuales y el histograma de dichos residuales. Se puede concluir que el modelo se comporta con distribución normal, con un intervalo de confianza del 95%.

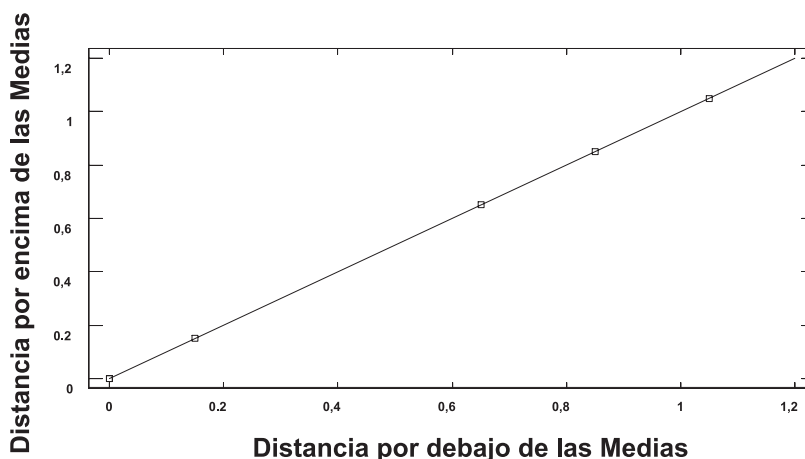
Gráfica 4. Probabilidad de normalidad para residuales



Gráfica 5. Histograma de residuales



Por otro lado se realizó el análisis de asimetría para los residuales, para verificar que no existiera ninguna tendencia de los mismos. En la Gráfica 6 se puede observar que dichos puntos no tienen desviaciones por encima o por debajo de la media, lo que demuestra que los datos obtenidos de los residuales no son asimétricos.

Gráfica 6. Asimetría de Residuales

Por lo anterior se concluye que el diseño de experimentos y el desarrollo experimental para realizar este estudio representa, con un grado de confianza del 95%, el fenómeno de la degradación del colorante tartrazina mediante la fotodegradación empleando dióxido de titanio y lámpara de luz ultravioleta.

DISCUSIÓN

Como se puede apreciar en la Gráfica 1, a medida que se incrementa el tiempo de tratamiento e irradiación del agua residual con el contenido del colorante tartrazina, se logra un mayor porcentaje de remoción, debido a que se favorece la generación de fotorreacciones y de radicales libres hidroxilos, los cuales, a su vez, realizan la degradación del colorante.

Se observa que el colorante Azo tartrazina² se puede degradar mediante el empleo de la oxidación química y la fotocatalisis heterogénea empleando dióxido de titanio, debido a que se logran unos porcentajes de remoción del 100% del colorante, excepto para la combinación de 0 mg/L de TiO_2 y 0,2 %v/v de H_2O_2 , la cual es una oxidación mediante la utilización de peróxido de hidrógeno. Para esta última combinación se presenta también un alto porcentaje de oxidación cercano al anterior (99,3%). De esta forma se evidencia que dichos procesos de oxidación avanzada son eficientes en la remoción del colorante tartrazina para un tiempo de tratamiento de dos horas.

La implementación de tecnologías avanzadas de oxidación (TAO's), como es el caso de fotocatalisis heterogénea empleando dióxido de titanio, demuestra poseer un amplio número de aplicaciones ambientales. En este caso se logra la remoción y degradación del colorante tartrazina empleado intensivamente en la industria de alimentos^{1,2}, el cual es un colorante Azo², lo que hace que la molécula del mismo sea más estable y difícil de degradar en condiciones ambientales. De

esta forma se avanza en el conocimiento y aplicación de una de las TAO's a nivel local, incrementado la oferta tecnología para disminuir o resolver los impactos negativos sobre nuestro entorno natural inmediato y alcanzar un desarrollo sostenible mediante el empleo de tecnologías ambientalmente sostenibles⁷, las cuales se pueden enmarcar en la ejecución de programas de producción más limpia a nivel industrial.

REFERENCIAS

1. RESTREPO GALLEGO, Mauricio; et al. Sustitución de tartrazina por betacaroteno en la elaboración de bebidas no alcohólicas. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 3, N°3 (Julio – Diciembre de 2006); p. 7 – 12.
2. KAPOR, Marco André; et al. Electroanálise de corante alimentícios: determinacao de indigo carmín e tartazina. En: Eclética Química. Vol 26 N° 1. (2001); p. 1 – 20.
3. REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución Número 00580 de 26 Febrero de 1996, Por la cual se modifica el parágrafo primero de la Resolución 10593 de 1985. Bogotá : El Ministerio, 1996. 2 p.
4. RAM, F.S. y ARDERN, K. D. La Biblioteca Cochrane Plus. N° 3. Oxford: Update Software Ltda, 2007.
5. REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 005109 del 29 de diciembre de 2005, Por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos de rotulado o etiquetado que deben cumplir los alimentos envasados y materias primas de alimentos para consumo humano. Bogotá : El Ministerio, 2005. 18 p.
6. _____. Resolución 0670 del 9 de marzo de 2007, Por la cual se establece el reglamento técnico de emergencia sobre los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los productos de la pesca, en particular pescados, moluscos y crustáceos para el consumo humano. Bogotá : El Ministerio, 2007. 14 p
7. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir y GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando. Tecnologías ambientalmente sostenibles. En: Revista de Producción Más Limpia. Vol. 1 N° 2 (Julio – Diciembre de 2006); p. 78 – 86.
8. RED CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO (CYTED). Temática VIII - G. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Brasil : Digital Grafic, 2001. 305 p.
9. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir y CORREA OCHOA, Adrian Alexis. Fotodegradación de Malatión usando colector solar. Medellín, 2001, 104 p. Tesis de Pregrado (Ingeniería Sanitaria). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingenierías.
10. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando y CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe. Fotodegradación del Pesticida Mertect em-

- pleando Fotofenton con Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 3, N° 2 (Enero – Junio de 2007); p. 19 – 24.
11. GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando; MEJÍA FRANCO, Edwin Alejandro. y SANTAMARÍA ARANGO, Jorge Julián. La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 1, N° 1 (Enero – Junio de 2004); p. 83–92.
 12. ARROYAVE ROJAS. Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando y CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe. Fotodegradación de las aguas residuales con pesticida Mertect en la industria bananera empleando Fotocátalisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 4, N° 1 (Enero – Junio de 2007); p. 7 – 13.
 13. _____. Integración, productividad y responsabilidad ambiental: empleo de tecnologías avanzadas de oxidación para la degradación del pesticida Mertect. (11: 2007: Santa Marta) Memorias del 50 Congreso Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental –ACODAL y XII Bolivariano de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental –AIDIS. Santa Marta: ACODAL, 2007. p 1 – 8.
 14. GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando; et al. Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocátalisis. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 2, N° 1 (Enero – Junio de 2005); p. 15–18.
 15. GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando. Cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 en aguas. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol 2, No 2. (Junio – Diciembre) 2005; 21–25 pag.
 16. TELLO RENDÓN, Erick Danilo. Optimización de tecnologías fotocatalíticas de oxidación avanzada aplicada al tratamiento de residuos líquidos de laboratorio. Palma de Gran Canaria : Universidad de la Palma de Gran Canaria - Departamento de Química, 2000. 329 p.
 17. GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando; et al. Fotocátalisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: investigaciones y aplicaciones. Caldas: [S.N], 2007. 174 p