

Mineralización del colorante Tartrazina mediante un proceso de oxidación avanzada*

Joan Amir Arroyave Rojas**, Luis Fernando Garcés Giraldo***, Álvaro Arango Ruíz****

Resumen

Introducción. La importancia del tratamiento de aguas residuales consiste en lograr la remoción de los contaminantes y la mineralización de los componentes en compuestos inocuos para el ambiente con el fin de disminuir el impacto y el desequilibrio ambiental generado por la presencia de sustancias no deseadas en los ecosistemas acuáticos. **Objetivo.** Evaluar la mineralización 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; en los experimentos se utilizaron una lámpara de luz ultravioleta, un reservorio de vidrio para el almacenamiento de la muestra en solución acuosa y una bomba para la recirculación de la solución. La mineralización se determinó mediante espectrofotometría ultravioleta/visible empleando el parámetro sulfatos y la remoción de sulfatos se calculó a diferentes tiempos de concentración. **Resultados.** Se alcanzaron porcentajes de mineralización superiores al 93,8% del colorante Tartrazina, sin embargo, al analizar los factores técnicos y económicos se considera que la combinación experimental más apropiada para lograr la mineralización del colorante corresponde a la combinación de 0 mg/L de TiO_2 y 0,2 %v/v del agente oxidante peróxido de hidrógeno, que representa un proceso de oxidación química. **Conclusión.** Los procesos avanzados de oxidación, como la oxidación química con peróxido de Hidrógeno, favorecen la adecuada mineralización del colorante Tartrazina al tiempo que disminuyen o resuelven el impacto negativo sobre el entorno natural inmediato.

Palabras clave: fotodegradación, mineralización, Tartrazina, colorante Azo, dióxido de titanio, peróxido de hidrógeno, industria de alimentos.

Artículo recibido 27-04 de 2009, última revisión 02-09 de 2009

Mineralization of the Tartrazine dye by an advanced oxidation process

Abstract

Introduction. The importance of treating waste waters is based on removing the contaminants and the mineralization of the components into compounds harmless for the environment, aiming to reduce the impact and the environmental misbalance generated by the presence of undesired substances in the aqueous ecosystems. **Objective.** To evaluate the mineralization of the Tartrazine dye by the use of heterogeneous photo catalysis with titanium dioxide and an ultra violet light lamp. **Materials and methods.** An experimental randomized factorial design was used. In the experiments, an ultra violet light lamp, a glass reservoir to store the aqueous solution sample and a pump to re-circulate the solution, were used. The mineralization was determined by the ultra violet /visible spectrophotometry, using sulfates for the parameter, and the removal of sulfates was calculated at different concentration times. **Results.** Mineralization percentages of the Tartrazine dye above 92.8% were achieved. Nevertheless, when technical and economic factors were analyzed, it was considered that the most adequate experimental combination to achieve the dye's mineralization corresponds to a combination of 0mg/L of TiO_2 and 0,2 % v/v of the hydrogen peroxide oxidation agent, which represents a chemical oxidation process. **Conclusion.** Advanced oxidation processes, such as chemical oxidation with hydrogen peroxide, are beneficial for the mineralization of the Tartrazine dye.

* Artículo derivado de la investigación: "Evaluación de la combinación de electrocoagulación-fotodegradación sensibilizada, como tratamiento de aguas residuales coloreadas". Realizada entre febrero y diciembre de 2007 y financiada por el Fondo para el Desarrollo de la Investigación de la Corporación Universitaria Lasallista.

** Ingeniero Sanitario, candidato a Magister en Ingeniería Ambiental.

*** Ingeniero Sanitario, Magister en Ingeniería Ambiental. Decano Facultad de Ingenierías Corporación Universitaria Lasallista. Investigador del Grupo GAMA

**** Ingeniero Químico. Magister en Ingeniería Ambiental. Docente Coordinador del Programa de Ingeniería Ambiental. Director del Grupo de Investigación GAMA de la Corporación Universitaria Lasallista. Contacto alarango@lasallista.edu.co

Key words: Photo degradation. Mineralization. Tartrazine. Azo dyes. Titanium dioxide. Hydrogen peroxide. Food industries.

Mineralização do corante Tartrazina mediante um processo de oxidação avançada

Resumo

Introdução. A importância do tratamento de águas residuais consiste em conseguir a remoção dos contaminantes e a mineralização dos componentes em compostos inócuos para o ambiente com o fim de diminuir o impacto e o desequilíbrio ambiental gerado pela presença de substâncias não desejadas nos ecossistemas aquáticos. **Objetivo.** Avaliar a mineralização do corante Tartrazina empregando foto-catálisis heterogênea com dióxido de titânio e lustre de luz ultravioleta. **Materiais e métodos.** Empregou-se um desenho experimental fatorial aleatorizado; nos experimentos se utilizou um

lustre de luz ultravioleta, um reservatório de vidro para o armazenamento da mostra em solução aquosa e uma bomba para a recirculação da solução. A mineralização se determinou mediante espectrofotometria ultravioleta/visível empregando o parâmetro sulfatos e a remoção de sulfatos se calculou a diferentes tempos de concentração. **Resultados.** Atingiram-se percentagens de mineralização superiores ao 93,8% do corante Tartrazina, no entanto, ao analisar os fatores técnicos e econômicos se considera que a combinação experimental mais apropriada para conseguir a mineralização do corante corresponde à combinação de 0 mg/L de TiO₂ e 0,2 %v/v do agente oxidante peróxido de hidrogênio, que representa um processo de oxidação química. **Conclusão.** Os processos avançados de oxidação, como a oxidação química com peróxido de Hidrogênio, favorecem a adequada mineralização do corante Tartrazina.

Palavras chaves: foto degradação, mineralização, Tartrazina, corante Azo, dióxido de titânio, peróxido de hidrogênio, indústria de alimentos.

Introducción

La creciente demanda por parte de la sociedad para la descontaminación de aguas contaminadas de diversos orígenes, materializada en regulaciones cada vez más estrictas, ha impulsado, en la última década, el desarrollo de nuevas tecnologías de purificación^{1,2}.

Para la aplicación de los métodos de tratamiento de aguas debe tenerse en cuenta la naturaleza y las propiedades fisicoquímicas de las aguas o efluentes a tratar^{1,2}. Las aguas contaminadas por la actividad humana pueden 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. Para estos casos, se está expandiendo el uso de las llamadas Tecnologías o Procesos Avanzados de Oxidación (TAO's, PAO's), muchas de las cuales pueden aplicarse a la remediación y destoxificación de aguas especiales en pequeña o mediana escala. Los métodos pueden usarse solos o combinados entre ellos o con métodos convencionales

para los contaminantes de aire y suelos, e incluso, para la desinfección por inactivación de bacterias y virus.

Las TAO's 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 poderosas transitorias, principalmente el radical hidroxilo (HO•). Este radical puede ser generado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar), u otras formas de energía, y posee alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Algunas TAO's como la fotocatalisis heterogénea, la radiólisis y otras técnicas avanzadas, utilizan además, reductores químicos que permiten transformaciones en contaminantes tóxicos, poco susceptibles a la oxidación, como iones metálicos o compuestos halogenados.

La implementación de programas de producción más limpia, enmarcados en la disminución de vertimiento y efluentes contaminantes, en especial la aplicación de tecnologías ambientalmente sostenibles¹¹ en los procesos industriales, reduce la demanda de bienes y servicios ambientales en nuestros ecosistemas. En la actualidad, se encuentra en desarrollo la aplicación de tecnologías de procesos avanzados de oxidación (POAs), las cuales se

basan en la destrucción de los contaminantes por medio de sustancias químicas conocidas como radicales libres hidroxilos, que tienen la propiedad de ser altamente oxidantes; estos radicales reaccionan con el contaminante y lo transforman en compuestos inocuos al ambiente.

El proceso de destoxificación mediante la fotocatalisis, consiste en la utilización de la radiación ultravioleta que es muy energética y activa un semiconductor, como el dióxido de titanio (TiO_2) para provocar una serie de reacciones primarias de reducción y oxidación, en las que se forma el radical libre hidroxilo, especie oxidante primaria, formada por la descomposición del peróxido de hidrógeno catalizada por la activación del dióxido de titanio (TiO_2)^{1,2-10,12-14}. El radical libre hidroxilo es el segundo agente oxidante después del flúor ($\text{HO}\cdot$), $E_0 = -2,8 \text{ V}$ vs. flúor, ($E_0 = -3,0 \text{ V}$), 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 a una total mineralización.

En el presente estudio se evaluó la fotocatalisis heterogénea empleando dióxido de titanio (TiO_2) como una de las principales aplicaciones de las diferentes tecnologías avanzadas de oxidación, con el fin de establecer las mejores combinaciones de los factores experimentales para la mineralización de la Tartrazina, uno de los colorantes artificiales más utilizados en la industria de alimentos de la familia de los colorantes azoicos, que le confiere a los alimentos y bebidas un tono amarillo más o menos anaranjado, dependiendo de la cantidad añadida; también, se emplea para obtener colores verdes al mezclarlo con colorantes azules. En investigaciones recientes se han tratado de generar productos sustitutos de este colorante para reducir su consumo, ya que la ingesta puede producir algunos efectos secundarios, razón por la cual los titulares de productos clasificados como alimentos, cosméticos o medicamentos que contengan Tartrazina, deben proceder a modificar el registro sanitario^{17,18,19,20}, e incluir la expresión en el prompt "Contiene Tartrazina que puede producir reacciones alérgicas, tipo angioedema,

asma, urticaria y shock anafiláctico", lo anterior, teniendo en cuenta las disposiciones de la sala especializada en medicamentos y productos biológicos de la comisión revisora dentro del concepto emitido en el acta No 1 de 2007.

Materiales y métodos

Se empleó una lámpara de luz ultravioleta para irradiar el agua contaminada, con una cámara o camisote por donde circula el afluente del agua residual. El sistema fotorreactor se complementó con una cuba de vidrio, utilizada como reservorio de la muestra problema y una bomba sumergible para ejecutar la recirculación del agua residual por la lámpara de luz ultravioleta^{2-5,10,12,13}. Este sistema se trabajó con un caudal de 0,05 L/s, y con un pH de la solución de 5,0, con una concentración inicial de 100 mg/L del colorante Tartrazina.

El diseño experimental utilizado en la investigación incluyó dos factores (concentración de catalizados – Dióxido de Titanio (TiO_2) y agente oxidante – Peróxido de hidrogeno), completamente aleatorizados. Los niveles de cada uno de los factores se encuentran consignados en la tabla 1; adicionalmente, se realizaron tres réplicas por corrida experimental. Al final de los ensayos, se determinó la mineralización del colorante mediante el empleo de la técnica analítica de sulfatos métodos normalizados^{21,22} para la determinación de contaminantes en aguas. Para esta técnica se empleó la espectrofotometría UV/Visible a una longitud de onda de 420 nm y el seguimiento de la mineralización se realizó durante las dos horas de experimentación.

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

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

En donde,

- μ = Es el porcentaje medio de mineralización del colorante Tartrazina en el modelo.
- α_i = Es el efecto del i-ésimo nivel del factor concentración de catalizador – dióxido de titanio; $i = 0$ y 50 mg/L.
- β_j = Es el efecto del j-ésimo nivel del factor

concentración de agente oxidante – peróxido de hidrogeno; $j = 0, 0,2$ y $0,4$ %v/v.

- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Es el efecto de la interacción entre los niveles i y j de los factores concentración de catalizador – dióxido de titanio y la concentración de agente oxidante – peróxido de hidrógeno.

- Y_{ijk} = Es la k -ésima observación del porcentaje de remoción del colorante Tartrazina observado en los niveles i y j de los factores concentración de catalizador – dióxido de titanio y la concentración de agente oxidante – peróxido de hidrogeno.

- ϵ_{ijk} = Es el k -ésimo término de error alea-torio.

Tabla 1. Combinaciones experimentales de TiO_2 , H_2O_2 y porcentajes de degradación [10] y mineralización obtenidos.

TiO_2 (mg/L)	H_2O_2 (%v/v)	% Degradación	% Mineralización
0	0,0	3,0%	0,4%
0	0,2	99,0%	96,8%
0	0,4	100,0%	97,8%
50	0,0	7,3%	1,2%
50	0,2	100,0%	95,1%
50	0,4	100,0%	93,8%

Resultados y discusión

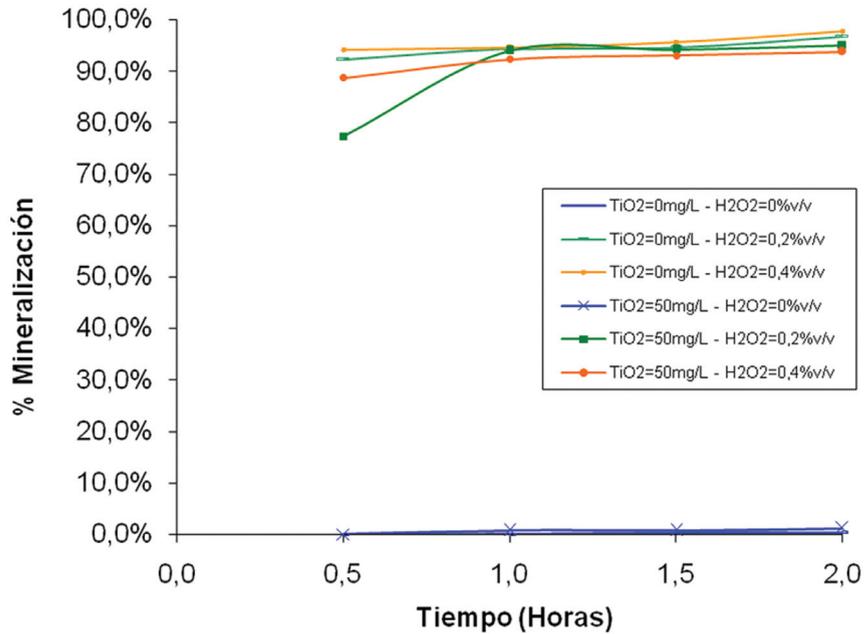
Los resultados obtenidos en el desarrollo experimental del estudio pueden observarse en la tabla 1 y en la gráfica 1; el colorante Tartrazina no es fotoactivo ni se logra una mineralización adecuada del mismo. Se presenta un 0,4% en la mineralización, mediante la irradiación con luz ultravioleta y una longitud de onda de 254 nm, el cual corresponde al porcentaje más bajo obtenido de las combinaciones experimentales exploradas en los procesos de remoción¹⁰ y mineralización del colorante Tartrazina.

También, se observa que la adición de un 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%¹⁰ y una mineralización de la Tartrazina del orden de 1,2%. Estos resultados continúan siendo bajos con respecto a los esperados en el desarrollo experimental de la remoción del colorante.

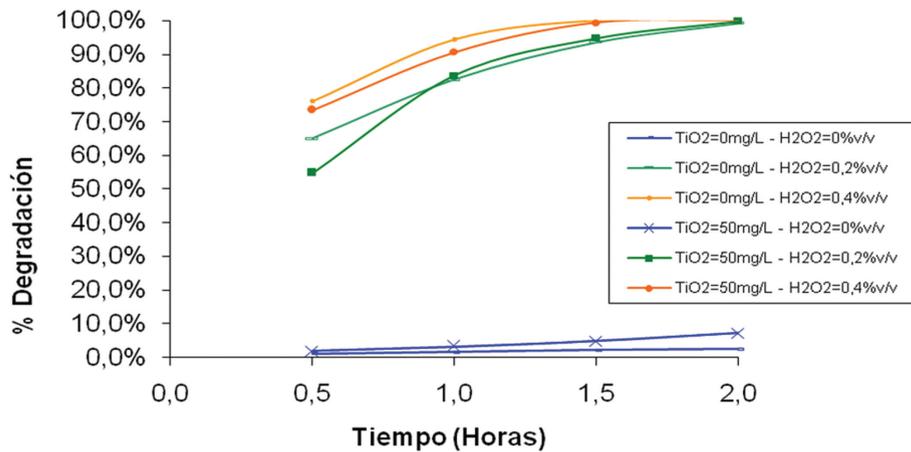
Como se observa en la tabla 1 y las gráficas 1 y 2, la adición del agente oxidante genera un incremento sustancial en la degradación y mineralización del colorante Tartrazina¹⁰. Para las cuatro combinaciones, en las cuales se empleó como agente oxidante el peróxido de hidrógeno, se obtuvieron altos niveles de

remoción y mineralización en las dos horas de tratamiento de las muestras de agua.

Al igual que en el proceso de degradación, las combinaciones de 0 mg/L de TiO_2 y 0,2 %v/v de H_2O_2 , 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 alcanzan buenos porcentajes de mineralización del colorante Tartrazina, los cuales son superiores al 93% de mineralización empleando el parámetro sulfatos. Sin embargo, la combinación que mostró la mejor mineralización fue 0 mg/L de TiO_2 y 0,4 %v/v de H_2O_2 , con un porcentaje de remoción del 97,8%, ligeramente más alto que la combinación de 0 mg/L de TiO_2 y 0,2 %v/v de H_2O_2 , adicionalmente, las combinaciones que emplearon dióxido de titanio alcanzaron porcentajes elevados de remoción de sulfatos pero, ligeramente más bajos que las combinaciones experimentales que solo emplearon peróxido de hidrogeno como agente oxidante. Por lo anterior, se afirma que la presencia del catalizador dióxido de titanio no posee una marcada influencia en el proceso de degradación y mineralización del colorante Tartrazina, como se aprecia en el análisis de la ANOVA, donde se determinó que el valor – P no demuestra una influencia estadísticamente significativa del factor catalizador sobre la respuesta del proceso de mineralización.



Gráfica 1. Mineralización del colorante Tartrazina mediante fotocatalisis empleando dióxido de titanio



Gráfica 2. Degradación del colorante Tartrazina mediante fotocatalisis empleando dióxido de titanio [10]

La mejor combinación para alcanzar menores costos en el empleo y dosificación de reactivos químicos en el proceso de destoxificación es: 0 mg/L de TiO₂ y 0,2 % v/v de H₂O₂, puesto que

se obtienen buenos resultados con menores insumos y se alcanzan niveles adecuados tanto para la degradación, como para la mineralización del colorante Tartrazina.

Tabla 2. Análisis estadístico ANOVA de los datos experimentales de la mineralización del colorante Tartrazina

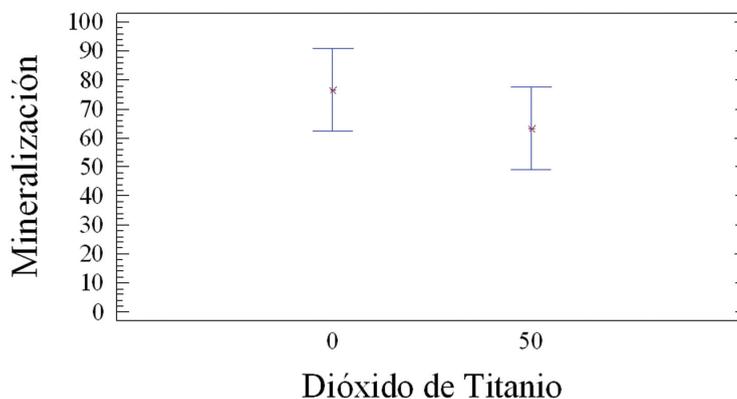
Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio al Cuadrado	Coefficiente F	Valor de p
A: Dióxido de Titanio	1	526,69	526,69	1,29	0,2995
B: Peróxido de Hidrógeno	2	16.094,50	8.047,24	19,70	0,0023
Interacción AB	2	636,71	318,35	0,78	0,5001
Residuos	6	2450,68	408,45		
Total (Corregido)	11	19.708,50			

El análisis estadístico de los datos experimentales se realizó por medio de un ANOVA, como se observa en la Tabla 2; de acuerdo con los valores arrojados de P ($p < 0.05$) el factor del catalizador dióxido de titanio, no posee influencia estadística en la variable respuesta, debido a que el valor de P es superior a 0,05; por otro lado, se admite que el factor del peróxido de hidrógeno, sí tiene una variación significativa en la variable respuesta, es decir, en el porcentaje de mineralización del colorante Tartrazina.

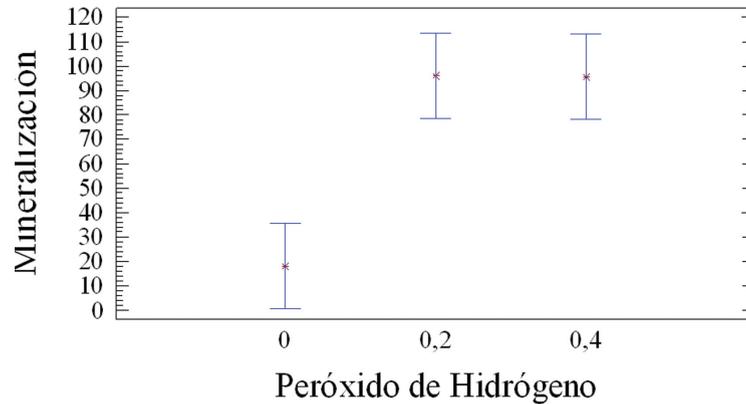
El modelo estadístico descrito anteriormente, sirve para explicar la mineralización del colorante Tartrazina de acuerdo con los factores definidos, por cuanto la regresión lineal del modelo estadístico posee un $R^2 = 0.842248$. Este modelo describe adecuadamente el proceso de mineralización de la Tartrazina realizado en este estudio.

En la gráficas 3, se observa el método utilizado para identificar las diferencias significativas de Fisher²³ (LSD), en donde el catalizador dióxido de titanio, no presenta diferencias significativas en las medias obtenidas experimentalmente entre 0 y 50 mg/L. Se muestra además, que no existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95,0%, debido a la disminución en la variable respuesta al emplear el catalizador (tabla No 1).

Para los intervalos en 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, 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.



Gráfica 3. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para el Dióxido de Titanio



Gráfica 4. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para el Peróxido de Hidrógeno

Conclusión

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 mineralización y degradación, en tanto se favorece la generación de fotoreacciones y de radicales libres hidroxilos.

El colorante Azo Tartrazina se puede degradar y mineralizar mediante el empleo de la oxidación química y la fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio, con las que se logran porcentajes significativos de remoción y mejores resultados desde el punto de vista técnico y económico para la combinación de 0 mg/L de TiO_2 y 0,2 %v/v de H_2O_2 , la cual representa una oxidación química mediante el empleo del peróxido de hidrógeno y alcanza un porcentaje de degradación del 99,3% y de mineralización del orden del 96,8%. De esta forma, se demuestra la eficiencia en la remoción y mineralización del colorante Tartrazina para un tiempo de tratamiento de dos horas.

La implementación de TAO's, como la fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio, demuestra poseer un amplio uso ambiental, en este caso, la remoción y degradación del colorante Tartrazina empleado en la industria de alimentos. De esta forma, se avanza en el conocimiento y aplicación de una de las TAO's a nivel local, al tiempo que se incrementa la oferta tecnológica para disminuir o resolver los impactos negativos sobre nuestro entorno

natural inmediato, se alcanza un desarrollo sostenible, y se implementan programas de producción más limpia a nivel industrial.

Referencias

1. ARROYAVE ROJAS. Joan Amir y CORREA OCHOA, Adrian Alexis. Fotodegradación de Malatión usando colector solar. Medellín, 2001. 104 p. Trabajo de grado (Ingeniería Sanitaria). Universidad de Antioquia.
2. 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. Enero – Junio, 2007. Vol. 3, No. 2, p. 19 – 24.
3. ARROYAVE ROJAS. Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe. Fotodegradación de las aguas residuales con pesticida Mertect en la industria bananera empleando Fotocatalisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero – Junio, 2007. Vol. 4, No. 1, p. 7 – 13.
4. ARROYAVE ROJAS. Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe. 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.

- 5 GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando; et al. Fotocatálisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: investigaciones y aplicaciones. Caldas, Colombia : [S.N], 2007. 174 p.
- 6 GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando et al. Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatálisis. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero – Junio, 2005. Vol. 2, No. 1, p. 15–18.
- 7 GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. Cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 en aguas. En: Revista Lasallista de Investigación. Junio – Diciembre, 2005. Vol. 2, No. 2, p. 21–25.
- 8 GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando; MEJÍA FRANCO, Edwin Alejandro. y SANTA MARÍA ARANGO, Jorge Julián. La fotocatálisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero – Junio, 2004. Vol. 1, No. 1, p. 83–92.
- 9 RED CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO (CYTED). Temática VIII - G. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Brasil : Digital Grafic, 2001. 305 p.
- 10 ARROYAVE ROJAS. Joan Amir; et al. La tartrazina, un colorante de la industria agroalimentaria, degradado mediante procesos de oxidación avanzada. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero – Junio, 2008. Vol. 5, No. 1, p. 20 – 27.
- 11 ARROYAVE ROJAS, Joan Amir y GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. Tecnologías ambientalmente sostenibles. En: Revista de Producción Más Limpia. Julio – Diciembre, 2006. Vol. 1 No. 2, p. 78 – 86.
- 12 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.
- 13 RED COLOMBIANA DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN – NODO ANTIOQUIA. Avances en investigación formativa 2006. Medellín, Colombia: Editorial Artes y letras, 2007. 155 p.
- 14 RED COLOMBIANA DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN – NODO ANTIOQUIA. Avances en investigación formativa 2007. 2ª edición. Medellín, Colombia : Aljara, 2007. 156 p.
- 15 RESTREPO GALLEGU, Mauricio; et al. Sustitución de tartrazina por betacaroteno en la elaboración de bebidas no alcohólicas. En: Revista Lasallista de Investigación. Julio – Diciembre, 2006. Vol. 3 No. 3, p. 7 – 12.
- 16 KAPOR, Marco André; et al. Electroanálisis de corante alimenticios: determinación de indigo carmín e tartrazina. En: Eclética Química. 2001. Vol. 26 No. 01 p. 1 – 20.
- 17 REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD. Resolución Número 00580 de 26 Febrero de 1996, Por la cual se modifica el párrafo primero de la Resolución 10593 de 1985. Bogotá, Colombia : El Ministerio 1996. 12 p.
- 18 RAM, F. S. y ARDERN, K. D. La Biblioteca Cochrane Plus, número 3. Oxford, Reino Unido, 2007.
- 19 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, Colombia : El Ministerio 2005. 10 p
- 20 REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. 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, Colombia : El Ministerio, 2007. 18 p.
- 21 SAWYER, Clair Nathan; McCARTY, Perry L. y PARKIN, Gene F. Chemistry for environmental engineering. 4ª ed. Estados Unidos : McGraw Hill, 2001. 713 p.
- 22 AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA. Standard Methods: for the examination of water and wastewater. 21ª Ed. Baltimore, Estados Unidos : AWWA, 2008.
- 23 MONGOMERY, DC. Response surface methods and other approaches to process optimization. Design and analysis of experiments. 5a ed. Wiley. Nueva York, EEUU. 427 – 500, 2001.