

La Tartrazina, un colorante de la industria agroalimentaria, degradado mediante procesos de oxidación avanzada*

Joan Amir Arroyave Rojas¹, Luís Fernando Garcés Giraldo²,
Álvaro de Jesús Arango Ruiz³, Carlota Marcela Agudelo López⁴

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

Tartrazine, a dye from the agro alimentary industry, degraded by advanced oxidation processes

Tartrazina, um corante da indústria agro - alimentar, degradado mediante processos de oxidação avançada.

Resumen

Introducción. La prevención y control de la contaminación ambiental es una de las principales responsabilidades y preocupaciones del hombre moderno. En los últimos años, se han registrado un número significativo de investigaciones para la prevención y el control de dicha contaminación; dentro de éstas, la fotodegradación de contaminantes, forma parte del grupo de tecnologías de oxidación avanzada, que busca reducir y/o eliminar compuestos persistentes como lo son los colorantes Azo. **Objetivo.** Evaluar la degradación del colorante Tartrazina empleando fotocátalisis 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 TiO₂ y 0,4 %v/v del agente oxidante peróxido de hidrógeno, además

de las combinación experimental del proceso fotoquímico de la fotocátalisis heterogénea con los ensayos experimentales de 50 mg/L de TiO₂ y 0,2 %v/v H₂O₂, y 50 mg/L de TiO₂ y 0,4 %v/v H₂O₂ 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 Clave: 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 preoccupations of modern people. In the latter years, a considerable number of research works concerning this subject have been registered. Among these, photodegradation of pollutants is a part of the group of the advanced oxidation technologies that aim to reduce or eliminate persistent compounds such as the Azo dyes. **Objective.** To evaluate the degradation of the Tartrazine dye by the use of heterogeneous photo catalysis with titanium dioxide and an ultra violet light

* Investigación financiada con apoyo del Fondo de Fomento a la investigación de la Corporación Universitaria Lasallista

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. Especialista en Ingeniería Ambiental. Magíster en Ingeniería Ambiental. Director grupo de investigación GAMA. Decano Facultad de Ingenierías. Corporación Universitaria Lasallista/ ³ Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Área Ambiental. Docente de la Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Lasallista, integrante 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: Joan Amir Arroyave Rojas , e-mail: joarroyave@lasallista.edu.co

Fecha de recibo: 16/07/2007; fecha de aprobación: 05/02/2008

lamp. **Materials and methods.** An experimental factorial randomized design. For the experimental development, an ultra violet light lamp, a glass recipient for keeping the Tartrazine dye in acuos solution for its treatment and a bomb that allowed the recirculation of the solution through the photo reactor's system were used. The degradation of the Tartrazine dye was determined by using ultraviolet/visible spectrophotometry. **Results.** A good removal index of the Tartrazine dye was obtained for the combination of chemical oxidation by the use of 0 mg/L of TiO_2 and 0,4%v/v of the hydrogen peroxide oxidation agent, and same result was obtained for the experimental combination of the photochemical process of heterogeneous photo catalysis with experimental rehearsals with 50 mg/L of TiO_2 and 0,2%v/v H_2O_2 , and 50mg/L of TiO_2 and 0,4%v/v H_2O_2 for a removal percentage that equals 100,0%. **Conclusion.** The advanced oxidation processes are adequate for removing and eliminating the Tartrazine dye.

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

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 fotocatalises heterogênea com dióxido de titânio e lustre de luz ultravioleta. **Materiais e métodos.** Empregou-se um desenho experimental fatorial aleatorizado; para o desenvolvimento experimental se utilizou um lustre de luz ultravioleta, um reservatório de vidro para o armazenamento do corante Tartrazina em solução aquosa 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 fotocatalises heterogênea 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 éstos 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 alimentos¹ 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,

adicionalmente se emplea para obtener colores verdes al mezclarlo con colorantes azules.

Dicho colorante es ampliamente utilizado desde 1916 en productos de repostería, derivados cárnicos, sopas preparadas, conservas vegetales, salsas, helados, postres, caramelos y otras golosinas; también se utiliza para colorear bebidas refrescantes de naranja y limón; por ser uno de los colorantes más empleados su utilización se realiza en más de sesenta países del mundo, incluyendo Estados Unidos y la Unión Europea.

De esta forma, se observa que este colorante es un producto sintético de un espectro amplio de utilización, en investigaciones recientes se ha tratado de generar productos sustitutos para dicho colorante buscando reducir el consumo de dicho producto, debido a que éste se ha ido desfavoreciendo por algunos posibles efectos

secundarios en su consumo, para lo cual se recomienda a los titulares de productos clasificados como alimentos, cosméticos o medicamentos que contengan Tartrazina que deben proceder a modificar el registro sanitario³⁻⁶, y deben incluir la expresión en el prompto "*Contiene Tartrazina que puede producir reacciones alérgicas, tipo de angioedema, asma, urticaria y shock anafiláctico*"; lo anterior 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 vertimiento y efluentes contaminantes, y en especial la aplicación de tecnologías ambientalmente sostenibles⁷ en los procesos industriales, reducen 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)⁸⁻¹⁶, 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 ambiente⁸⁻¹⁶.

El proceso de destoxificación mediante fotocátalisis, 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 oxidación⁸⁻¹⁶, 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}.

El radical libre hidroxilo es el segundo agente oxidante después del flúor ($\text{HO}\cdot$), $E_0 = -2,8 \text{ V vs. flúor}$, $E_0 = -3,0 \text{ V}$), 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^{8,9,11-13,16}.

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^{9,10}. 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 1. Para lograr un desarrollo experimental apropiado y el cumplimiento de los supuestos de residuales, se ejecutaron tres replicas de los ensayos y de forma aleatoria.

Resultados

De acuerdo a 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 1 y en la gráfica 1; se obtiene que el colorante no es fotoactivo, por lo que no presenta degradación significativa, se logra un incremento 3% en la degradación mediante la irradiación con luz ultravioleta con una longitud de onda de 254 nm.

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 este muy bajo con respecto a las demás combinaciones realizadas.

Como se observa en la tabla 1 y en 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 empleo como agente oxidante el peróxido de hidrógeno se obtuvo 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 de los experimentos que emplea peróxido de hidrógeno, con un 99% de remoción, obtenien-

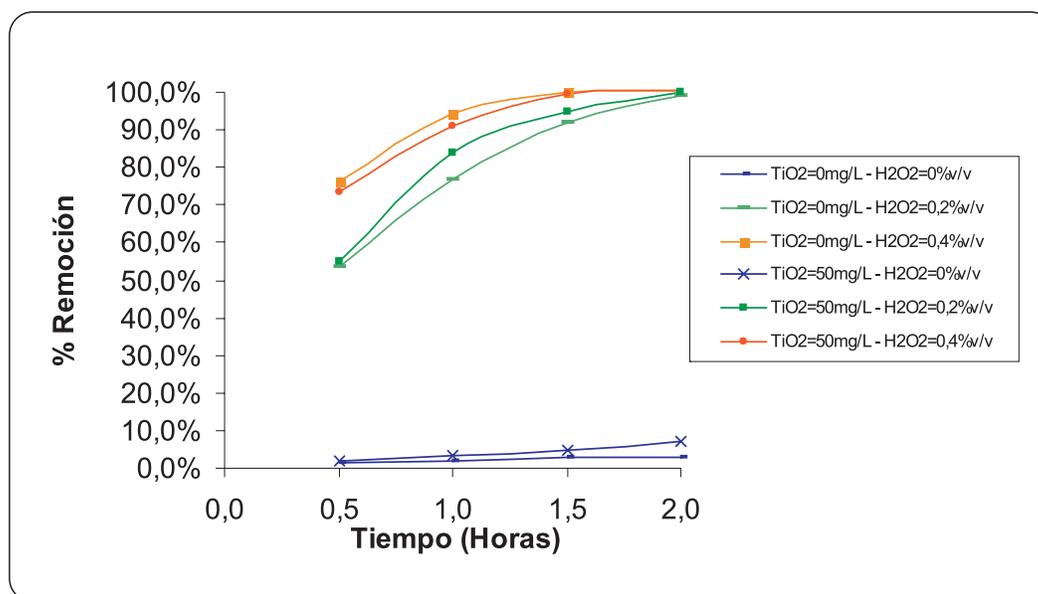
Tabla 1. Combinaciones Experimentales de TiO_2 , H_2O_2 y porcentajes de remoción obtenidos

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

do 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 al nivel de significancia definido ($p < 0,05$) se encuentra que 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.



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

Por lo tanto, los resultados obtenidos del modelo estadístico empleado, sirven para explicar la

degradación del colorante Tartrazina de acuerdo a los factores definidos.

Tabla 2. Análisis estadístico ANOVA de los datos experimentales

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio al Cuadrado	F	Valor de p
Dióxido de Titanio (A)	1	4,56	4,56	6,03	0,0494
Peróxido de Hidrógeno (B)	2	23488,20	11744,10	15520,87	<0,001
Interacción (AxB)	2	4,09	2,04	2,70	0,1458
Residuos	6	4,54	0,76		
Total (Corregido)	11	23501,40			

Adicionalmente, se observa que la interacción entre las dos variables empleadas para la degradación del colorante Tartrazina, dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno, no representan una variación significativa desde el punto de vista estadístico sobre la variable respuesta (porcentaje de remoción), por lo tanto, se logran mejores resultados cuando se emplean los factores por separado o de forma individual; además, se encuentra que la remoción del colorante posee mayor sensibilidad a la aplicación del peróxido de hidrógeno como agente oxidante, debido a que valor de probabilidad es más bajo que para el otro factor.

En las 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 diferencia significativas entre las medias obtenidas experimentalmente entre 0 y 50 mg/L de 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.

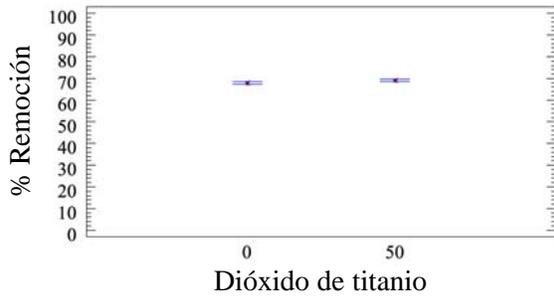
También, se realizó la prueba de normalidad para los residuales de acuerdo al análisis del modelo experimental, como se puede observar en las gráficas 4 y 5 de probabilidad de normalidad para residuales y el histograma de los residuales, se puede concluir que el modelo se comporta con distribución normal,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

Por otro lado, se hizo 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 dicho 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.

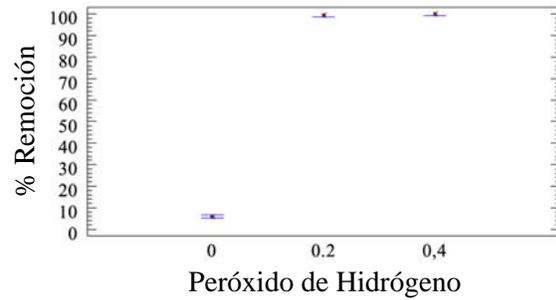
Por lo anterior, se concluye que el diseño de experimentos y el desarrollo experimental, para realizar este estudio, representa con un grado de confianza del 95% el fenómeno de la degradación del colorante Tartrazina mediante la fotodegradación empleando dióxido de titanio y lámpara de luz ultravioleta.

Discusión

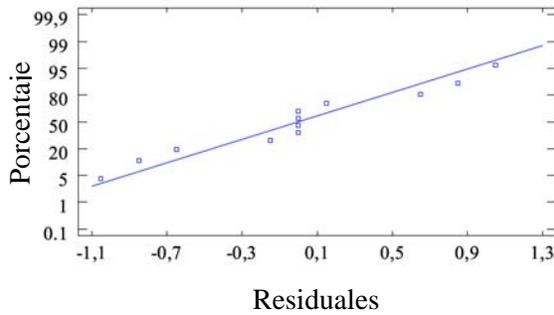
Como se pudo apreciar en este estudio, a medida que se incrementa el tiempo de tratamiento e irradiación del agua residual con el contenido del colorante Tartrazina, se logra un mayor porcentaje de remoción, debido a que se favorece la generación de fotorreacciones y de radicales libres hidroxilos, los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



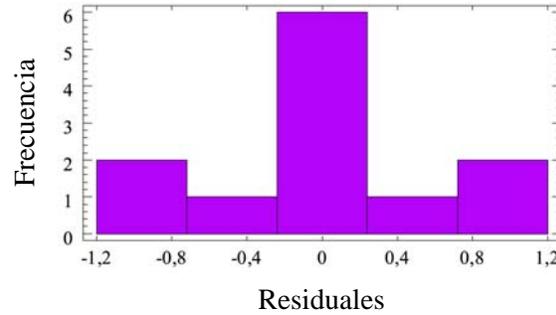
Gráfica 2. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para el dióxido de titanio



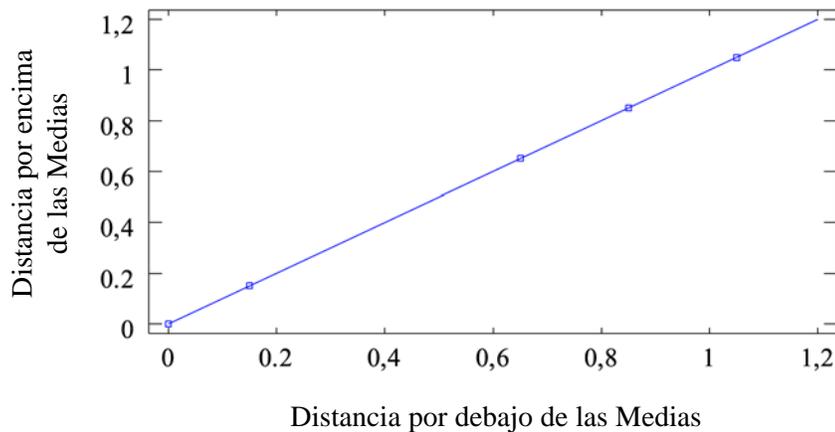
Gráfica 3. Medias e Intervalos de Confianza 95% LSD para el peróxido de Hidrógeno



Gráfica 4. Probabilidad de Normalidad para Residuales



Gráfica 5. Histograma de Residuales



Gráfica 6. Asimetría de Residuales

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 un porcentajes de remoción del 100% del colorante, excepto para la combinación de 0 mg/L de TiO₂ y 0,2 %v/v de H₂O₂, 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%), 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 POAs, 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 se haga más estable y difícil de degradar en condiciones ambientales. De esta forma, se avanza en el conocimiento y aplicación de una de las POAs a nivel local, incrementado la oferta tecnológica 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 No 3 (Julio – Diciembre, 2006), p. 7 – 12.
2. KAPOR, Marco André. et al. Electroanálisis de colorante alimenticio: determinación de indigo carmín e tartrazina. En: Eclética Química. Vol. 26, No 01. (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: Ministerio de Salud, 1996.
4. RAM, F. S. y ARDERN, K. D. La Biblioteca Cochrane Plus, número 3. Oxford, Reino Unido: s.n., 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, Colombia: El Ministerio, 2005.
6. _____. Resolución 0670 del 9 de marzo de 2007, Por la cual se establece el reglamento técnico de emergencia sobre los requisitos físico-químicos 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.
7. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir y GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando. Tecnologías Ambientalmente Sostenibles. En: Revista de Producción Más Limpia. Vol. 1, No. 2 (Julio – Diciembre) 2006. p.78 – 86
8. Red Temática VIII - G. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Cooperación Iberoamericana. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Brasil: Red Temática, 2001. 305 p.
9. ARROYAVE ROJAS. Joan Amir y CORREA OCHOA, Adrian Alexis. Fotodegradación de Malatión usando colector solar. 2001; 104 p. Trabajo de grado (Ingeniero Sanitario). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingenierías. Ingeniería Sanitaria.
10. ARROYAVE ROJAS. Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe. Fotodegradación del Pesticida Merteck empleando Fotofenton con Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 3, No. 2 (Ene. – Jun. 2007); p. 19 – 24.
11. GARCÉS GIRALDO, Luís 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 (Ene. – Jun. 2004); p. 83–92.
12. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe. Fotodegradación de las aguas residuales con pesticida Merteck en la industria bananera empleando Fotocatálisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 4, No. 1 (Ene. – Jun. 2007); p. 7 – 13.

13. GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando et al. 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.
14. 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. (Jun. – Dic. 2005); p. 21–25.
15. TELLO RENDÓN, Erick Danilo. Optimización de tecnologías fotocatalíticas de oxidación avanzada aplicada al tratamiento de residuos líquidos de laboratorio. Palma de Gran Canaria : Departamento de Química, Universidad de la Palma de Gran Canaria, 2000. 329 p.
16. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. et al. Fotocatalisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: Investigaciones y aplicaciones. Caldas, Colombia: s.n., 2007. 174 p.