



Degradación y mineralización del colorante rojo punzó empleando el reactivo de Fenton*

Joan Amir Arroyave Rojas** / Edna Margarita Rodríguez Gaviria***
Carlos Alberto Barón Aristizábal**** / y Cristian Camilo Moreno Salazar****

Degradation and mineralization of the ponceau red dye by the use of the Fenton reagent

Degradação e mineralização do corante vermelho incandescente empregando o reativo de fenton

RESUMEN

Introducción. Este trabajo presenta el empleo de una tecnología de oxidación avanzada para la remoción y mineralización del colorante rojo punzó, el cual es ampliamente utilizado en la industria de alimentos en los ámbitos local, nacional e internacional. **Objetivo.** Evaluar la degradación y mineralización del colorante rojo punzó empleando la reacción de Fenton. **Materiales y métodos.** Se empleó un reactor compuesto por una cuba de vidrio, que se utilizó como reservorio para el almacenamiento de la muestra problema y el lugar de la reacción de degradación; adicionalmente, se dispuso de un sistema de mezcla interno para mantener la solución homogénea en el periodo de experimentación, el cual fue de dos (2) horas. Se utilizó una concentración inicial de 100 mg/L del colorante rojo punzó y se mantuvo la solución a tratar a un pH igual a 3,0. La degradación del colorante se determinó mediante el empleo

*Artículo derivado del proyecto de investigación “Degradación del colorante Rojo punzó empleando el reactivo de Fenton”, realizado en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. **Ingeniero Sanitario, Especialista en construcción sostenible, Investigador, Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Decano, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. ***Ingeniera Civil, Especialista en Gestión Ambiental, Magister en Medio Ambiente y Desarrollo, Doctorando en Ingeniería. Docente y Líder, Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. ****Estudiante de Ingeniería Ambiental, Semillero de Investigación en Ciencias Ambientales – SICA, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

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

Artículo recibido: 19/12/2011; Artículo aprobado: 15/05/2012

de la espectrofotometría UV/Visible a una longitud de onda de 505 nm, y la mineralización se determinó por la aparición de sulfatos como subproducto de la degradación a una longitud de onda de 420 nm, de acuerdo con el parámetro Sulfatos, de los Métodos normalizados para el análisis de aguas y aguas residuales. **Resultados.** Se logró la degradación y mineralización del colorante rojo punzó empleando diferentes combinaciones de oxidación del reactivo de Fenton; adicionalmente, el mejor porcentaje de remoción y mineralización obtenido fue de 97,8 y 86,2%, respectivamente, del colorante mediante la combinación de la reacción de Fenton, correspondiente a 10 mg/L de Fe^{3+} y 0,10 %v/v del agente oxidante peróxido de hidrógeno. **Conclusión.** La reacción de Fenton es adecuada para degradar y mineralizar el colorante rojo punzó, y alcanza elevados porcentajes de remoción y mineralización de dicho colorante.

Palabras clave: rojo punzó, colorante azo, hierro (III), mineralización, peróxido de hidrógeno, industria de alimentos.

ABSTRACT

Introduction. This paper introduces the use of an advanced oxidation technique to remove and mineralize the ponceau red dye, which is widely used in food industries locally, nationally and internationally. **Objective.** To evaluate the degradation and the mineralization of the ponceau red dye, by the use of the Fenton reagent. **Materials and methods.** A reagent consisting of a glass bucket which served as a reservoir for the sample and for the degradation. Additionally, an internal mixture system was installed to keep the solution homogeneous during the experimentation period, which took two (2) hours. An initial concentration of 100 mg/L of the ponceau red dye was used, and the solution to be treated was kept as a pH of 3,0. The degradation of the dye was determined by the use of UV/Visible spectrophotometry at a 505 nm. Of wavelength and the mineralization was determined by the appearing of sulfates as a by-product of the degradation at 420nm of wavelength, according with the Sulfates parameter taken from the normalized methods to analyze water and waste water. **Results.** The degradation and the mineralization of the ponceau red dye was achieved by the use of several combinations of the Fenton reagent. Additionally, the best percentages of removal and mineralization of the dye obtained were 97,8 and 86,2%, respectively, by means of the combination of the Fenton reaction that corresponded to 10 mg/L of Fe^{3+} and 0,10 %v/v of the oxidation agent hydrogen peroxide. **Conclusion.** The Fenton reaction is adequate to degrade and mineralize the ponceau red dye and reaches high removal and mineralization percentages of that dye.

Key words: ponceau red, azo dye, iron (III), mineralization, hydrogen peroxide, food industry.

RESUMO

Introdução. Este trabalho apresenta o emprego de uma tecnologia de oxidação avançada para a remoção e mineralização do corante vermelho incandescente, o qual é amplamente utilizado na indústria de alimentos nos âmbitos local, nacional e internacional. **Objetivo.** Avaliar a degradação e mineralização do corante vermelho incandescente empregando a reação de Fenton. **Materiais e métodos.** Empregou-se um reator composto por uma cuba de vidro, que se utilizou como reservatório para o armazenamento da mostra problema e o lugar da reação de degradação; adicionalmente, dispôs-se de um sistema de mistura interno para manter a solução homogênea no período de experimentação, o qual foi de dois (2) horas. Utilizou-se uma concentração inicial de 100 mg/L do corante vermelho incandescente e se manteve a solução a tratar a um PH igual a 3,0. A degradação do corante se determinou mediante o emprego da espectrofotometria UV/Visível a uma longitude de onda de 505 nm, e a mineralização se determinou pela aparição de sulfatos como subproduto da degradação a uma longitude de onda de 420 nm, de acordo com o parâmetro Sulfatos, dos Métodos normalizados para a análise de águas e águas residuais. **Resultados.** Conseguiu-se a degradação e mineralização do corante vermelho incandescente empregando diferentes combinações de oxidação do reativo de Fenton; adicionalmente, a melhor porcentagem de remoção e mineralização obtido foi de 97,8 e 86,2%, respectivamente, do corante mediante a combinação da reação de Fenton, correspondente a 10 mg/L de Fe^{3+} e 0,10 %v/v do agente oxidante peróxido de hidrogênio. **Conclusão.** A reação de Fenton é adequada para degradar e mineralizar o corante vermelho incandescente, e atinge elevadas percentagens de remoção e mineralização de dito corante.

Palavras importantes: vermelho incandescente, corante azo, ferro (III), mineralização, peróxido de hidrogênio, indústria de alimentos.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de diferentes sectores industriales en la actualidad ha dependido del empleo de productos y aditivos artificiales; entre los sectores industriales en los cuales se aplican estos de manera intensiva, está la industria de los alimentos la cual incorpora dichos productos en la formulación, procesamiento y producto terminado. De la gran cantidad de aditivos que existen, los colorantes comprenden una familia amplia que atrae la atención de los profesionales de la ciencia de los alimentos, por las numerosas aplicaciones y generación de nuevos productos; por otro lado, se ha puesto atención debido a diferentes afirmaciones, unas con fundamento y otras simples especulaciones, sobre sus efectos adversos en la salud de los consumidores^{1,2}.

El rojo punzó es uno de los colorantes artificiales más utilizados en la industria de alimentos¹ para la elaboración de productos cárnicos, mermeladas, especias y frutas procesadas; y pertenece a la familia de los colorantes azoicos²; dicho colorante les confiere a los alimentos y bebidas un tono rojo; por otro lado, se emplea para obtener diferentes gamas de colores cálidos en las mezclas alimenticias para diferentes productos como golosinas, bebidas, carnes frías, entre otros productos.

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 su consumo debido a que este se ha ido desfavoreciendo por algunos posibles efectos secundarios, pues este tipo de colorante no se considera totalmente inocuo^{3,4,12}.

El colorante artificial rojo punzó 4R consiste fundamentalmente de 2-hidroxi-1-(4-sulfonato-1-naftilazo)-Naftaleno -6,8-disulfonato trisódico, junto con cloruro sódico o sulfato sódico como principales componentes incoloros, por lo que se describe como sal sódica. El empleo de cualquier tipo de colorante se debe regular según las cantidades permitidas por la legislación, tal como rezan el Decreto 2106 de 1983 y la Resolución 10593 de 1985, los cuales establecen las normas para prevenir peligros para la salud de los consumidores¹², dosificaciones que son el resultado de diferentes investigaciones.

La presencia de colorantes en los cuerpos de agua tiene graves consecuencias ambientales: por un lado, dificultan la difusión del oxígeno y la luz^{1,2} y, al mismo tiempo, producen un aspecto antiestético. Adicionalmente, estos compuestos, debido a su naturaleza química, son considerados como persistentes en el ambiente y algunos de sus precursores o subproductos son cancerígenos.

Entre los problemas ambientales más serios están los ocasionados por efluentes con color, provenientes de procesos industriales, entre los cuales los colorantes azoicos son los más usados en la industria textil y alimentaria^{2,11}, papelera y de cosméticos, entre otras; luego, son vertidos a los efluentes sin ningún tratamiento lo que ocasiona consecuencias graves para el ambiente debido a que poseen una alta carga contaminante y son difíciles de degradar; además, tienen efectos perjudiciales para la salud debido a sus propiedades carcinogénicas, alergénicas y mutagénicas¹⁰⁻¹².

El color puede ser removido por procesos fisicoquímicos¹³⁻¹⁵ pero la consecuencia es agregar más contaminación al ambiente; también pueden ser degradados por procesos biológicos¹⁰⁻¹³. En la actualidad se encuentran en desarrollo las aplicaciones de los procesos avanzados de oxidación en la remoción y mineralización de colorantes^{15,16}, como una alternativa eficiente para el tratamiento de este tipo de vertimientos¹⁷⁻²⁸.

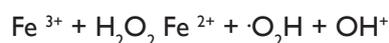
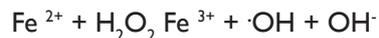
La implementación de programas de producción más limpia enmarcados en la disminución de vertimiento y efluentes contaminantes, y en especial la aplicación de tecnologías ambientalmente sostenibles¹⁴ en los procesos industriales, reducen la demanda de bienes y servicios ambientales en nuestros ecosistemas; es por ello, que en la actualidad, se encuentra en desarrollo la aplicación de tecnologías de procesos avanzados de oxidación (POA)¹¹⁻²⁸, 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; dichos radicales reaccionan con el contaminante y lo transforman en compuestos inocuos al ambiente¹¹⁻²⁸.

En investigaciones biotecnológicas con tratamientos anaeróbicos¹², se ha reportado que concentraciones elevadas del colorante rojo punzó producen inhibición de la actividad de biodegradación de los microorganismos presentes en los tratamientos anaeróbicos empleados; por lo tanto, se fundamenta la necesidad del empleo de Tecnologías Avanzadas de Oxidación –TAO–, para la degradación de compuestos recalcitrantes como el colorante rojo punzó a compuestos simples fáciles de biodegradar por procesos biológicos y/o inocuos para el ambiente.

Actualmente existen varias tecnologías disponibles para el tratamiento de efluentes con colorantes; entre estas están algunos métodos físico-químicos como adsorción, coagulación-floculación, oxidación avanzada y filtración en membranas; estos métodos pueden llegar a ser muy efectivos, aunque muchas veces son complejos, de difícil aplicación a gran escala; sin embargo, el desarrollo tecnológico con respecto a las tecnologías avanzadas de oxidación propende por la implementación y conocimiento en los ámbitos local y nacional sobre las aplicaciones de dichas tecnologías, las cuales se han empleado en la degradación de un sinnúmero de contaminantes ambientales como pesticidas^{11-17,21-23}, colorantes^{15, 18, 19,24-28}, residuos de laboratorios²⁰, entre otros.

La reacción de Fenton^{11-14,20-22} es reconocida como una de las más clásicas y más poderosas reacciones de oxidación en aguas. Esta reacción se realiza sin la presencia de radiación ultravioleta; recientemente se ha demostrado que el poder oxidante de la reacción de Fenton puede ser incrementado significativamente empleando radiación ultravioleta o ultravioleta/visible (reacción de Fotofenton)^{11-15, 21-23}; el reactivo de Fenton es una mezcla de peróxido de hidrógeno e ion ferroso (Fe^{2+}) que produce el radical libre hidroxilo ($\text{HO}\cdot$) y el ion férrico (Fe^{3+}) (Ver ecuaciones)^{13,21}.



El radical libre hidroxilo es la especie oxidante primaria formada por la descomposición del peróxido de hidrógeno catalizada por Fe^{2+} en ausencia de agentes quelatantes del ion ferroso. El radical libre hidroxilo es el segundo agente oxidante después del flúor ($\text{HO}\cdot$, $E_0 = -2.8\text{V}$ frente a flúor, $E_0 = -3.0\text{V}$), y es capaz de realizar oxidaciones no específicas de algunos compuestos orgánicos¹¹⁻²⁸. 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 mineralización¹¹⁻¹⁸.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó un reactor compuesto por una cuba de vidrio, que se utilizó como reservorio para el almacenamiento de la muestra problema y el lugar de la reacción de degradación; adicionalmente, se dispuso de un sistema de mezcla interno para mantener la solución homogénea en el período de experimentación, el cual se determinó en dos (2) horas. Se utilizó una concentración inicial de 100 mg/L del colorante rojo punzó y se mantuvo la solución a tratar a un pH igual a 3,0.

Se adicionó la concentración de catalizador (hierro (III)) y agente oxidante (peróxido de hidrógeno) correspondiente a la combinación de factores 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, y de forma aleatoria.

El diseño experimental utilizado para esta investigación fue un diseño factorial de dos factores (concentración de catalizados –hierro (III) y agente oxidante– peróxido de hidrógeno), completamente aleatorizado. Los niveles de cada uno de los factores se encuentran consignados en la tabla I; al final de los ensayos se determinó la remoción del colorante mediante el empleo de la espectrofotometría UV/Visible a una longitud de onda de 505 nm, y la mineralización se determinó por la aparición de

sulfatos como subproducto de la degradación a una longitud de onda de 420 nm, de acuerdo con el parámetro de sulfatos de los métodos normalizados para el análisis de aguas y aguas residuales²⁹.

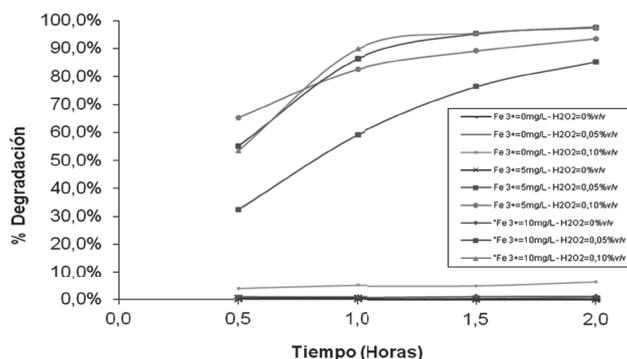
Tabla I. Combinaciones experimentales de hierro (III), peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y porcentajes de remoción obtenidos

Fe ³⁺ (mg/L)	H ₂ O ₂ (%v/v)	% Remoción	% Mineralización
0,0	0,0	0,0%	0,0%
0,0	0,05	1,0%	14,6%
0,0	0,10	6,5%	17,1%
5,0	0,0	0,4%	0,0%
5,0	0,05	85,2%	51,9%
5,0	0,10	93,5%	83,3%
10,0	0,0	1,2%	2,2%
10,0	0,05	97,5%	62,3%
10,0	0,10	97,8%	86,2%

Fuente: elaboración propia

RESULTADOS

En la tabla I y la gráfica I se muestran los resultados experimentales obtenidos de la remoción del colorante rojo punzó mediante el empleo de la reacción de Fenton utilizando hierro (III) y peróxido de hidrógeno; de acuerdo con lo anterior, se puede apreciar que la adición del agente catalizador en la reacción de Fenton (hierro (III)) en ausencia del agente oxidante (peróxido de hidrógeno) no favorece la reacción de degradación del colorante, debido a que se alcanzan porcentajes de remoción incipientes; las combinaciones que representan este proceso son 10 mg/L de Fe³⁺ y 0,0 %v/v de H₂O₂ y 5 mg/L de Fe³⁺ y 0,0 %v/v de H₂O₂ para los cuales se logran porcentajes de remoción de 1,2 % y 0,4 %, respectivamente, siendo estos los más bajos de las combinaciones experimentales realizadas en la presente investigación, al igual de la combinación en la cual no se aplicó ningún reactivo, es decir, 0 mg/L de Fe³⁺ y 0 %v/v de H₂O₂.



Gráfica I. Degradación del colorante rojo punzó mediante el empleo de la reacción de Fenton

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se observa que el colorante rojo punzó se degrada poco mediante el empleo de oxidación química con el reactivo peróxido de hidrógeno: esto se aprecia debido a su baja degradación al someterlo a las combinaciones y concentraciones que representan este proceso de oxidación, las cuales corresponden a los ensayos de 0 mg/L de Fe^{3+} y 0,05 %v/v de H_2O_2 , y 0 mg/L de Fe^{3+} y 0,10 %v/v de H_2O_2 , en los que se obtienen porcentajes de remoción para el período de reacción de dos (2) horas iguales a 1,0 % y 6,5 %, respectivamente.

Adicionalmente, se observa que de acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla I y la gráfica I, la adición del catalizador hierro (III) genera un incremento sustancial en la degradación del colorante rojo punzó para las cuatro combinaciones en las que se empleó como catalizador el hierro (III) en combinación con el agente oxidante peróxido de hidrógeno (H_2O_2), debido a que se obtuvieron altos niveles de remoción en las dos (2) horas de tratamiento de la muestra de agua con contenido del colorante rojo punzó. Las combinaciones en las que se emplean ambos reactivos corresponden al proceso de oxidación avanzada de la reacción de Fenton, debido a que deben presentarse el catalizador y el agente oxidante para que generen la producción de radicales libres hidroxilos, y estos, a su vez, para que se den las reacciones y procesos de degradación y mineralización del contaminante.

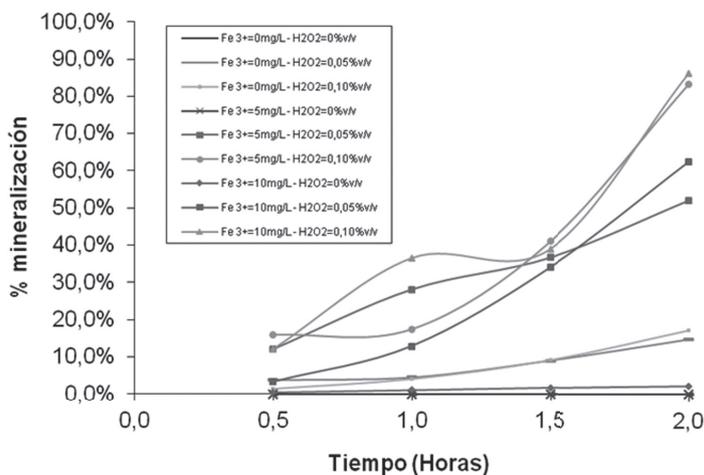
La combinación de 10 mg/L de Fe^{3+} y 0,10 %v/v de H_2O_2 alcanza el mejor porcentaje de remoción de los experimentos realizados con un 97,8%, que es un buen resultado en la degradación del colorante rojo punzó. De esta misma forma, se observa que las combinaciones experimentales de 10 mg/L de Fe^{3+} y 0,05 %v/v de H_2O_2 , y 5 mg/L de Fe^{3+} y 0,10 %v/v de H_2O_2 logran una remoción similar; sin embargo, las diferencias entre los porcentajes de remoción entre la primera combinación y las dos siguientes no son significativos.

La combinación de 10 mg/L de Fe^{3+} y 0,10 %v/v de H_2O_2 , alcanza una remoción del colorante del orden de 97,8% de todas las combinaciones experimentales que representan la reacción de Fenton; sin embargo, todas las combinaciones que permiten la reacción de Fenton logran resultados significativos; adicionalmente, si se analiza el factor económico de acuerdo con la adición de reactivos y concentraciones, la mejor combinación para lograr la remoción y degradación del colorante corresponde a 10 mg/L de Fe^{3+} y 0,05 %v/v de H_2O_2 .

Como se puede apreciar en las gráficas I y 2, a medida que se incrementa el tiempo de tratamiento del agua residual con el contenido del colorante rojo punzó, se logra un mayor porcentaje de remoción y mineralización, debido a que favorece la generación de reacciones de degradación y oxidación, y permite la formación de radicales libres hidroxilos, los cuales, a su vez, efectúan la remoción y mineralización del colorante.

Analizando la mineralización del colorante rojo punzó, se encuentra que los mejores resultados son obtenidos para las combinaciones experimentales de 10 mg/L de Fe^{3+} y 0,10 %v/v de H_2O_2 , y 5 mg/L de Fe^{3+} y 0,10 %v/v de H_2O_2 con porcentajes de remoción de 86,2% y 83,3%, respectivamente; esto nos permite considerar que la degradación del colorante por el proceso del reactivo de fenton genera productos inocuos al ambiente, disminuyendo los impactos sobre el mismo.

Adicionalmente, se realizó el análisis estadístico de los datos experimentales, empleando para ello un ANOVA, como se puede observar en la tabla 2 y 3 para la degradación y mineralización del colorante rojo punzó, respectivamente; de acuerdo con los valores arrojados de P ($p < 0,05$) se encuentra que los factores de la concentración de hierro (III) y agente oxidantes (peróxido de hidrógeno) tienen influencia significativa en las variables respuestas, es decir, en el porcentaje de remoción y mineralización del colorante rojo punzó, y de esta misma forma, la interacción doble entre ambos factores.



Gráfica 2. Mineralización del colorante rojo punzó mediante el empleo de la reacción de Fenton

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Análisis estadístico ANOVA de los datos experimentales para la degradación del colorante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio al cuadrado	Coficiente F	Valor de p
A: hierro (III)	2	21820,0	10910,0	2686,21	0,0000
B: peróxido de hidrógeno	2	23971,8	11985,9	2951,11	0,0000
Interacción AB	4	10657,7	2664,43	656,03	0,0000
Residuos	18	73,1067	4,06148		
Total (Corregido)	26	56522,6			

Fuente: elaboración propia

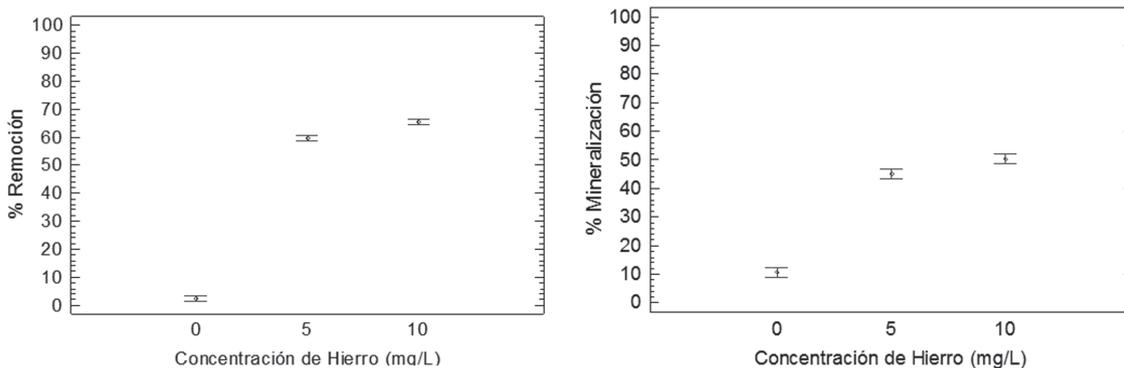
En la gráfica 3 se observa el método utilizado para identificar las diferencias significativas de Fisher (LSD), en donde se evidencia que para la interrelación entre el catalizador hierro (III), se presentan diferencias significativas entre las medias obtenidas experimentalmente para las combinaciones experimentales. Por lo tanto, se muestra que existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95,0% entre dichos niveles; es decir, que las variaciones de los niveles en los factores sí poseen influencia sobre las variables respuesta, y que a medida que se incrementa el valor de los niveles se obtiene mejor respuesta sobre la degradación y la mineralización del colorante rojo punzó.

De igual forma, en la gráfica 4, se observa que para los intervalos de los niveles del agente oxidante peróxido de hidrógeno con un nivel de confianza del 95%, las variaciones en las combinaciones experimentales poseen diferencias significativas entre los niveles experimentales y las variables respuesta, es decir, la remoción y mineralización del colorante rojo punzó.

Tabla 3. Análisis estadístico ANOVA de los datos experimentales para la mineralización del colorante

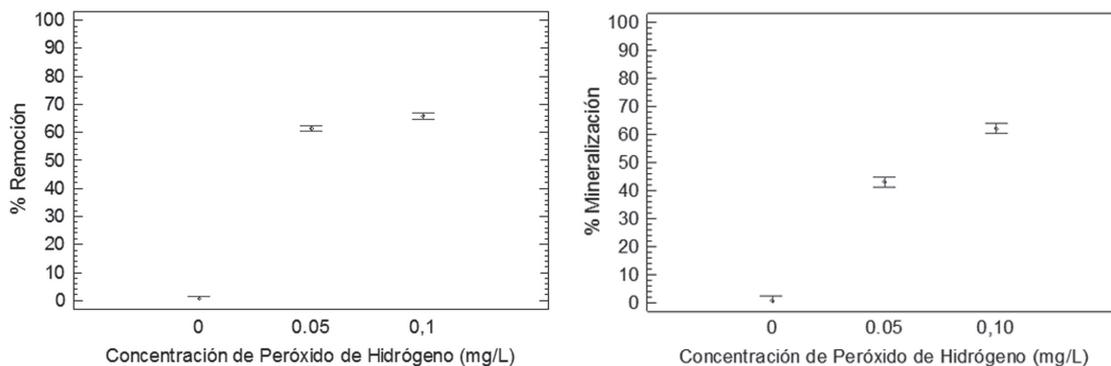
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio al cuadrado	Coefficiente F	Valor de p
A: hierro (III)	2	8386,01	4193,0	332,82	0,0000
B: peróxido de hidrógeno	2	17802,9	8901,44	706,55	0,0000
Interacción AB	4	4584,44	1146,11	90,97	0,0000
Residuos	18	226,773	12,5985		
Total (Corregido)		31000,1			

Fuente: elaboración propia



Gráfica 3. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para el hierro (III)

Fuente: elaboración propia



Gráfica 4. Medias e intervalos de confianza 95% LSD para el peróxido de hidrógeno

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

Se observa que el colorante rojo punzó se puede degradar mediante el empleo de la reacción de fenton, debido a que en el presente estudio se alcanzaron porcentajes de remoción del 97,8% del colorante; por lo tanto, se evidencia que el empleo de dicho proceso de oxidación avanzada es eficiente en la remoción del colorante rojo punzó para un tiempo de tratamiento de dos (2) horas. De igual forma, se evidenció que la reacción de fenton alcanza porcentajes significativos del 86,2% en la mineralización del colorante.

La implementación de tecnologías avanzadas de oxidación (TAO), como es el caso de la reacción de fenton, demuestra poseer un amplio número de aplicaciones ambientales; uno de los principales grupos de sustancias químicas sintéticas que se emplean en la industria de alimentos son los colorantes azoicos, los cuales son estables y de difícil descomposición a condiciones ambientales debido a su estructura química y a los enlaces que posee en grupo azo; en la presente investigación se logra la remoción y mineralización del colorante rojo punzó empleando la aplicación y el concurso de la reacción de fenton. De esta forma, se avanza en el conocimiento y aplicación de una de las TAO a escala local, incrementado la oferta tecnológica para disminuir los impactos negativos sobre nuestro entorno natural inmediato y alcanzar un desarrollo sostenible mediante el empleo de tecnologías ambientalmente sostenibles¹⁴, las cuales se pueden enmarcar en la ejecución de programas de producción industrial más limpia, para este caso en particular, en el sector industrial de los alimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SAWYER, Clair; McCARTY, Perry L. & PARKIN, Gene F. Chemistry for Environmental Engineering. 4ª ed. Estados Unidos: McGraw Hill, 2001. 713 p.
2. ARROYAVE, R., J. A.; GARCÉS G., L. F. y ARANGO, R. A. Mineralización del colorante Tartrazina mediante un proceso de oxidación avanzada. *En*: Revista Lasallista de Investigación. Julio-diciembre de 2009. Vol. 6, N° 2. p. 27-34.
3. RESTREPO GALLEGO, Mauricio; *et al.* Sustitución de tartrazina por betacaroteno en la elaboración de bebidas no alcohólicas. *En*: Revista Lasallista de Investigación. Julio-diciembre de 2006. Vol. 3, N° 3. p. 7-12.
4. CARRASCO D., R. S.; DUQUE G., S. J. y REY R., J. F. Sustitución del colorante rojo punzó 4R por hemoglobina en polvo en la elaboración de un derivado cárnico y su impacto en la textura del producto. *En*: Revista Épsilon. Julio-diciembre de 2009. N° 13. p. 155-161.
5. KAPOR, Marco André; *et al.* Electroanálisis de corante alimenticios: determinación de indigo carmín e tartazina. *En*: Eclética Química. 2001. Vol. 26 N° 01. p. 1-20.
6. COMUNIDAD EUROPEA. Decisión No 202, de 17 de marzo de 2005, relativa a los modelos de formularios necesarios para la aplicación de los Reglamentos (CEE) No 1408/71 y (CEE) No 574/72 del Consejo (E 001, E 101, E 102, E 103, E 104, E 106, E 107, E 108, E 109, E 112, E 115, E 116, E 117, E 118, E 120, E 121, E 123, E 124, E 125, E 126 y E 127) Texto pertinente a efectos del EEE y del Acuerdo UE-Suiza. Suiza: La Comunidad, 2006.
7. CENTRO PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA NUTRICIÓN APLICADA. Portal de internet de la Administración para los Alimentos y los Medicamentos de los Estados Unidos - Centro de Seguridad de Alimentos y Nutrición Aplicada. [En línea]. USA: CFSAN, 2010. [Consultado el 21 de enero de 2012]. Url disponible en <http://www.cfsan.fda.gov>
8. RAM, F.S. y ARDERN, K. D. La Biblioteca Cochrane Plus. N° 3. Oxford, Reino Unido: Centro Cochrane, 2007.

9. 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. 4 p.
10. GONZÁLEZ D., M.E.; *et al.* Degradación del colorante rojo punzó por medio de lodos anaerobios. En: NOVA – Publicación Científica en Ciencias Biomédicas. Julio-diciembre de 2010. Vol. 8 No. 14 p. 229-236.
11. 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. 14 p.
12. González D., M. E.; *et al.* Degradación del colorante Rojo punzó por medio de lodos anaerobios. En: NOVA – Publicación Científica en Ciencias Biomédicas. Julio-diciembre de 2010. Vol. 8 No. 14 p. 229-236.
13. 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: El Ministerio, 2007. 12 p.
14. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir y GARCÉS GIRALDO, Luís Fernando. Tecnologías Ambientalmente Sostenibles. En: Revista de Producción Más Limpia. Julio – Diciembre de 2006. Vol. 1, N° 2 . p. 78-86.
15. RED TEMÁTICA VIII - G. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Cooperación Iberoamericana. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Brasil: CYTED, 2001. 305 p.
16. 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 de 2007. Vol. 3, N° 2. p. 19-24.
17. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir y CORREA OCHOA, Adrian Alexis. Fotodegradación de Malatión usando colector solar. Tesis Pregrado Ingeniería Sanitaria. Universidad de Antioquia. 2001. 104 p.
18. Garcés Giraldo, Luís 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 de 2004. Vol. 1, N° 1. p. 83–92.
19. 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 Fotocatálisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero-junio de 2007. Vol. 4, N° 1. p. 7-13.
20. ARROYAVE ROJAS, Joan Amir; GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y CRUZ CASTELLANOS, Andrés Felipe. 50 Congreso Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL y XII Bolivariano de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS: Integración, Productividad y Responsabilidad Ambiental. Empleo de Tecnologías Avanzadas de Oxidación para la degradación del pesticida Mertec. Santa Marta, Colombia. 2007. p. 1-8.

21. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando; *et al.* Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocátalisis. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero-junio de 2005. Vol. 2, N° 1. p. 15-18.
22. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. Cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 en aguas. En: Revista Lasallista de Investigación. Junio-diciembre de 2005. Vol. 2, N° 2. p. 21–25.
23. TELLO RENDÓN, Erick Danilo. Optimización de tecnologías fotocatalíticas de oxidación avanzada aplicada al tratamiento de residuos líquidos de laboratorio. España: Departamento de Química, Universidad de la Palma de Gran Canaria, 2000. 329 p.
24. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando; *et al.* Fotocátalisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: Investigaciones y aplicaciones. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista, 2007. 174 p.
25. RED COLOMBIANA DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN REDCOLSI – Nodo Antioquia. Avances en Investigación Formativa 2006. Medellín, Colombia. Editorial Artes y letras, 2007.
26. RED COLOMBIANA DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN REDCOLSI – Nodo Antioquia. Avances en Investigación Formativa 2007. Medellín, Colombia. Editorial Artes y letras, 2008.
27. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando; *et al.* Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocátalisis. En: Revista Lasallista de Investigación. Enero-junio de 2005. Vol. 2, N° 1. p. 15–18.
28. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. Cinética de degradación y mineralización del colorante naranja reactivo 84 en aguas. En: Revista Lasallista de Investigación. Junio – Diciembre de 2005. Vol. 2, N° 2. p. 21–25.
29. APHA – AWWA. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17ª ed. México: Díaz de Santos, 1992.