



Maestría en 
Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente



UNIVERSIDAD DE
MANIZALES

MEMORIAS

5 Congreso
Internacional
por el **Desarrollo
Sostenible y el
Medio Ambiente**



***El pensamiento y las acciones estatales, universitarias,
empresariales e investigativas al servicio de la sostenibilidad.***

Degradación del colorante Rojo Punzo empleando el reactivo de Fenton

Joan Amir Arroyave Rojas¹, Carlos Alberto Barón Aristizabal², y Cristian Camilo Moreno Salazar².

Resumen

Introducción. Este trabajo se busca emplear una tecnología de oxidación avanzada para la remoción y mineralización del colorante Rojo punzo, el cual es ampliamente utilizado en la industria de alimentos a nivel local, nacional e internacional. **Objetivo.** Evaluar la degradación del colorante Rojo Punzo 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 se determinó en dos (2) horas. Se utilizó una concentración inicial de 100 mg/L del colorante Rojo Punzo y se mantuvo la solución a tratar a un pH igual a 3,0. La degradación del colorante, se determinó 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. **Resultados.** Se logró la degradación y mineralización del colorante Rojo punzo empleando diferentes combinaciones de oxidación del reactivo de Fenton, sin embargo, el mejor porcentaje de remoción y mineralización obtenido fue de

* Artículo producto del proyecto de investigación "Degradación del colorante Rojo Punzo empleando el reactivo de Fenton".

1 Ingeniero Sanitario, Especialista en construcción sostenible, Docente e investigador, Grupo de Investigación Ambiente y Hábitat, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

Dirección: Carrera 78 No. 65 - 46 Medellín. Teléfono: (4) 4445611 Ext. 152. Dirección electrónica: joan.arroyave@colmayor.edu.co

2 Estudiante de Ingeniería Ambiental, Semillero de Investigación en Ciencias Ambientales – SICA, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

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 la degradación y mineralizar el colorante Rojo Punzo, y alcanza elevados porcentajes de remoción y mineralización de dicho colorante.

Palabras Claves: Rojo Punzo, Colorante Azo, Hierro (III), mineralización, Peróxido de Hidrógeno, Industria de Alimentos.

Abstract

Introduction. This paper seeks to employ an advanced oxidation technology for the removal and mineralization of the dye Red puncture, which is widely used in the food industry locally, nationally and internationally. **Objective.** To evaluate the degradation of the dye Red Punzo using the Fenton reaction. **Materials and methods.** We used a reactor composed of a glass Cuba, which was used as a reservoir for storage of the test sample and place of the degradation reaction and additionally, is arranged in an internal mixing system to maintain the homogeneous solution in the period experiment, which was determined in two (2) hours. Was used an initial concentration of 100 mg/L Red Punzo dye and the solution was kept treating a pH equal to 3.0. Degradation of the dye was determined by using the UV/Visible spectrophotometry at a wavelength of 505 nm and mineralization is determined by the appearance of sulfate as a byproduct of the degradation to a wavelength of 420 nm. **Results.** Was achieved degradation and mineralization of piercing Red dye oxidation using different combinations of Fenton's reagent, however, the best mineralization and removal percentage obtained was 97.8 and 86.2% respectively, of the dye by combining the Fenton reaction corresponding to 10 mg/L Fe ³⁺ and 0.10% v/v of hydrogen peroxide oxidizing agent. **Conclusion.**

The Fenton reaction is suitable for the degradation and mineralization Punzo Red dye, and reaches high percentages of removal and mineralization of the dye.

Key Words: Punzo Red, Azo Dye, Iron (III), Hydrogen Peroxide, mineralitation, Food Industries.

Introducción

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 son los ocasionados por efluentes con color provenientes de procesos industriales, siendo los colorantes azóicos los más usados en la industria textil, alimentaria [2-10], papelera y de cosméticos entre otras; luego, son vertidos a los efluentes sin ningún tratamiento ocasionando 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 mutagénicas [11,10]

El color puede ser removido por procesos fisicoquímicos [12-14] pero la consecuencia es agregar más contaminación al ambiente; también pueden ser degradados por procesos biológicos [10-12], en la actualidad se encuentra en desarrollo y aplicaciones de los procesos avanzados de oxidación en la remoción y mineralización de colorantes [14,15], como una alternativa eficiente para el tratamiento de este tipo de vertimientos [16-24].

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 ha sido 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 azoicos [2]; dicho colorante le 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.

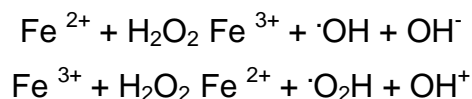
El colorante artificial rojo punzó 4R consiste fundamentalmente en 2-hidroxí-1-(4-sulfonato-1-naftilazo)- Naftaleno -6,8-disulfonato trisódico, junto con cloruro sódico o sulfato sódico como principales componentes incoloros. Éste se describe como sal sódica y el empleo de cualquier tipo de colorante 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 consumidores, cuyas dosificaciones son el resultado de investigaciones, ya que estos productos no se consideran inocuos del todo.

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 debido a que este tipo de colorante no se consideran inocuos totalmente [3,4]

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 sostenibles [13] 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) [11-24], las cuales se basan en procesos de destrucción de los contaminantes por medio de sustancias químicas conocidas como radicales libres hidroxilos, las cuales tienen la propiedad de ser altamente oxidantes; dichos radicales reaccionan con el contaminante y lo transforman en compuestos inocuos al ambiente [11-24].

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 a nivel local y nacional sobre las aplicaciones de dichas tecnologías; las cuales se han empleado en la degradación de un sin número de contaminantes a nivel ambiental como pesticidas [11-16,20-22], colorantes [14,17,18,23,24], residuos de laboratorios [19], 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 ó ultravioleta/visible (reacción de Fotofenton) [11-14,20-22]; el reactivo de Fenton es una mezcla de peróxido de hidrógeno e ion ferroso (Fe^{2+}) que producen el radical libre hidroxilo ($\text{HO}\cdot$) y el ion férrico (Fe^{3+}) (Ver ecuaciones) [12,20].



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 ($\text{HO}\cdot$, $E_0=-2.8$ V vs. flúor, $E_0=-3.0$ V), y es capaz de realizar oxidaciones no específicas de algunos compuestos orgánicos [11-22]. 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 [11-17].

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 se determinó en dos (2) horas. Se utilizó una concentración inicial de 100 mg/L del colorante Rojo Punzo 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 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.

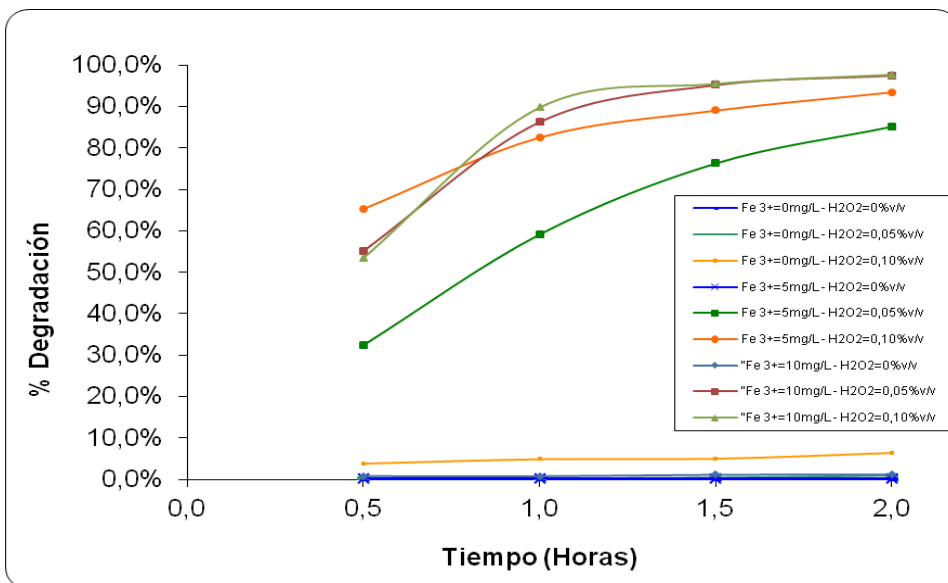
El diseño experimental utilizado para esta investigación fue un diseño factorial de dos factores (concentración de catalizados – Hierro (III) y agente oxidante – Peróxido de hidrogeno), completamente aleatorizado. Los niveles de cada uno de los factores se encuentran consignados en la tabla 1, al final de los ensayos se determino la remoción del colorante mediante el empleo de la espectrofotometría UV/Visible a una longitud de onda de 505 nm, y la mineralización se determino por la aparición de sulfatos como subproducto de la degradación a una longitud de onda de 420 nm.

Tabla 1 Combinaciones Experimentales de Hierro (III), Peróxido de hidrogeno (H₂O₂) y porcentajes de remoción obtenidos.

Fe³⁺ (mg/L)	H₂O₂ (%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%

Análisis de Resultados

En la tabla 1 y la gráfica 1 se muestran los resultados experimentales obtenidos de la remoción del colorante rojo punzo mediante el empleo de la reacción de Fenton utilizando hierro (III) y peróxido de hidrógeno; de acuerdo a 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 Fe^{3+} y 0,0 %v/v de H_2O_2 y 5 mg/L de Fe^{3+} y 0,0 %v/v de H_2O_2 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, ha excepción de la combinación en la cual no se aplico ningún reactivo, es decir, 0 mg/L de Fe^{3+} y 0 %v/v de H_2O_2 .



Gráfica 1. Degradación del colorante Rojo Punzo mediante el empleo de la reacción de Fenton

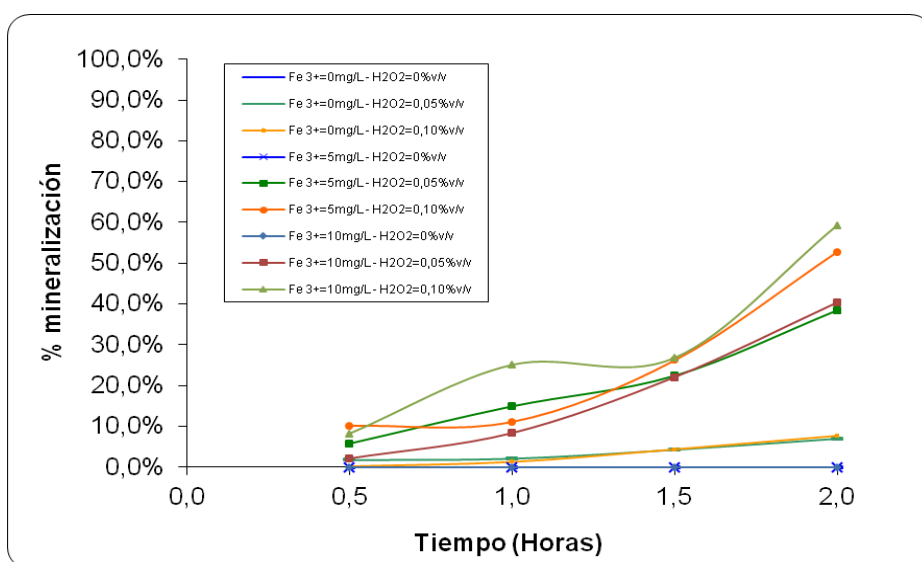
Por otro lado, se observa que el colorante rojo punzo, es un colorante que se degrada poco mediante el empleo de oxidación química con el reactivo peróxido de hidrógeno, esto se aprecia debido a su baja degradación al someterlo a las combinaciones y concentraciones que representan este proceso de oxidación; los 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 periodo de reacción de dos (2) horas iguales a 1,0 % y 6,5 % respectivamente.

Adicionalmente, se observa que de acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 1 y la gráfica 1, la adición del catalizador hierro (III) genera un incremento sustancial en la degradación del colorante rojo punzo, para las cuatro combinaciones en las que se empleo como catalizador el hierro (III) en combinación con el agente oxidante peróxido de hidrogeno (H_2O_2), debido a que se obtuvo altos niveles de remoción en las dos (2) horas de tratamiento de la muestra de agua con contenido del colorante rojo punzo a degradar. Las combinaciones en las que se emplean ambos reactivos corresponden al proceso de oxidación avanzada de la reacción de Fenton, debido a que debe presentarse el catalizador y el agente oxidante para que generen la producción de radicales libres hidroxilos, y estos a su vez 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% de remoción, obteniendo un buen resultado en la degradación del colorante Rojo punzo. 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 entre ambas combinación, sin embargo, las diferencias entre los porcentajes de remoción entre la primer combinación y las

dos siguientes no son significativo; por último, 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%; desde el punto de la remoción del colorante todas las combinaciones experimentales que representan la reacción de Fenton logran resultados significativos; sin embargo, analizando el factor económico de acuerdo a 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 la gráfica 1 y 2 a medida que se incrementa el tiempo de tratamiento del agua residual con el contenido del colorante Rojo punzo, se logra un mayor porcentaje de remoción y mineralización, debido a que se favorece la generación de reacciones de degradación y oxidación; y se favorece la formación de radicales libres hidroxilos, los cuales a su vez, realizan la remoción y mineralización del colorante.



Gráfica 2. Mineralización del colorante Rojo Punzo mediante el empleo de la reacción de Fenton

De igual forma que para la degradación, al realizar el análisis de la mineralización del colorante Rojo Punzo, se encuentra que los mejores resultados son obtenidos para 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 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; de acuerdo a 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 punzo, y de esta misma forma, la interacción doble entre ambos factores.

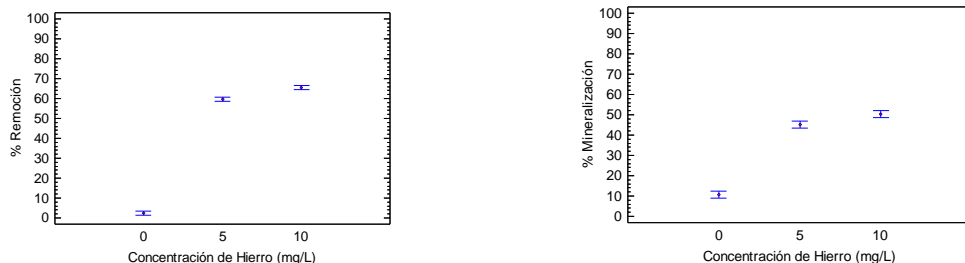
Tabla 2 Análisis Estadístico ANOVA de los Datos Experimentales para la degradación del colorante

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio al Cuadrado	Coefficiente 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			

En las gráficas 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 de los factores si poseen influencia sobre las variables respuestas 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 Punzo.

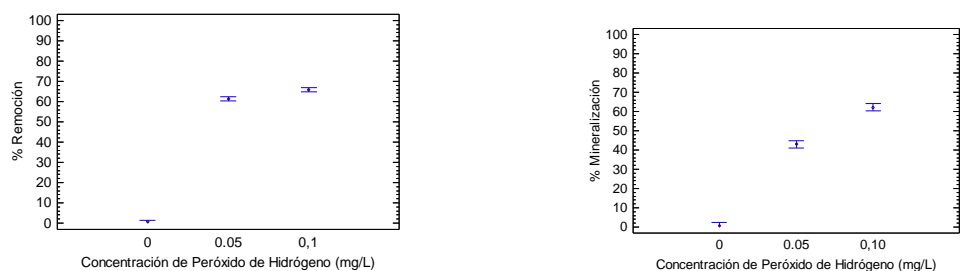
Tabla 3 Análisis Estadístico ANOVA de los Datos Experimentales para la mineralización del colorante

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)	26	31000,1			



Gráfica 3. Medias e Intervalos de Confianza 95% LSD para el Hierro (III)

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 punzo.



Gráfica 4. Medias e Intervalos de Confianza 95% LSD para el Peróxido de Hidrógeno

Conclusión

Se observa que el colorante Rojo Punzo 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 Punzo para un tiempo de tratamiento de dos (2) horas. De igual forma, se evidencio que la reacción de Fenton alcanza porcentajes moderados del 86,2% en la mineralización del colorante.

La implementación de tecnologías avanzadas de oxidación (TAO`s), 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 Punzo empleado 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`s a nivel local, incrementado la oferta tecnología para disminuir los impactos negativos sobre nuestro entorno natural inmediato y alcanzar un desarrollo sostenible mediante el empleo de tecnologías ambientalmente sostenibles [13], las cuales se pueden enmarcar en la ejecución de programas de producción más limpia a nivel industrial, para este caso en particular el sector industrial de los alimentos.

Bibliografía

[1] Sawyer, Clair Nathan, Mccarty, Perry L. y Parkin, Gene F. Chemistry for Environmental Engenieering. McGraw Hill, 4ta Edición. Estados Unidos, 2001. 713 pag.

[2] Arroyave R., J. A., Garcés G., L. F., y Arango R. A. Mineralización del colorante Tartrazina mediante un proceso de oxidación avanzada. Revista Lasallista de Investigación. ISSN 1794 – 4449. Vol 6 No 2 (Julio – Diciembre) 2009. pp27 – 34.

- [3] Restrepo Gallego, Mauricio, Acosta Otálvaro, Elly Vanessa, Ocampo Peláez, Juan Camilo y Morales Monsalve, Cristian. Sustitución de tartrazina por betacaroteno en la elaboración de bebidas no alcohólicas. Revista Lasallista de Investigación. Vol 3 No 3 (Julio – Diciembre, 2006), pag. 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. Revista Épsilon N.º 13 (Julio – Diciembre) 2009. 155-161 Pag.
- [5] KAPOR, Marco André, YAMAHAKA, Hideko, CARNEIRO ALVES, Patrícia, VALNICE, Maria y BOLDRIN, Zanomi. Electroanálise de corante alimentícios: determinacao de indigo carmín e tartazina. En: Eclética Química. Vol 26 No 01. 2001. 1 – 20 pag.
- [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. 2006.
- [7] Portal de internet de la Administración para los Alimentos y los Medicamentos de los Estados Unidos - Centro de Seguridad de Alimentos y Nutrición Aplicada. <http://www.cfsan.fda.gov/>
- [8] Ram, F. S. y Ardern, K. D. La Biblioteca Cochrane Plus, número 3. Oxford, Reino Unido. 2007
- [9] Ministerio de Salud, República de Colombia. Resolución Número 00580 de 26 Febrero de 1996, Por la cual se modifica el parágrafo primero de la Resolución 10593 de 1985. Bogotá, Colombia. 1996.
- [10] González D., M.E., Arroyave R., J. A., Mejía T., J. Arias G., S.P., Osorio B., J.M. y Restrepo M., G.J. Degradación del colorante Rojo Punzó por medio de lodos anaerobios. NOVA – Publicación Científica en Ciencias Biomédicas. ISSN 1794 – 2470. Vol. 8 No. 14 (Julio – Diciembre) 2010. 229 – 236 pag.
- [11] Ministerio de la protección social, República de Colombia. 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. 2005

[12] Ministerio de la protección social, República de Colombia. 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. 2007

[13] 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. 78 – 86 pag.

[14] Red Temática VIII - G. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Cooperación Iberoamericana. Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea. Brasil. 2001. 305 p.

[15] Arroyave Rojas. Joan Amir; Garcés Giraldo, Luis Fernando y Cruz Castellanos, Andrés Felipe. Fotodegradación del Pesticida Mertect empleando Fotofenton con Lámpara de Luz Ultravioleta. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol 3, No 2 (Enero – Junio) 2007. 19 – 24 pag.

[12] Arroyave Rojas. Joan Amir y Correa Ochoa, Adrian Alexis. Fotodegradación de Malatión usando colector solar. Tesis Pregrado Ingeniería Sanitaria. Universidad de Antioquia. 2001. 104 pag.

[14] 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 (Enero – Junio) 2004; 83–92 pag.

[15] 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. Vol 4, No 1 (Enero – Junio) 2007; p. 7 – 13.

[16] 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 Mertect. ISBN 958 – 96454 – 7 – X. Santa Marta, Colombia. 2007. 1 – 8 pag.

- [17] 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, No 1 (Enero – Junio) 2005; 15–18 pag.
- [18] 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.
- [19] Tello Rendón, Erick Danilo. Optimización de tecnologías fotocatalíticas de oxidación avanzada aplicada al tratamiento de residuos líquidos de laboratorio. Departamento de Química, Universidad de la Palma de Gran Canaria. 2000. 329 pag.
- [20] Garcés Giraldo, Luis Fernando, Arroyave Rojas, Joan Amir, Arango Ruiz, Álvaro y Peñuela Mesa, Gustavo Antonio. Fotocatálisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: Investigaciones y aplicaciones. Caldas, Colombia. 2007. 174 pag.
- [21] Red Colombiana de Semilleros de Investigación – Nodo Antioquia. Avances en Investigación Formativa 2006. Primera edición, Editorial Artes y letras. Medellín, Colombia. 2007.
- [22] Red Colombiana de Semilleros de Investigación – Nodo Antioquia. Avances en Investigación Formativa 2007. Segunda edición, Aljara. Medellín, Colombia. 2007.
- [23] 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, No 1 (Enero – Junio) 2005; 15–18 pag.
- [24] 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.