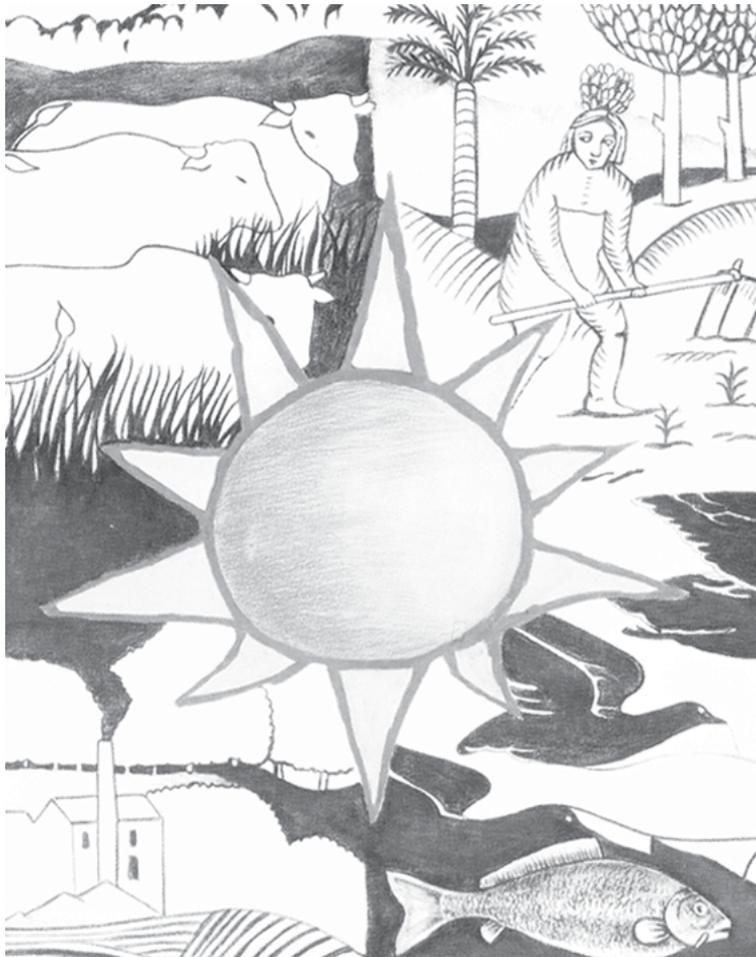


## **FOTODEGRADACIÓN CON $\text{TiO}_2$ Y $\text{FeCl}_3$ DEL COLORANTE ROJO RECOLTIVE EN AGUAS RESIDUALES TEXTILES**

Photodegradation with  $\text{TiO}_2$  and  $\text{FeCl}_3$  of Recoltive Red dye in waste water textile

*Luis Fernando Garcés Giraldo<sup>1,2</sup> & Marta Lucía Hernández Ángel<sup>1</sup>*



<sup>1</sup>Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquía, Colombia. <sup>2</sup>Grupo de Investigación GAMA, Colombia. Correo electrónico: lugarces@lasallista.edu.co

## **RESUMEN**

En este trabajo se presenta la experimentación que se tuvo para la degradación del colorante Rojo Recoltive utilizado en la industria textil, con dióxido de titanio, fenton y peróxido de hidrógeno utilizando como medio la lámpara UV. Los ensayos realizados implicaron la variación de la cantidad de estos oxidantes. La mejor combinación encontrada en esta investigación para tratar un agua con el colorante Rojo Recoltive en aguas residuales textiles con lámpara de luz UV y dióxido de titanio es 100 mg/L de  $\text{TiO}_2$  y 2% v/v de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . El ensayo que presentó la degradación óptima del color con fenton fue el de 30 mg/L de  $\text{FeCl}_3$  y 1% de v/v de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . La utilización de procesos de oxidación avanzada como la fotocatalisis con  $\text{TiO}_2$  o fotofenton, produjeron diferentes resultados respecto a la reducción del porcentaje de degradación del colorante y mayores velocidades de reacción, siendo la reacción fotofenton la que produjo los mejores porcentajes y tiempos de reducción (E13 con 30 mg/L  $\text{FeCl}_3$  y 1% v/v de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Palabras clave: Fotocatalisis. Fotodegradación. Fotofenton. Colorantes. Degradación. Dióxido de titanio.

## **ABSTRACT**

This work exposes the experiment made with the Recoltive red dye used in textile industrie with titanium dioxide, fenton and hydrogen peroxide, using as a mean the UV lamp. The rehearsals made required variations of the quantity of these oxidants. The best combination in this research to treat waste water with Red Recoltive from the textile industry with an UV lamp and titanium dioxide is 100 mg/L of  $\text{TiO}_2$  and 2% v/v of  $\text{H}_2\text{O}_2$ . The reharsal that showed an optimal degradation of the colour with fenton was that of 30mg/L of  $\text{FeCl}_3$  and 1 of v/v of  $\text{H}_2\text{O}_2$ . The use of advanced oxidation processes as, for instance, photocatalysis with  $\text{TiO}_2$  or photofenton, gave different results concerning the reduction of the degradation percentage of the dye and higher speeds of reaction, being the reaction of photofenton the one with the highest values and reaction times (E13 with 30 mg/L  $\text{FeCl}_3$  and 1% v/v of  $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Key words: Photocatalysis. Photodegradation. Photofenton. Dyes. Degradation. Titanium dioxide.

## INTRODUCCIÓN

La industria textil, es generadora de grandes cantidades aguas residuales. Los colorantes son los mayores contaminantes de este tipo de aguas, requiriéndose que sean eliminados, y las sustancias químicas que los conforman sean degradadas.

Es de anotar, que el proceso de elaboración de productos textiles, consta de un gran número de operaciones unitarias, que utilizan gran variedad de materias primas-algodón, lana, fibras sintéticas o mezclas de ellas-, utilizan diferentes reactivos y métodos de producción, lo que hace que el impacto ambiental de sus efluentes líquidos sea muy variado.

En la actualidad se están utilizando diferentes procesos avanzados de oxidación (POAs), para la degradación química de los colorantes: ozono, ozono combinado con radiación UV, peróxido de hidrógeno/UV, fotocátalisis heterogénea y homogénea (Bumpus et al. 1999, Doña & Pérez 1999). También se han estudiado tratamientos combinados de fotocátalisis y oxidación electrolítica (Garcés et al. 2006, Rojas 2002).

En algunos ensayos la eficiencia de los sistemas de  $O_3$ ,  $H_2O_2/O_3$  y  $H_2O_2/UV$  para tratar efluentes que contenían mezclas de colorantes, mostraron que los mejores resultados fueron obtenidos con el sistema  $O_3/UV$ , que elimina el 78% del color, y el 74% de la demanda química de oxígeno (DQO) en 15 minutos, mientras que el empleo de  $H_2O_2/UV$  alcanza eliminaciones del 94 %, tanto en color como en DQO en el mismo tiempo de tratamiento (Saupe et al. 2005, Hidritec 1998).

El tratamiento del agua residual con luz ultravioleta puede lograrse con longitudes de onda entre 240 y 280 nm y se obtiene la máxima eficiencia a los 260 nm. Las lámparas de arco de mercurio a baja presión producen una longitud de onda ultravioleta cercana a los 254 nm (Saupe et al. 2005, Hidritec 1998).

Existen dos tipos básicos de cámaras de ex-

posición del agua a la radiación ultravioleta: (a) aquellas en que las lámparas están sumergidas en el agua, y las que están fuera de ella. En las unidades de luz ultravioleta de lámparas sumergidas, se debe proveer un espacio aislado donde se ubica la lámpara, lo que se logra rodeando la misma con un material transparente a los rayos con una camisa de cuarzo - de los plásticos, solo el PTFE (Teflón) es parcialmente transmisible. (b) las lámparas están suspendidas sobre el agua que se está tratando, en forma casi rasante (Alonso 1998, Queral & Giménez 1995).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la degradación y la mineralización del colorante Rojo Recolitive con dióxido de titanio, peróxido y fenton, utilizando una lámpara UV. Los ensayos realizados implicaron la variación de la cantidad de estos reactivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El equipo utilizado constaba de una lámpara de luz ultravioleta de marca Mighty Pure de 60 Hz con una bomba para alimentar un flujo de 0,047 l/s que se encontraba almacenado en una cubeta de vidrio de 41 cm x 25,5 cm x 20 cm, con un volumen de 15 l, como se muestra en la Fig. 1.



FIGURA 1. MONTAJE CON LÁMPARA UV REALIZADO PARA LA DEGRADACIÓN DE COLORANTES.

Assembly with UV lamp made for degradation of colorants.

El procedimiento de los experimentos de degradación con la lámpara fue el siguiente: se midió el volumen de agua, se adicionó el colorante en el tanque quedando con una concentración de 100 mg/l. Inicialmente se agitó manualmente la solución y luego se recirculó; a continuación se midió el color inicial. Posteriormente, se adicionaron las sustancias químicas ( $H_2O_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $TiO_2$ ) de acuerdo con los experimentos planteados en la Tabla 1.

Se midió continuamente el pH para ajustarlo en 5,0 cuando se trabajó con fenton, y con  $TiO_2$  los valores de pH fueron medidos sin requerir adicionar ácidos o bases, por ser mas estables.

La mineralización se evaluó midiendo la degradación por medio del color. A una

longitud de onda de 510 nm en un espectrofotómetro spectronic 21. Para realizar la medición de la mineralización se hicieron inicialmente ensayos con la DQO, pero los resultados presentaron altibajos, por lo que se determinó realizar la evaluación del porcentaje de COT, el que se hizo por el método Walckley-Black (Garcés 2006).

Las variables de estudio fueron analizadas mediante modelos lineales utilizando el paquete estadístico SAS. Para la validación de los supuestos de normalidad, se realizó para el  $TiO_2$  por la distribución normal, y para los ensayos con fenton con la prueba Duncan; ya que se presentaron porcentajes de degradación similares para las concentraciones de 1,0 y 0,5% v/v de peróxido de hidrógeno.

| Experimento | Concentración Colorante (mg/L) | $TiO_2$ (mg/L)  | De $H_2O_2$ (% v/v) |
|-------------|--------------------------------|-----------------|---------------------|
| E1          | 100                            | 0               | 0,0                 |
| E2          | 100                            | 50              | 0,0                 |
| E3          | 100                            | 50              | 1,0                 |
| E4          | 100                            | 50              | 2,0                 |
| E5          | 100                            | 100             | 0,0                 |
| E6          | 100                            | 100             | 1,0                 |
| E7          | 100                            | 100             | 2,0                 |
| E8          | 100                            | 0               | 1,0                 |
| E9          | 100                            | 0               | 2,0                 |
| Experimento | Colorante (mg/L)               | $FeCl_3$ (mg/L) | $H_2O_2$ (% v/v)    |
| E10         | 100                            | 30              | 1,0                 |
| E11         | 100                            | 30              | 0,5                 |
| E12         | 100                            | 30              | 0,0                 |
| E13         | 100                            | 50              | 1,0                 |
| E14         | 100                            | 50              | 0,5                 |
| E15         | 100                            | 50              | 0,0                 |

TABLA 1. ENSAYOS PARA LA EXPERIMENTACIÓN CON  $TiO_2$  Y  $FeCl_3$ .

Rehearsals for experiments with  $TiO_2$  and  $FeCl_3$ .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos con  $TiO_2$  y  $H_2O_2$

Al comparar los ensayos con las mejores degradaciones para las concentraciones de 0, 50 y 100 mg/l de dióxido de titanio y las concentraciones de 0, 1 y 2 % v/v de peróxido de hidrógeno, según se muestra en la Fig. 2,

se observa que existe un efecto en la degradación del colorante Rojo Recoltime con el aumento en la concentración de  $TiO_2$ , lo que ratifica que el aumento del  $TiO_2$  permite que existan más sitios activos para generar radicales hidroxilos y por ende mayor probabilidad de que se incremente el porcentaje de degradación y de mineralización (Garcés et al.2006, Garcés 2005). Es importante resaltar que algunos ensayos

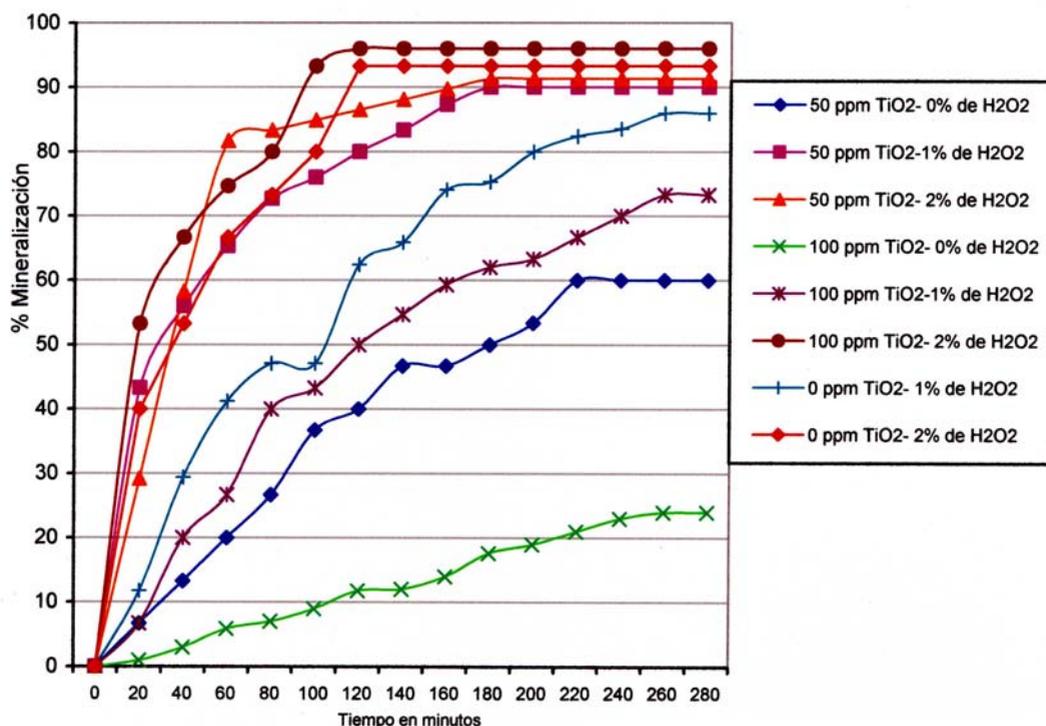


FIGURA 2. COMPARACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE COLOR PARA LAS DIFERENTES CONCENTRACIONES DE  $TiO_2$  Y  $H_2O_2$ .

Comparison of the color degradation for the different  $TiO_2$  and  $H_2O_2$  concentrations.

presentan recombinación que es la unión de dos radicales hidroxilos, lo que genera cambios en las condiciones de la degradación.

De la Fig. 2 se puede observar que la mejor combinación para tratar un agua de la industria textil con lámpara de luz UV es 100 mg/l

de  $TiO_2$  y 2% v/v de  $H_2O_2$ . De esta misma gráfica se resalta que las tres curvas que presentan mayor degradación, son las correspondientes a una concentración de 2% v/v de  $H_2O_2$  y las degradaciones varían para las concentraciones de mayor a menor para el

TiO<sub>2</sub>. El mayor porcentaje de mineralización se encontró en este mismo ensayo (100 mg/l de TiO<sub>2</sub> y 2% v/v de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como se observa en la Fig. 3.

### Ensayos con fenton

En forma comparativa para todos los ensayos con lámpara UV y combinando FeCl<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, se presentan los resultados en la Fig. 4. Los mejores porcentajes de degradación se obtuvieron con la combinación de 30 mg/L de FeCl<sub>3</sub> y 1% v/v de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Todos los ensayos realizados con la lámpara UV y con variaciones del FeCl<sub>3</sub> y del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, muestran mineralización de los productos contaminantes, corroborando que con lámpara UV y fenton las aguas preparadas con rojo

Recoltice no sólo degradan su color, sino también en los compuestos del mismo, algunos de ellos tóxicos.

El ensayo que presentó la degradación óptima del color fue de 30 mg/l de FeCl<sub>3</sub> y 1% de v/v de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Fig. 4) y se alcanzó aproximadamente en este mismo ensayo un 80% de mineralización del colorante (Fig. 5).

### Cinética de la reacción

Los resultados obtenidos en los ensayos con lámpara UV y TiO<sub>2</sub> para la cinética de reacción, se presentan en la Tabla 2. La reacción es de orden 1, lo que indica que se ajustaban los parámetros a una línea recta. De la Tabla 2 se deduce que a mayor cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y de TiO<sub>2</sub>, mayor es la velocidad de reacción.

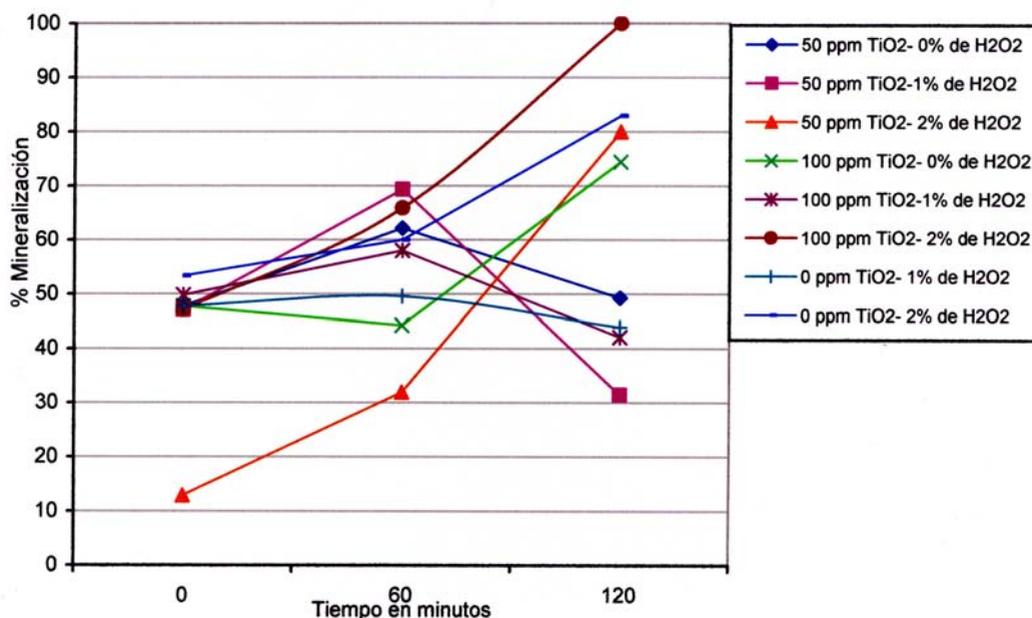


FIGURA 3. MINERALIZACIÓN PARA LOS DIFERENTES ENSAYOS CON TiO<sub>2</sub> CON LÁMPARA UV.

Mineralization for the different rehearsals with TiO<sub>2</sub> with an UV lamp.

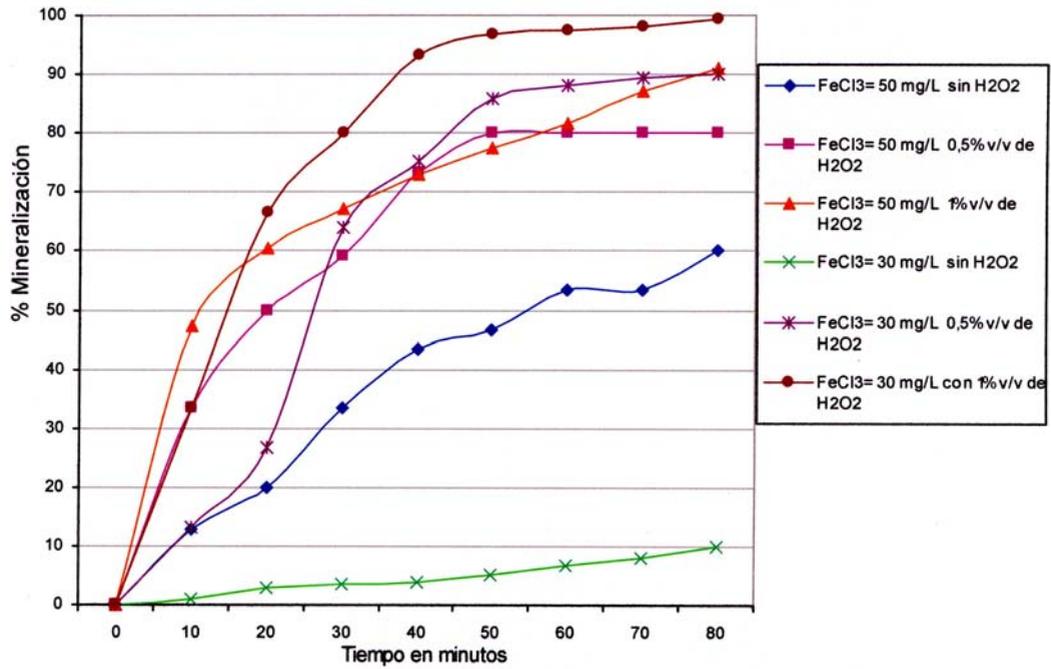


FIGURA 4. RESULTADOS COMPARATIVOS DE LOS DIFERENTES ENSAYOS CON FENTON UTILIZANDO LÁMPARA UV.

Comparative results of the different rehearsals with fenton using an UV lamp.

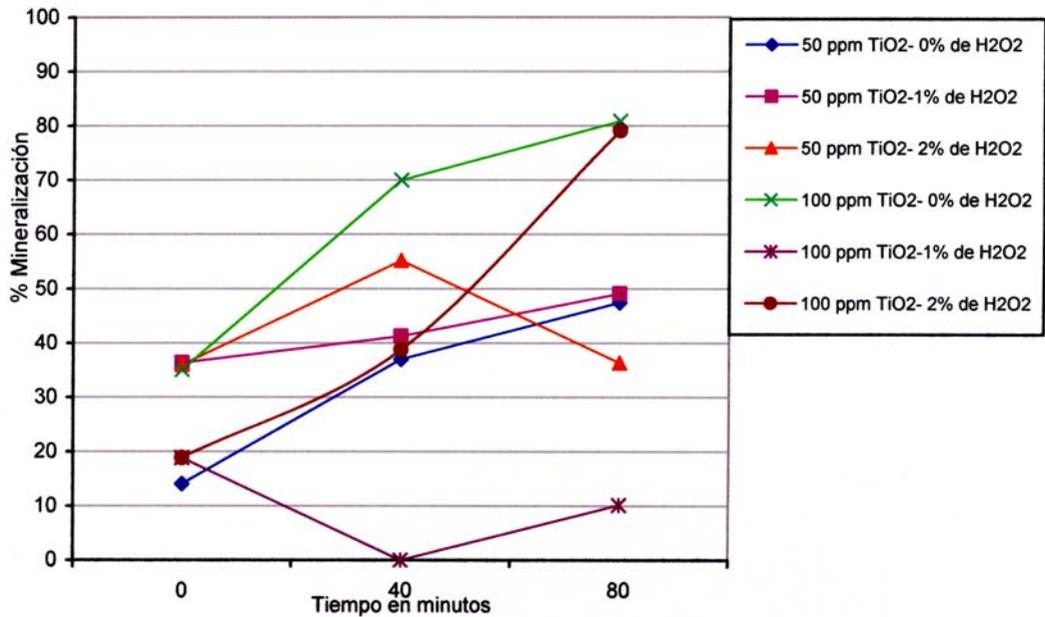


FIGURA 5. MINERALIZACIÓN PARA LOS DIFERENTES ENSAYOS CON FENTON Y LÁMPARA UV.

Mineralization for the different rehearsals with fenton and UV lamp.

| Código del Ensayo<br>K, [h <sup>-1</sup> ] | Correlación | Orden de la reacción | Tiempo de vida media, t <sub>1/2</sub> [h] | Constante de velocidad |
|--|-------------|----------------------|--|------------------------|
| E 1  | s-1         | 0,07                 | 0,87                                       | 9,34                   |
| E 2  | 1           | 0,16                 | 0,98                                       | 4,18                   |
| E 3  | 1           | 0,51                 | 0,99                                       | 1,36                   |
| E 4  | 1           | 1,17                 | 0,93                                       | 0,59                   |
| E 5  | 1           | 0,06                 | 0,99                                       | 10,90                  |
| E 6  | 1           | 0,30                 | 0,98                                       | 2,97                   |
| E 7  | s-1         | 1,22                 | 0,91                                       | 0,56                   |
| E 8  | 1           | 0,45                 | 0,94                                       | 1,47                   |
| E 9  | 1           | 1,13                 | 0,95                                       | 0,61                   |

TABLA 2. ORDEN DE REACCIÓN, CONSTANTE DE VELOCIDAD Y TIEMPO DE VIDA MEDIA PARA EL ROJO RECOLTIVE EN LÁMPARA CON TiO<sub>2</sub>.

Reaction order, constant of speed and media rate of lifetime for Recoltive Red in a lamp with TiO<sub>2</sub>.

La reacción que presentó un tiempo de vida media inferior fue aquella donde se combinó 100 mg/L de dióxido y 2% v/v de peróxido, para una media de 0,56 horas (33 minutos), como se había establecido en los análisis de degradación y mineralización discutidos en la sección anterior.

En la Tabla 3 se relaciona la velocidad de

reacción de los experimentos realizados con fenton. Los ensayos con mejores velocidades de reacción, se presentaron para una concentración de 30 mg/l de FeCl<sub>3</sub> y 1% v/v de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y para 50 mg/l de FeCl<sub>3</sub> y 1% v/v de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Con base en los resultados de degradación analizados anteriormente, y las constantes de velocidad de la Tabla 4; se observa que hubo

| Código del Ensayo<br>K, [h <sup>-1</sup> ] | Correlación | Orden de la reacción | Tiempo de vida media t <sub>1/2</sub> [h] | Constante de velocidad |
|--|-------------|----------------------|---|------------------------|
| E 10                                       | 1           | 3,74                 | 0,98                                      | 0,18                   |
| E 11                                       | S-1         | 1,99                 | 0,97                                      | 0,34                   |
| E 12                                       | 1           | 0,08                 | 0,97                                      | 9,09                   |
| E 13                                       | 1           | 2,16                 | 0,91                                      | 0,32                   |
| E14  | 1           | 1,26                 | 0,96                                      | 0,54                   |
| E15  | 1           | 0,19                 | 0,95                                      | 3,58                   |

TABLA 3. ORDEN DE REACCIÓN, CONSTANTE DE VELOCIDAD Y TIEMPO DE VIDA MEDIA PARA EL ROJO RECOLTIVE EN LÁMPARA UV CON FENTON.

Reaction order, constant of speed and media rate of lifetime for Recoltive Red in a lamp with Fenton.

| Fuente   | Grados de libertad | Suma de cuadrados | tipo III<br>Valor de p | Media cuadrática | F      |
|--|--------------------|-------------------|------------------------|------------------|--------|
| Medio  | 1                  | 6632,29           | 6632,29                | 73,58            | 0,0004 |
| TiO <sub>2</sub>                                 | 2                  | 54,79             | 27,36                  | 0,30             | 0,7506 |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                    | 2                  | 3494,71           | 1747,35                | 19,39            | 0,0044 |
| Medio* TiO <sub>2</sub>                          | 2                  | 907,88            | 453,33                 | 5,04             | 0,0634 |
| TiO <sub>2</sub> * H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 3                  | 1423,00           | 474,33                 | 5,26             | 0,0526 |

TABLA 4. RESULTADOS DEL MODELO DE ANOVA PARA TiO<sub>2</sub>

Results of the ANOVA model for TiO<sub>2</sub>.

una relación directa entre ambas variables; es decir: a mayor porcentaje de degradación del colorante fue mayor la constante de velocidad (la reacción fue más rápida), y por tanto, menor el tiempo de vida media (tiempo necesario para alcanzar una degradación del colorante del 50%).

#### Análisis estadístico de la información

Para evaluar el efecto que tienen las variables de estudio sobre la variable respuesta degradación del colorante, se realizó el análisis de varianza teniendo en cuenta los ensayos con TiO<sub>2</sub> y los de fenton, utilizando la siguiente ecuación:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  es la media global del modelo.

$\alpha_i$  es el efecto del i-ésimo nivel del factor Medio.

i= Referido la Lámpara UV.

$\beta_j$  es el efecto del j-ésimo nivel del factor TiO<sub>2</sub>.

j = 0, 50 y 100.

$\gamma_k$  es el efecto del k-ésimo nivel del factor H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

k = 0, 1 y 2.

$(\alpha\beta)_{ij}$  es el efecto de interacción entre los niveles de los factores Medio y TiO<sub>2</sub>.

$(\alpha\gamma)_{ik}$  es el efecto de interacción entre los niveles de los factores Medio y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

$(\beta\gamma)_{jk}$  es el efecto de interacción entre los niveles de los factores TiO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

$\epsilon_{ijk}$  es el efecto de atribuido al error aleatorio, que en este diseño es representado por el efecto de interacción entre los tres factores, que se supone no debe ser significativa y con esto permite la estimación de las varianzas.

$y_{ijk}$  es la medida del porcentaje de degradación observado en los respectivos niveles de los tres factores bajo estudio.

*Modelo para TiO<sub>2</sub>*. Este modelo general de regresión lineal explica el 96,50% de la varianza de la degradación del colorante, siendo altamente significativo (F: 13,80, Grados de libertad: 10,  $p < 0,005$ ). En la Tabla 4 se aprecia que ambas interacciones son mayores que el nivel de significancia del 5%. En cambio, sí alcanzaron la significancia estadística las relaciones tanto de del como del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

En la Fig. 6 se muestra el análisis gráfico de las interacciones: se aprecia como la presencia de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (niveles de 1 y 2) hace que la degradación se favorezca. En cuanto a los niveles de TiO<sub>2</sub> que se adicionen, la mejor combinación de TiO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es 100 mg/l y 2% v/v respectivamente, y ésta se diferencia de todas las demás que tienen valores muy similares.

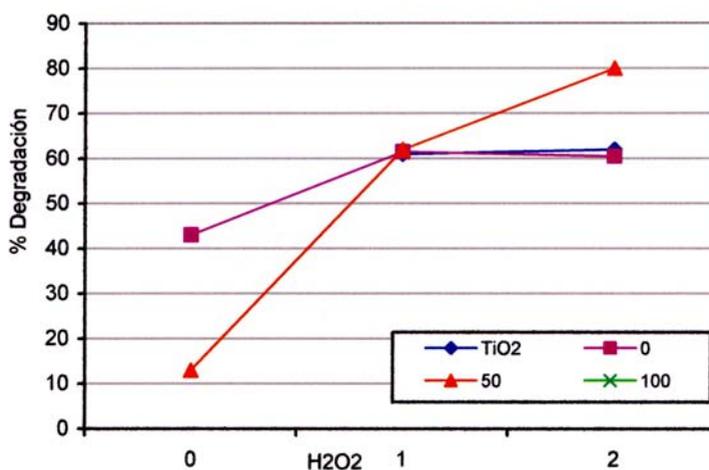


FIGURA 6. EFECTO DE LAS INTERACCIONES ENTRE EL TiO<sub>2</sub> Y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Effect of the interactions between TiO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

### *Modelo para fenton*

Este modelo general de regresión lineal explica el 95,78% de la varianza de la degradación del colorante, aunque con una probabilidad no significativa (F: 5,04, Grados de libertad: 9,  $p=0,176$ ). En la Tabla 5, se observa que sólo el efecto del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> resulta ser significativo, lo que indica que el porcentaje de degradación depende únicamente del nivel de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> utilizado en el proceso.

### CONCLUSIONES

En este estudio, los resultados mostraron que bajo las condiciones en que se hizo el experimento se puede utilizar cualquiera de los niveles de los factores fenton (FeCl<sub>3</sub>) con lámpara de UV, es decir, lo que debe asegurarse es el nivel de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> que fue el factor que resultó significativo para que se maximice el porcentaje de degradación, el cual debería ser 1% v/v de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

| Fuente cuadrática                    | Grados de libertad F | Valor de p | Suma de cuadrados tipo III | Media |        |
|--------------------------------------|----------------------|------------|----------------------------|-------|--------|
| Medio                                | 1                    | 20,00      | 20,00                      | 0,08  | 0,8032 |
| Fenton                               | 1                    | 43,72      | 43,72                      | 0,18  | 0,7155 |
| Medio*fenton                         | 1                    | 85,89      | 85,89                      | 0,35  | 0,6159 |
| H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>        | 2                    | 10185,11   | 5092,55                    | 20,52 | 0,0465 |
| Medio* H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 2                    | 161,50     | 80,75                      | 0,33  | 0,7545 |
| Fenton*H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | 2                    | 771,80     | 385,90                     | 1,55  | 0,3914 |

TABLA 5. RESULTADOS DEL MODELO DE ANOVA PARA FENTON.

Results of the ANOVA model for Fenton.

En los ensayos donde no se uso H<sub>2</sub>O, el TiO<sub>2</sub> presenta unos tiempos de vida media muy altos, lo que hace este proceso poco eficiente.

La utilización de procesos de oxidación avanzada como la fotocatalisis con TiO<sub>2</sub> o fotofenton, produjeron diferentes resultados respecto a la reducción del porcentaje de degradación del colorante y mayores velocidades de reacción, siendo la reacción fotofenton la que produjo los mejores porcentajes y tiempos de reducción (E13 con 30 mg/l FeCl<sub>3</sub> y 1% v/v de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

El uso de compuestos que promueven una mayor formación de radicales •OH en disolución durante el tratamiento de las aguas varía con la mayor concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y produce incrementos de la eficiencia de mas del 20%.

#### LITERATURA CITADA

ALONSO T (1998) Catálisis heterogénea: Aplicaciones medioambientales. Investigación y ciencia 259: 44-45.  
 BUMPUS J, J TRICKER, K ANDRZEJEWSKI, H RHOADS & M TATARKO (1999)

Remediation of water contaminated with an azo dye: an undergraduate laboratory experiment utilizing an inexpensive photocatalytic reactor. Journal of Chemistry Education 76 (12): 1680-1683.

DOÑA JM & J PÉREZ (1999) Fotocatálisis y detoxificación solar. Fundamentos y estado actual. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. España.

GARCÉS L (2005) Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis. Revista Lasallista de Investigación 2 (1): 15-18.

GARCÉS L, ML HERNÁNDEZ, GA PEÑUELA, A RODRÍGUEZ & JA SALAZAR (2006) Fotodegradación sensibilizada con TiO<sub>2</sub> del colorante rojo Recoltive utilizando lámpara de luz UV. Producción Más Limpia 1 (1): 54-62.

HIDRITEC (2005) Radiación ultravioleta. [online] Asturias : Hidritec, s.f. URL disponible en: <http://www.hidritec.com/tec-ultravioleta.htm>

HOYOS O & E ALVAREZ (1999) Propuesta para la prevención y reducción de contaminantes a las aguas residuales en una planta de teñido de hilos e hilazas. Medellín: SENE, Centro Nacional Textil.

QAMAR M, M SAQUIB & M MUNEER (2005) Photocatalytic degradation of two selected dye derivatives, chromotrope 2B and amido black

- 10B, in aqueous suspensions of titanium dioxide. *Dyes and Pigments* 65 (1): 1-9.
- QUERAL M & J GIMÉNEZ (1995) Fotocatálisis y tratamiento de aguas contaminadas. *Tecnología del Agua* 140: 29-35.
- ROJAS R (2002) Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. En: Curso internacional Gestión integral de tratamiento de aguas residuales, Brasil. 19 pp.
- SAUPE GB, Y ZHAO, J BANG, NR YESU, GA CARBALLO, R ORDONEZ & T BUBPHAMALA (2005) Evaluation of a new porous titanium-niobium mixed oxide for photocatalytic water decontamination. *Microchemical Journal* 81 (1): 156-162.
- TELLO E (2001) Optimización de tecnologías fotocatalíticas de oxidación avanzada aplicadas al tratamiento de residuos líquidos de laboratorio. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Departamento de Química. 315 pp.
- WRIGHT H & W CAIRNS (1998) Desinfección de agua por medio de Luz Ultravioleta. [on line]. En: Simposio Regional sobre Calidad del Agua: Desinfección efectiva (1998: Lima). Simposio sobre calidad del agua: desinfección efectiva. Lima: CEPIS; OPS, 1998.