Artículo original

Tratamiento de aguas residuales de la industria textil por medio de la fotocatálisis

Luis Fernando Garcés Giraldo [1] */ Gustavo Antonio Peñuela Mesa* [2]

Treatment of waste water from textile industries by the use of photocatalysis

RESUMEN

Introducción. La fotocatálisis con luz solar se presenta como una alternativa sencilla y económica para el tratamiento de aguas residuales coloreadas de efluentes de la industria textil. El uso de esta tecnología para degradar y mineralizar el colorante Naranja Reactivo 84 puede abrir una ruta alternativa a los procesos tradicionales de oxidación.

Objetivo. Estudiar la fotocatálisis con TiO_2 de aguas residuales coloreadas utilizando colector solar.

Materiales y métodos: Se utilizó un colector solar, el cual constaba de tres módulos, cada módulo estaba compuesto por ocho tubos de vidrio (Schott-Duran) de 48 mm de diámetro externo y 150 cm de largo y lámina de aluminio, ya que permiten la reflectancia de la radiación ultravioleta de la luz solar. Todo el conjunto tenía una bomba de recirculación y un tanque. El colector solar tenía una inclinación de 6° con respecto al suelo, de frente al norte, ya que debe coincidir con la posición geográfica del lugar. Se varió una sola condición en cada experimento con el objetivo de estudiar su influencia en la degradación del colorante. En esta investigación se presentan diferentes combinaciones de peróxido de hidrógeno, dióxido de titanio y aire, utilizados en la fotocatálisis del Naranja Reactivo 84 y muestras de aguas residuales de la industria textil.

Resultados. Se encontró que las concentraciones óptimas para la degradación del Naranja Reactivo 84 en una concentración de 340 mg/L son: 40 mg/L de dióxido de titanio y 2mL/L de peróxido de hidrógeno sin inyección de aire.

[1] Ingeniero Sanitario, Magíster en Ingeniería Ambiental, Especialista en Ingeniería Ambiental. Decano Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria Lasallista. Director Grupo de Investigación GAMA.[2] Químico. Ph.D en Química Ambiental. Director del Grupo de Diagnóstico y Control de la Contaminación de la Universidad de Antioquia

Correspondencia: Luis Fernando Garcés Giraldo. e-mail: lugarces@lasallista.edu.co

Fecha de recibo: 05/04/2007; fecha de aprobación: 19/06/2007

Conclusión: Con una cantidad de dióxido de titanio y una concentración de peróxido de hidrógeno adecuados, se puede obtener muy buenos porcentajes de degradación del Naranja Reactivo 84, aguas residuales coloreadas y altos porcentajes de mineralización.

Palabras Clave: Fotocatálisis. Colorante. Dióxido de titanio. Agua residual textil. Irradiación solar. Fotodegradación.

ABSTRACT

Introduction. Photocatalysis made with sun light appears as a simple and economic alternative to treat wastewater, colored with dyes from the textile industry. The use of this technology for the degradation and mineralization the 84 Orange Reactive dyes can open a new route different from the traditional oxidation processes.

Objective. To study the photocatalysis with TiO_2 in colored wastewater using a sunlight collector.

Materials and Methods. A sunlight collector made up by three modules (each one made up by eight glass Schott-Duran pipes) was used. Each glass pipe is 48 cm of external diameter and 150 cm long and also contains an aluminum sheet, which allows the reflection of sunlight. The whole device had a re-circulation bomb and a tank. The sunlight collector had an inclination of 6 degrees in comparison with the floor and was facing North because it must be located according to the geographic position of the place. Only one condition was modified for each experiment with the objective of studying its influence in the dye's degradation. In this research work we show different combinations of hydrogen peroxide, titanium dioxide and air, used in the photocatalysis of the 84 orange reactive and waste water samples from textile industry.

Results. The optimal concentrations found for 84 Orange Reactive in a 340 mg/lL concentration are: 40 mg/L of titanium dioxide and 2 mg/L of hydrogen peroxide with no air injection.

Conclusion. With an appropriate quantity of titanium dioxide and a well calculated concentration of hydrogen peroxide, very good concentration percentages of the 84 Orange Reactive and colored waste waters are obtained, besides of high mineralization percentages.

Key words: Photocatalysis. Dye. Titanium dioxide. Textile wastewater. Sunlight irradiation, Photodegradation.

INTRODUCCIÓN

Existe una aplicación de la energía solar que ha despertado el interés de investigadores, sobre todo a partir de la década de 1970. Se trata del empleo de la energía solar para la eliminación de contaminantes en aguas residuales mediante el uso de un fotocatalizador adecuado. Este sistema permite aprovechar directamente la energía solar que llega a la superficie terrestre para provocar una serie de reacciones químicas (redox) que dan lugar a la eliminación de los compuestos orgánicos en las aguas de vertidos urbanos, industriales y agrícolas y cambiar el estado de oxidación de los metales pesados de tal forma que pasan de estar disueltos a una forma insoluble.[1-4]

Una de las tecnologías de este tipo que resulta atractiva para la descontaminación de aguas con sustancias orgánicas tóxicas es la degradación fotocatalítica basada en el uso de dióxido de titanio (TiO_2) como fotocatalizador y luz ultravioleta solar de baja energía (320-390 nm). La generalidad del método ha sido probada a nivel de laboratorio para hidrocarburos, compuestos orgánicos clorados y fosforados contenidos en pesticidas y herbicidas, colorantes y surfactantes. Últimamente esta tecnología ha cobrado mayor interés por su potencial aplicación con el uso de la energía solar, a pesar de que sólo el 5% de la luz del sol que llega a la tropósfera contiene la energía necesaria para activar el dióxido de titanio.[5-7]

El Naranja Reactivo 84 es un colorante utilizado en la industria textil que, al ser aplicado en la tela de algodón, sólo deja el 65% de éste impregnado y el 35% restante se hidroliza en el agua, generando un agua residual altamente coloreada.

La concentración utilizada para la preparación de las muestras sintéticas en esta investigación tuvo la concentración promedio con la que se vierten estas aguas después de haber sido utilizado este colorante (340 mg/L).[8,9]

La descontaminación solar de aguas residuales con colorantes utilizados en la industria textil por medio de fotosensibilizadores, evitará que a los recursos hídricos lleguen compuestos orgánicos de difícil degradación, muchos de ellos tóxicos, como es el caso de algunos colorantes. Esto permitirá que las plantas de potabilización capten aguas de más fácil tratamiento, y la fauna y flora acuáticas corran menos peligro de extinción. Este tratamiento es una tecnología limpia porque aprovecha la energía solar, que no es contaminante, se usan fotosensibilizadores no contaminantes y no se originan subproductos tóxicos ni lodos, ya que los compuestos orgánicos se mineralizan.[10-12]

Además, los fotosensibilizadores se pueden recuperar y reutilizar nuevamente.[9-12]

MATERIALES Y MÉTODOS

El colector solar usado en la experimentación tenía tres módulos. Cada módulo estaba compuesto por ocho tubos de vidrio (Schott-Duran) de 48 mm de diámetro externo y 150 cm. de largo y lámina de aluminio, ya que permiten la reflectancia de la radiación ultravioleta de la luz solar. Todo el conjunto tenía una bomba de recirculación y un tanque. El colector solar tenía una inclinación de 6° con respecto al suelo, de frente al norte, ya que debe coincidir con la posición geográfica del lugar (Centro Nacional Agropecuario la Salada, SENA-Antioquia), con el fin de evitar el ajuste diario de la posición respecto a la elevación solar y tener la mayor eficiencia de recolección de radiación. Los tubos de vidrio estaban unidos con conexiones de PVC. (véase la foto 1).

Foto 1. Colector solar utilizado en la experimentación



En la tabla 1 se presentan los experimentos realizados para la degradación del Naranja Reactivo 84. Se varió una sola condición en cada experimento con el objetivo de estudiar su influencia en la degradación del colorante.

Tabla 1. Experimentos para la degradación del Naranja Reactivo 84

Número	Experimento	Concentración de colorante (mg/L)	Concentración de TiO_2 colorante (mg/L)	Concentración de H_2O_2(mL/L)	Aireación
F	Fotólisis	340	0	0,0	No
E1	Oxidación con H_2O_2	340	0	4,0	No
E2		340	0	6,0	No
E3		340	40	2,0	No
E4	Fotocatálisis heterogénea	340	40	4,0	No
E5		340	80	2,0	No
E6		340	80	3,0	No
E7		340	80	4,0	No
E8		340	100	4,0	No
E9		340	100	0,0	No
E10		340	40	2,0	Si
E11		340	80	3,0	Si
E12		340	80	0,0	Si

El modelo estadístico utilizado para el análisis de los experimentos es el factorial de tres niveles (4x5x2), no balanceado (porque el número de observaciones por tratamiento combinado no es igual), con interacción entre el fotocatalizador y el agente oxidante. La variable de respuesta es el porcentaje de degradación en ocho horas de irradiación solar.

El modelo estadístico planteado para la degradación de este colorante fue analizado mediante el paquete estadístico SAS y es el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + y_k + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{ijkl}$$

Donde;μ es la media global (degradación media), α_i es el efecto del TiO_2 en la degradación, β_j es el efecto del H_2O_2 en la degradación, y_k es el efecto del aire en la degradación, $\alpha\beta_{ij}$ es el efecto de interacción entre el TiO_2 y el $H2O_2$ en la degradación y ξ_{ijkl} es el error aleatorio.

Cada ensayo se hizo por triplicado. De los experimentos de la tabla 1 se escogieron tres de los ensayos que dieron los mejores porcentajes de degradación del Naranja Reactivo 84 para ser realizados nuevamente, para determinar el grado de mineralización, haciéndose el seguimiento con la DQO. Estos ensayos fueron E3, E6 y E11.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la experimentación con el colorante Naranja Reactivo 84, se escogieron las condiciones de los mejores ensayos para realizar la degradación y mineralización de un agua residual industrial textil, cuyo proceso productivo es el teñido de tejidos de punto, en el que se utiliza este colorante (véase la tabla 2). Cada lote de agua corresponde a muestreos en los que se usaron diferentes colorantes de acuerdo con la producción de la empresa.

En todos los lotes de agua residual se tenía Naranja Reactivo 84, el cual tiene su máximo de absorción de radiación a 510 nm. Sin embargo, en los ensayos de fotocatálisis del agua residual no se hizo a 510 nm, debido a que no hubo una disminución del color a esta longitud de onda y por esto se hizo a 604 nm, donde se aprecia claramente la disminución del color. Por lo tanto el seguimiento de la degradación de los colorantes del agua residual industrial corresponde a los que absorben a esta longitud de onda.

Tabla 2. Ensayos realizados al agua residual industrial de una empresa textil

Experimento	Concentración de TiO_2 colorante (mg/L)	Concentración de H_2O_2 (mL/L)	Aireación
AM1	40	2,0	No
AM2	80	3,0	No
AM3	80	3,0	Si
AM4	40	2,0	No
AM5	80	3,0	No
AM6	80	3,0	Si

RESULTADOS

Fotocatálisis del colorante Naranja Reactivo 84

Para la fotólisis, el Naranja Reactivo 84 se degradó muy poco (10,68%) después de 32 horas de radiación solar. El porcentaje de degradación del Naranja Reactivo 84 (NR84), usando 4 mL/L de H_2O_2 (E1) fue muy bajo (32,25%). El NR84 fue degradado mucho más rápido en el experimento E1 que en la fotólisis.

El porcentaje de degradación del NR84 usando 6 mL/L de H_2O_2 (E2) fue del 64,25%, lo que corrobora que el peróxido de hidrógeno sí oxida el NR84.

En la fotocatálisis con 40 mg/L de TiO_2 y 2 mL/L de H_2O_2 (E3), se agregó menos peróxido que en los experimentos con sólo peróxido de hidrógeno. El porcentaje promedio de degradación del NR84 aumentó (87,34%), lo cual es debido a que en este caso el agente oxidante no es el H_2O_2 sino los radicales hidroxilo. En cuanto al ensayo E3, en la repetición el porcentaje promedio de degradación del NR84 fue del 88,70% y en los ensayos previos 87,34%. Los porcentajes de degradación fueron similares. El porcentaje de mineralización alcanzó un 45,32%.

Con 40 mg/L de TiO_2 y 4 mL/L de H_2O_2 (E4) no se corroboró que a mayor H_2O_2, mayor porcentaje de degradación, comparado con E3. Esto se puede explicar porque con altas cantidades de H_2O_2, en el caso del NR84, los radicales hidróxilos pueden sufrir recombinación.

La fotocatálisis con 80 mg/L de TiO_2 y 2 mL/L de H_2O_2 (E5), degradó el NR84 en 70,93%, que, comparándose con el ensayo E3 (87,34%), tuvo menor porcentaje de degradación. Esto indica que el incremento de TiO_2 disminuyó el porcentaje de degradación del colorante, pudiéndose quedar al interior del tubo partículas de TiO_2 sin fotoactivar. El ensayo con 80 mg/L de TiO_2 y 3 mL/L del H_2O_2 (E6) dio 87,42% de degradación del NR84, que al ser comparado con E3, cuya degradación fue de 87,34%; se observa que no se notó el efecto del TiO_2 y del H_2O_2.

Si se compara el E6 con el E5, se observa que el aumento del H_2O_2 incrementó el porcentaje de degradación del NR84. Se hizo nuevamente el ensayo E6. El porcentaje de mineralización fue del 45,36%. El nuevo ensayo reportó 76,77% de degradación del colorante, mientras que el experimento previo mostró 87,42% de degradación. Esta disminución se debe a que los días en que se hicieron las tres réplicas del nuevo ensayo fueron menos soleados.

El ensayo con 80 mg/L de TiO_2 y 4 mL/L de H_2O_2 (E7), degradó el NR84 en 84,74%. Comparándolo con el ensayo E6 (87,42%), se observa que la degradación del NR84 disminuyó en un 2,68%, por lo tanto el aumento en la cantidad de H_2O_2 no aumentó el porcentaje de degradación. Si se compara con el E5 (70,93%), se nota el efecto positivo del H_2O_2.

Esto significa que esa concentración del TiO_2(80 mg/L) no permite el aumento del porcentaje de degradación del NR84 (discutido anteriormente). La degradación

del colorante con 100 mg/L de TiO_2 y 4 mL/L de H_2O_2 (E8) fue de 77,96%, o sea que disminuyó en comparación con la fotocatálisis del ensayo E7. Se corrobora que el aumento del TiO_2 por encima de 40 mg/L no produce un incremento en la degradación del NR84.

En el ensayo E9 (100 mg/L de TiO_2) el no uso del peróxido de hidrógeno disminuyó casi completamente la degradación del colorante, y por lo tanto es indispensable el uso de éste. Para este ensayo el porcentaje de degradación fue del 9,30%, que si se compara con el E8, da una degradación de 77,96%.

En el ensayo con 40 mg/L de TiO_2, 2 mL/l H_2O_2 y aire (E10), comparado con los resultados de los ensayos con TiO_2 y H_2O_2 (sin usar aire), el aire no mejoró el porcentaje de degradación del colorante y, por el contrario, lo disminuyó. Esto puede explicarse porque al haber bastantes radicales libres existe una competencia entre éstos por el colorante, y además interactúan entre ellos, lo cual disminuye la cantidad efectiva de los mismos.

También disminuyó el porcentaje de degradación del NR84 cuando se usaron 80 gm/L de TiO_2, 3 mL/l H_2O_2 y aire (E11), en comparación con el E6, confirmando la anterior justificación.

El ensayo E11 fue realizado nuevamente para evaluar la mineralización, la cual dio 52,77%, que es uno de los mayores valores obtenidos en este trabajo. El ensayo previo y este de repetición dieron diferentes los porcentajes de gradación. El previo dio: 70,84% y el segundo montaje 81,85%. Esto se debe a que los días en que se hicieron los ensayos previos fueron menos soleados.

En el ensayo con 80 mg/L TiO_2 y aire (E12), el porcentaje de degradación fue tan bajo como el obtenido con 100 mg/L de TiO_2 sin usar peróxido de hidrógeno y aire. Esto corrobora que es necesario el peróxido de hidrógeno para realizar la fotocatálisis del NR84. Esto se comprueba si se compara con los resultados de los experimentos de la oxidación, con sólo peróxido de hidrógeno, que dieron mejores resultados.

Al modelo estadístico utilizado para el análisis de los experimentos se le calculó el ANOVA con el objetivo de comprobar si el modelo utilizado sirve para explicar la degradación del colorante.

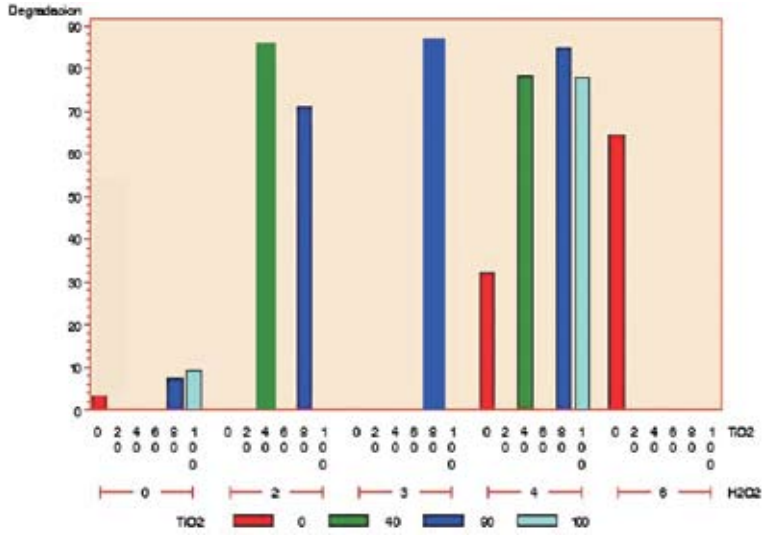
Del ANOVA para el modelo estadístico planteado se dice que es significativo ($p<0,0001$), por lo tanto sirve para explicar la degradación del NR84 de acuerdo con los factores definidos. El coeficiente de variación ($R2=0,9446$) significa que el 94,46% de la variación en la degradación del Naranja Reactivo 84 es explicado por el modelo propuesto que incluye los efectos del TiO_2, H_2O_2, aire y la interacción entre ellos.

El análisis de significancia de efectos nos muestra que tanto el TiO_2, H_2O_2 y el aire, como la interacción entre ellos, son significativos ($p<0,0001$). O sea que el cambio en la concentración de éstos y su interacción afecta la degradación.

El gráfico 1 muestra el porcentaje de degradación del Naranja Reactivo 84 frente a la combinación del TiO_2 y H_2O_2. Esta gráfica indica que sin peróxido de hidrógeno y con concentraciones de dióxido de titanio de 0, 80 y 100 mg/L se obtienen niveles bajos de degradación y muy pequeñas diferencias entre ambos. se deduce que la mayor degradación del colorante se obtiene cuando se combina el TiO_2 entre (40-80 mg/L) con el H_2O_2 entre (2-4 mL/L). El aire disminuye la eficiencia del tratamiento, del cual ya se había afirmado que era significativo (estadísticamente) en el tratamiento. Por lo tanto, se comprueba que las mayores degradaciones del colorante ocurren en los ensayos E3, E4, E6 y E7. Por lo anterior, las concentraciones óptimas para la degradación de este en una concentración de 340 mg/L son: 40 mg/L de dióxido de titanio y 2mL/L de peróxido de hidrógeno sin inyección de aire.

Se comprobó gráficamente que hay homogeneidad en los residuales del modelo, es decir, su variabilidad es baja. También la prueba de Kolmogorov, con una significancia del 5%, afirma que los residuales tienen una distribución normal y eso sugiere que el modelo cumple con los supuestos de normalidad, es decir, se validan los supuestos del modelo (normalidad en los errores y varianza homogénea).

Gráfico 1. Interacción entre el dióxido de titanio y el peróxido de hidrógeno para la degradación del Naranja Reactivo 84



Fotocatálisis del agua residual industrial

Se hicieron ensayos con tres lotes de agua residual, el primer lote corresponde a los ensayos AM1 y AM3, el segundo lote corresponde a los ensayos AM4, AM5 y AM6 y el tercero corresponde al ensayo AM2. Cada lote de agua residual pertenece a muestreos en que se usaron diferentes colorantes, de acuerdo con la producción de la industria textil. En todos los lotes de agua residual se tenía Naranja Reactivo 84.

El seguimiento de la degradación de los colorantes del agua residual corresponde a los que absorben a 604 nm. En cambio, con la DQO el seguimiento en la fotocatálisis del agua residual fue la desaparición de todos los compuestos oxidables, entre los cuales están todos los colorantes.

Para los ensayos AM1 (40 mg/L de TiO_2 y 2 mL de H_2O_2/L) y AM3 (80 mg/L de TiO_2 y 3 mL de H_2O_2/L y Aire), se observa que los porcentajes de disminución del color respectivamente son 70,17% y 77,77%, siendo más eficiente el tratamiento utilizado en el ensayo AM3. En cuanto a la mineralización, medida por la variación de la DQO, los porcentajes respectivos son 21,08% y 56,29%, obteniéndose también el mayor porcentaje de mineralización en el ensayo AM3. Existe una concordancia en estos resultados, ya que en la medida en que se obtuvo mayor disminución del color a 604 nm. También se obtuvo mayor porcentaje de mineralización. Por lo tanto, comparando AM1 y AM3, se notó el efecto del incremento de TiO_2 y del H_2O_2.

Para el ensayo AM2 (80 mg/L de TiO_2 y 3 mL de H_2O_2/L) se obtuvo una disminución del color del 51,71% y una mineralización del 12,74%. Aún cuando está claro que son aguas residuales de diferente composición a las de los ensayos AM1 y AM3, si se comparan los resultados de disminución del color y disminución de la DQO de estos dos ensayos con los de AM2, se tiene que con este último ensayo fueron más difíciles la degradación y la mineralización, a pesar de tener una mayor cantidad de dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno que en el ensayo AM1, e igual cantidad de dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno que en el ensayo AM3, con adición de aire.

Para los ensayos AM4 (40 mg/L de TiO_2 y 2 mL de H_2O_2/L), AM5 (80 mg/L de TiO_2 y 3 mL de H_2O_2/L) y AM6 (80 mg/L de TiO2 y 3 mL de H_2O_2/L + aire), se observa que los porcentajes de disminución del color respectivamente son: 47,45% 59,29% y 43,72%, siendo más eficiente el tratamiento utilizado en el ensayo AM5 en cuanto a remoción del color. En cuanto a la mineralización, los porcentajes respectivos son 27,22% (AM4) y 28,72% (AM5). La DQO del ensayo AM6 no se pudo medir, siendo el mejor porcentaje de mineralización en el ensayo AM5.

Existe una concordancia en estos resultados, ya que en la medida en que se encontró mayor disminución del color también se obtuvo mayor porcentaje de mineralización. Para esta característica de agua residual el mejor ensayo fue con las condiciones experimentales del AM5, lo cual corrobora que el incremento de TiO_2 y H_2O_2 favorece el aumento del porcentaje de degradación y de mineralización.

DISCUSIÓN

En la fotólisis del Naranja Reactivo 84 se obtuvieron muy bajos porcentajes de degradación del colorante. El promedio de las tres réplicas realizadas es de 10,68% en 32 horas.

En los ensayos realizados para la degradación y la mineralización del Naranja Reactivo 84 se obtuvieron porcentajes de degradación del colorante entre el 7,31 y el 87,42%. Los ensayos de mayor a menor porcentaje de degradación de color, son en este orden: E6 (80 mg/l de TiO_2 y 3 mL de H_2O_2 /L), E3 (40 mg/l de TiO_2 y 2 mL de H_2O_2 /L), E7 (4 mL H_2O_2/L y 80 mg/L de TiO_2), E4 (4 mL H_2O_2/L y 40 mg/l de TiO_2), E8 (4 mL H_2O_2/L y 100 mg/L de TiO_2), E5 (80 mg/l de TiO_2 y 2 mL de H_2O_2 /L), E11 (3 mL H2O2/L, 80 mg/l de TiO_2 y Aire), E10 (40 mg/l de TiO_2, 2 mL de H_2O_2/L y Aire), E2 (6 mL de H_2O_2/L), E1 (4 mL de H_2O_2/L), E9 (100 mg/L de TiO_2,) y E12 (80 mg/l de TiO_2 y Aire). En los ensayos E6 y E3 se obtuvo mayor porcentaje de degradación del colorante (87,42% y 87,34%, respectivamente) y en el ensayo E12 fue donde se encontró el menor porcentaje de degradación del Naranja Reactivo 84, con 7,31%.

El porcentaje de degradación y la velocidad de degradación del colorante, cuando se utilizó solamente peróxido de hidrógeno, fue mayor en la medida que se incrementó la cantidad de éste. Cuando se utilizó la mezcla dióxido de titanio, peróxido de hidrógeno y aire, fue mayor en la medida en que se aumentó la cantidad de dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno.

El porcentaje de degradación y la velocidad de reacción disminuyeron en los ensayos donde se inyectó aire en combinación con dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno, comparados con los porcentajes de degradación y la velocidad en los ensayos donde se utilizó solamente dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno.

Para las combinaciones de dióxido de titanio y de peróxido de hidrógeno fue donde se alcanzaron los mayores porcentajes de degradación y las mayores velocidades de degradación del colorante. Las mayores velocidades de degradación y los menores tiempos de degradación se alcanzaron con las menores concentraciones de peróxido de hidrógeno y fotocatalizador, es decir, ensayos E6 y E3.

En los ensayos que se montaron nuevamente con el Naranja Reactivo 84 para evaluar la mineralización, se escogieron tres de los mejores ensayos realizados previamente para la degradación del colorante, los ensayos fueron: E3, E6 y E11. Se obtuvieron muy buenos porcentajes de degradación de colorante, entre el 76,77 y el 88,70%.

En el orden de mayor a menor porcentaje de degradación del colorante, tenemos: E3 (40 mg/l de TiO_2 y 2 mL H_2O_2 /L), E11 (3 mL H_2O_2/L, 80 mg/l de TiO_2 y Aire) y E6 (80 mg/l de TiO_2 y 3 mL H_2O_2/L), en ocho horas de irradiación solar. Los porcentajes de mineralización, de mayor a menor, son: 52,77 (E11), 45,36 (E6) y 45,32 (E3) %. En este mismo orden disminuyó la velocidad de degradación y de mineralización y los tiempos de vida media.

Las concentraciones óptimas de fotocatalizador y agente oxidante para la degradación del Naranja Reactivo 84 (340 mg/L) encontradas en esta investigación son

40 mg/L de TiO_2 y 2 mL/L H_2O_2, sin inyección de aire, ya que éste disminuye el porcentaje de degradación final del colorante.

Con las condiciones que se obtuvieron los mejores resultados de degradación del Naranja Reactivo 84, se realizó la fotocatálisis de un agua residual de una industria textil.

Se realizaron seis experimentos, con sus tres réplicas cada uno. Se trabajó con tres lotes de aguas residuales, los cuales contenían diferentes colorantes y en todos ellos Naranja Reactivo 84. Se obtuvieron buenos porcentajes de disminución del color a 604 nm, siendo las mejores condiciones las obtenidas con los ensayos AM3 (77,77%) donde se utilizaron 80 mg/L de TiO_2, 3 ml H_2O_2/L y aire.

Bajo estas mismas condiciones el porcentaje de mineralización fue de 56,29%; siendo éste el mayor obtenido en los ensayos con el agua residual.

AGRADECIMIENTOS

Para realizar esta investigación se contó con el apoyo económico del Centro Nacional Agropecuario la Salada, SENA, Regional Antioquia y con el apoyo técnico y económico del Grupo de Investigaciones y Gestión Ambiental (GIGA) de la Universidad de Antioquia.

REFERENCIAS

1. BLANCO GÁLVIS, JULIÁN Y MALATO RODRÍGUEZ, SIXTO. Descontaminación de aguas residuales mediante fotocatálisis solar. En: Ingeniería Química. Vol. 25, No. 286. (ene. 1993); p. 129-137.

2. BLANCO GÁLVIS, JULIÁN; MALATO RODRÍGUEZ, SIXTO Y RICHTER, Christoph. Tratamiento de efluentes con fotocatálisis solar. En: Ingeniería Química. Vol. 27, No. 316 (sep. 1995); p. 125-132.

3. PEÑUELA M., GUSTAVO A. Fotólisis y fotodegradación sensibilizada con Fe3+ y TiO2 de pesticidas en aguas naturales. Barcelona, 1998, 149 p. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Departamento de Química analítica.

4. MALATO. S., et al. Low contrating CPC collectors for photocatalytic water detoxification: comparison with a medium concentrating solar collector. En: Water Science & Technoloy. Vol. 35, No. 4 (1997); p. 157-164.

5. VALLADARES, Julio Eduardo. Fotocalizadores y energía solar en la detoxificación de aguas contaminadas: Aplicaciones potenciales. México : Centro de calidad ambiental. Universidad Tecnológica de Monterrey. Monterrey, 1998. 6 p.

6. PEÑUELA M., GUSTAVO A. Destoxificación solar de aguas mediante la fotocatálisis o fotosensibilización. En : Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. No 19 (dic. 1999); p. 24-28

7. MALATO RODRÍGUEZ, SIXTO, et al. Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an ovierview. En: Applied Catalysis B: Environmental. Vol. 37, No. 1 (apr. 2002); p. 1-15.

8. KIRK-OTHMER. Enciclopedia de tecnología química. México : Editorial Limusa, 1998. p. 357-379.

9. COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA. Hoja de seguridad, Naranja Reactivo 84. Directiva 91/155/CEE de la Comisión, de 5 de marzo de 1991, por la que se definen y fijan, en aplicación del artículo 10 de la Directiva 88/379/CEE del Consejo, las modalidades del sistema de información específica, relativo a los preparados peligrosos. (Diario Oficial n° L 076 de 22 de marzo, 1991) p. 0035 – 0041.

10. CHUN, HU and YIZHONG, WANG. Decolorization and biodegradability of photocatalytic treated azo dyes and wool textile wastewater. In: Chemosphere. Vol. 39, No. 12 (1999); p. 2107-2115.

11. PERALTA-ZAMORA, Patricio, et al. Degradation of reactive dyes I. A comparative study of ozonation enzymatic and photochemical processes. En: Chemosphere. Vol. 38, No. 4 (1999); p. 835-852.

12. BANDALA, E. et al. Tratamiento de agua residual proveniente de la industria textil mediante fotocatálisis solar. México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2001.

View publication stats