

# Acople fotocatalítico - biológico para el tratamiento de desechos complejométricos generados en laboratorios de análisis químico y ambiental\*

Martha Isabel Baquero Dulcey\*\*, Adriana Maria Sterling López\*\*\*, Adriana Consuelo Mera Benavides\*\*\*\*

## Resumen

**Introducción.** La fotocatalisis heterogénea es útil como pretratamiento antes de un tratamiento biológico para contaminantes resistentes a la biodegradación. La fitorremediación se utiliza para degradar y extraer contaminantes del ambiente. El acople de estas dos técnicas podría ser una buena alternativa para el tratamiento de desechos complejométricos con presencia de indicadores metalocrómicos. **Objetivo.** Aplicar fotocatalisis y fitorremediación a desechos complejométricos generados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca. **Materiales y métodos.** Para el proceso de fotocatalisis se utilizó un foto-reactor y se analizaron las condiciones bajo las cuales se obtuvieron los mayores porcentajes de degradación y mineralización del indicador Negro de Ericromo T (NET). En el proceso de fitorremediación se utilizaron reactores con plantas acuáticas y el control se realizó por medio del conteo de frondas y análisis químico. **Resultados.** Las condiciones óptimas para el tratamiento del desecho con presencia del indicador complejométrico NET son: 0,3 g/L de catalizador  $TiO_2$ , 80 ppm de  $H_2O_2$  y un tiempo de exposición de luz UV de tres horas, obteniéndose un porcentaje de degradación del NET de 86,85%. En el proceso de fitorremediación no se alcanzó la remoción de sales esperada para este experimento. **Conclusión.** La utilización de concentraciones adecuadas de  $TiO_2$  y  $H_2O_2$  permite obtener buenos porcentajes de degradación del indicador NET presente en desechos químicos. Se recomienda realizar un estudio

más detallado que permita la elección de otro tipo de tratamiento biológico complementario al fotocatalítico, que logre la remoción de las sales presentes.

**Palabras clave:** Fotocatalisis heterogénea, fitorremediación, desechos, negro de eriocromo T, degradación.

**Biological-photo catalytic combination for the treatment of complexometric waste materials generated in chemical and environmental analysis laboratories**

## Abstract

**Introduction.** The heterogenous photocatalysis is useful as a pre treatment before the biological treatment of polluting agents which are resistant to biodegradation. The phytoremediation is used to degrade and to extract polluting agents from the environment. The combination of both techniques is a good alternative for the treatment of complexometric waste with complexometric indicators. **Objective.** To apply photo catalysis and phytoremediation to the complexometric waste generated in the Universidad del Cauca's laboratory of environmental and sanitary engineering. **Materials and methods.** A photo-reactor was used for the photo-catalysis process and the conditions under which the highest degradation and mineralization percentages of the eriochrome black T (NET) indicator were analyzed. In

\* Artículo producto de la investigación: "Acople fotocatalítico - biológico para el tratamiento de desechos complejométrico generados en laboratorios de análisis químico y ambiental", realizada con el apoyo económico de la Vicerrectoría de Cultura y Bienestar y la Decanatura de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.

\*\* Ingeniera Ambiental. Universidad del Cauca

\*\*\* Ingeniera Ambiental. Universidad del Cauca

\*\*\*\* Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Docente Universidad del Magdalena. Línea de Investigación Residuos Peligrosos: Semillero de Investigación en Gestión Integral de Residuos Peligrosos GIRP. Universidad del Cauca.

Correspondencia: Adriana Consuelo Mera Benavides, e-mail: adrymera@hotmail.com

Artículo recibido: 21/08/2009; artículo aprobado: 05/04/2010

the phytoremediation process, reactors with aquatic plants were used. The control was made by the use of foliage counts and chemical analysis. **Results.** The optimal conditions for the treatment of waste with NET were: 0, 3 g/L of  $\text{TiO}_2$  catalyst, 80 ppm of  $\text{H}_2\text{O}_2$  and an UV light exposure time of three hours, obtaining a degradation percentage of 86.85%. In the phytoremediation process, the removal of salts expected was not achieved. **Conclusion.** The use of adequate  $\text{TiO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentrations can achieve a good degradation percentage of the NET indicator contained in chemical waste. A more detailed study that allows the election of another type of biological treatment to complement the photo catalysis in order to achieve the salts removal, is recommended.

**Key words:** Heterogenous photo catalysis, phytoremediation, waste, eriochrome black T (NET), degradation.

### Acople fotocatalítico - biológico para o tratamento de refugos complexo-métricos gerados em laboratórios de análise química e ambiental

#### Resumo

**Introdução.** A foto-catálise heterogênea é útil como pré-tratamento antes de um tratamento biológico para contaminantes resistentes à bio-degradação. A fitorremediação se utiliza para degradar e extrair contaminantes do ambiente. O acople destas

duas técnicas poderia ser uma boa alternativa para o tratamento de refugos complexo-métricos com presença de indicadores metalocrômicos. **Objetivo.** Aplicar foto-catálise e fitorremediação a refugos complexo-métricos gerados no laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Cauca. **Materiais e métodos.** Para o processo de foto-catálise se utilizou um foto-reator e se analisaram as condições sob as quais se obtiveram as maiores percentagens de degradação e mineração do indicador Negro de Eriocromo T (NET). No processo de fitorremediação se utilizaram reatores com plantas aquáticas e o controle se realizou por meio do contagem de frondas e análise química. **Resultados.** As condições ótimas para o tratamento do refugo com presença do indicador complexo-métrico NET são: 0,3 g/L de catalisador  $\text{TiO}_2$ , 80 ppm de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e um tempo de exposição de luz UV de três horas, obtendo-se uma percentagem de degradação do NET de 86,85%. No processo de fitorremediação não se atingiu a remoção de sais esperada para este experimento. **Conclusão.** A utilização de concentrações adequadas de  $\text{TiO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  permite obter boas percentagens de degradação do indicador NET presente em refugos químicos. Recomenda-se realizar um estudo mais detalhado do que permita a eleição de outro tipo de tratamento biológico complementar ao fotocatalítico, que consiga a remoção dos sais presentes.

**Palavras importantes:** Foto-catálise heterogênea, fitorremediação, refugos, negro de eriocromo T, degradação.

---

## Introducción

En la actualidad, uno de los problemas ambientales más preocupantes y que ponen en riesgo la salud de la humanidad, es el inadecuado tratamiento y disposición final de los residuos líquidos peligrosos. Muchos de ellos se generan principalmente en procesos industriales, mineros y petroleros<sup>1</sup>. En los laboratorios de análisis químico y ambiental se presenta esta misma situación, aunque el volumen de residuos que se genera en estos es relativamente pequeño en relación con el proveniente del sector industrial, pero no por ello debe considerarse como un problema menor.

En los laboratorios de análisis químico y ambiental se realizan actividades en las cuales se generan algunos residuos denominados complejométricos, con presencia de indicadores metalocrômicos, ácido etilendiaminotetracético (EDTA) y sales metálicas de magnesio, calcio, hierro y manganeso. Generalmente confieren al líquido residual carga orgánica y coloración, la cual perdura en el tiempo. Estos residuos muchas veces son vertidos hacia los desagües y alcantarillados sin ningún tratamiento previo, o simplemente se neutralizan olvidando que en ellos se encuentran presentes sustancias potencialmente nocivas, como el indicador metalocrômico<sup>a</sup> Negro de eriocromo T, (NET), el

<sup>a</sup> **Indicador metalocrômico:** La mayoría de estos compuestos son colorantes que forman quelatos (un quelato se forma cuando un ión metálico se coordina con dos o más grupos donadores presentes en un solo ligando (especie química que dona electrones) para formar un anillo heterocíclico (anillo orgánico que presenta en su estructura átomos diferentes al carbono) de cinco o seis miembros (Skoog,2001).

cual, además de ser potencialmente cancerígeno para la especie humana, es un compuesto tóxico para organismos acuáticos que puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente<sup>2</sup>.

Debido a que el NET no es un compuesto fácil de degradar, y con el fin de no verter las sales directamente al agua para evitar contaminación salina en el ambiente, se decidió tratar el desecho primero por fotocátalisis, buscando degradar y mineralizar<sup>b</sup> el indicador junto con los otros compuestos orgánicos (EDTA) presentes en el desecho. Posteriormente se acopló con la técnica de fitorremediación, para disminuir el contenido de sales y continuar así con el proceso de mineralización y degradación de la materia orgánica. Los resultados obtenidos se sintetizan en el presente artículo.

## Materiales y métodos

### Fase I: Fotocatálisis

El sistema usado en la experimentación es un foto-reactor tipo Batch, con recirculación

de la muestra y una agitación continua dentro de un recipiente de mezcla (zona de homogenización). Consta de: Un reactor elaborado en pirex, con dos orificios (entrada y salida), sellado herméticamente con esmerilado en la parte superior y con un tapón de caucho en la parte inferior; una lámpara de luz ultravioleta, con tubo de baja presión de mercurio, longitud de onda de 254 nm, 15 Watts de potencia y 45 cm de largo; una zona de homogenización, que consta de un recipiente (erlenmeyer) en pirex de 500mL de capacidad y un magneto con recubrimiento de teflón para agitación; una bomba con funcionamiento peristáltico para la recirculación; mangueras de material plástico transparente que conectan el sistema pero que no reaccionan con él; un tubo en PVC y una caja en triplex, para aislar el foto-reactor (figura 1).

Se optimizaron las concentraciones de dióxido de titanio y peróxido de hidrógeno (tabla 1), utilizando la misma concentración del indicador NET (2000 ppm) y un pH fijo (10 unidades) en todos los ensayos experimentales desarrollados.



Figura 1. Montaje experimental del sistema fotocatalítico.

<sup>b</sup> **Mineralizar:** transformar sustancias complejas en sustancias simples, como: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y sales.

Se realizaron ensayos sobre un desecho sintético, el cual fue preparado simulando las condiciones del desecho generado en el laboratorio, variando para cada ensayo la dosis de catalizador y peróxido de hidrógeno y sometiendo el desecho a 8 horas de radiación UV. Durante este tiempo se realizó seguimiento por color para evaluar en cada hora la degradación del indicador, determinando así el cambio en la concentración del NET, y su mineralización, utilizando la técnica de DQO. Estos dos parámetros se determinaron mediante el método

espectrofotométrico, con longitudes de onda de 530 nm para la medición de color y 600 nm para DQO. Una vez obtenidos los resultados de color y DQO para cada ensayo se realizó la respectiva comparación estadística utilizando el paquete estadístico SPSS 15, por medio del modelo de medidas repetidas, determinando la dosis de catalizador y peróxido de hidrogeno óptimos para el tratamiento, es decir, las medidas en las cuales se presentó mayor degradación en el menor tiempo posible.

**Tabla 1. Condiciones experimentales utilizadas en la degradación del indicador negro de eriocromo T**

Condición	Tratamiento	Catalizador(g/L)	Peróxido (ppm)
Fotólisis	T1	0	0
	T5	0	30
	T9	0	60
Oxidación Química	T13	0	80
	T2	0,1	0
	T3	0,3	0
	T4	0,5	0
	T6	0,1	30
	T7	0,3	60
	T8	0,5	80
	T10	0,1	30
	T11	0,3	60
	T12	0,5	80
Fotocatálisis heterogénea	T14	0,1	30
	T15	0,3	60
	T16	0,5	80

Para los análisis de DQO y color se tomaron muestras en cada tratamiento a las horas 0, 1, 3, 4, 7 y 8.

### Fase II: Fitorremediación

En el proceso de fitorremediación se utilizaron 14 fitorreactores y algunos ejemplares de las plantas acuáticas (Lemnas o lentejas de agua), para el desecho previamente tratado por fotocátalisis, y la solución de Hutner, empleada

para la aclimatación de las plantas y para los reactores testigo<sup>c</sup> utilizados como control en esta fase de la investigación.

Antes de realizar el cultivo las lemnas se sometieron a un proceso de lavado, primero con agua declorada y luego con agua desionizada. Posteriormente las plantas estuvieron en una solución de hennar 1/10, con los nutrientes necesarios para lograr su aclimatación a las condiciones ambientales del lugar de cultivo, pro-

<sup>c</sup> **Testigo o experimento control:** Es un modelo que cumple con condiciones ideales para que ayude a observar las variaciones durante la experimentación y no contar con ninguno de los factores que estamos probando con el experimento (Vergara, 1997).

ceso que se mantuvo durante 22 días, tiempo en el que se observó un crecimiento continuo. Después de aclimatadas las plantas se realizó la siembra en simultáneo de igual número de plantas de lemna en el desecho sintético tratado por fotocátalisis y en reactores testigo, para llevar un conteo diario con el fin de observar y analizar si el desarrollo de las plantas en el desecho era similar al de las plantas sembradas en los reactores testigo y, posteriormente, cuantificar por medio de análisis químicos la remoción de materia orgánica y sales metálicas en el desecho.

Para la siembra se cargaron con 200ml de solución de Hutner tres reactores testigo y once con el desecho tratado por fotocátalisis. En cada uno de estos reactores se colocaron 10 frondas de lemna para dar inicio al proceso. Los reactores se colocaron en una zona a igua-

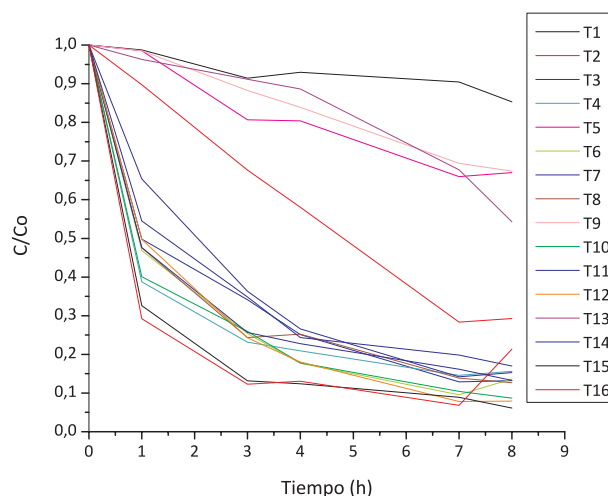
les condiciones de temperatura y luminosidad. Las lentejas de agua de los reactores testigo se mantuvieron allí por un tiempo de 15 días, con el fin de observar el crecimiento de estas plantas, además de comparar este crecimiento con el de la plantas de los reactores del tratamiento del desecho, las cuales se mantuvieron en estos durante 5 días.

## Resultados

### FASE I: Fotocátalisis

#### Seguimiento del proceso fotocatalítico por concentración:

La gráfica 1 muestra el comportamiento de la concentración del NET en los diferentes tratamientos, y cómo varía ésta según la cantidad de catalizador.



**Gráfica 1. Concentración normalizada de negro de eriocromo T Vs. Tiempo<sup>d</sup>**

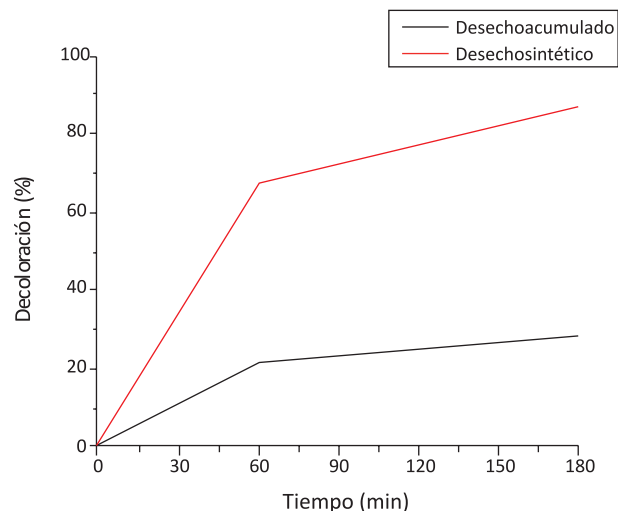
#### Aplicación del tratamiento al desecho acumulado

Una vez obtenida la dosis óptima para el tratamiento fotocatalítico se procedió a aplicar esta dosis sobre el desecho acumulado en el laboratorio, realizando seguimiento por color y DQO en intervalos de tiempo de 30 minutos

durante 3 horas, obteniendo los resultados que se muestran en las gráficas 2 y 3.

Comparando estos resultados con los obtenidos en el tratamiento del desecho sintético se nota una diferencia significativa en cuanto a los porcentajes de decoloración del NET en el desecho sintético (86,85%) y en el desecho acumulado en el laboratorio (28,56%).

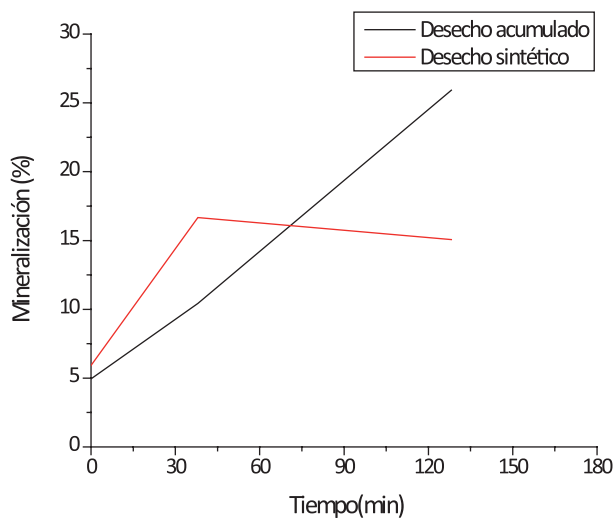
<sup>d</sup> Las siglas T1, T2, T3, etc. corresponden al número de tratamiento con las dosis referidas en la tabla 1.



**Gráfica 2. Porcentaje de decoloración del desecho acumulado y del desecho sintético**

En cuanto a la mineralización, como se observa en el gráfico 3, al tratar el desecho acumulado (con un 29,28%) se logra casi el doble de la

mineralización alcanzada en el tratamiento del desecho sintético (14,83%).



**Gráfica 3. Porcentaje de mineralización del desecho acumulado y del desecho sintético**

## FASE II: Fitorremediación

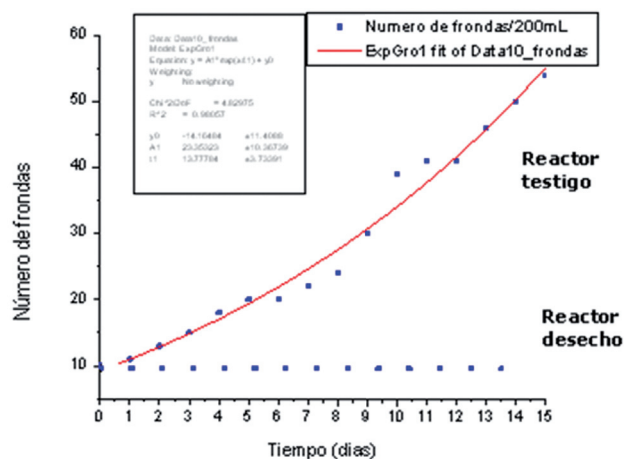
Las plantas sembradas en la solución de Hutter presentaron un crecimiento exponencial, según el gráfico 4, demostrando que sí se encontraban en condiciones ambientales tolerables de temperatura y luminosidad, mientras

que las plantas en el desecho comenzaron a secarse a las 24 horas, tomando una coloración amarilla por lo que se observa en la gráfica 4, un número de frondas constante.

El seguimiento de las plantas en el desecho se realizó por 5 días en espera de que las plantas

en el desecho reanudarán su ciclo, lo cual no ocurrió. Sin embargo, el conteo de las frondas en los reactores testigo se continuó durante 10 días más para observar cómo sería el desarrollo normal de éstas. Además se realizaron los análisis de nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, DQO y concentración por

colorimetría en el desecho en el que se sembraron las plantas para determinar la variación de estos parámetros durante el proceso. Los resultados se reportan en la tabla 2, en la cual se hace una síntesis de los resultados de estos parámetros a lo largo del acople fotocatalítico y biológico para el desecho sintético.



Gráfica 4. Crecimiento de lemnas

Tabla 2. Resultados obtenidos durante el acople fotocatalítico y biológico en el desecho sintético

Características	Antes del Tto. Fotocatalítico	Después del Tto. Fotocatalítico	Después del Tto. Biológico
Concentración de NET (ppm)	1419,35	96,77	16,13
DQO mg/l de O <sub>2</sub>	242,5	205,9	591,5
Nitritos (MG/L NO <sub>2</sub> -N)	0,095	10,18	26,00
Nitratos (MG/L NO <sub>3</sub> -N)	1,7	2,5	3,5
Nitrógeno amoniacal	0,21	0,19	0,31
Nitrógeno total(mL/100mL)	0,22	0,19	0,32
Calcio(ppm)	-	6,64	19,28
Magnesio(ppm)	-	1,38	0,69
Manganeso(ppm)	-	5,45	6,18
Hierro(ppm)	-	0,14	0,76

Fuente: Análisis realizados por la Unidad de Análisis Industriales, Universidad del Cauca

De acuerdo con los resultados reportados en la tabla 2, durante la primera fase (fotocatálisis) del acople fotocatalítico y biológico se logró una disminución de la concentración del NET de 1419,35 a 96,77 ppm con un porcentaje de degradación del 93,18%, y de la primera a

la segunda fase (fitorremediación), se alcanzó una degradación 98,86%, disminuyendo la concentración del NET de 96,77 a 16,13 ppm. Esto sucede debido, posiblemente, a que el desecho se mantuvo expuesto a los rayos ultravioleta proporcionados por la luz solar mien-

tras se encontraba en el tratamiento biológico, lo que pudo contribuir a que se continuara con un proceso de fotólisis que incrementó la degradación del indicador negro de eriocromo T.

## Discusión

En la gráfica 1 los tratamientos T9, T5, T13, y T1 son los que no presentan catalizador, por lo que se ve como éste parámetro influye en la degradación del contaminante mostrando menor eficiencia que en los procesos con presencia de catalizador. En el tratamiento T1 se lleva a cabo un proceso de fotólisis, presentándose un comportamiento casi constante, con una remoción del 14,68%, por lo que se puede decir que bajo estas condiciones la luz Uv tiene poco efecto oxidativo sobre el indicador NET.

En el caso de los tratamientos T5, T9 y T13, donde hay un proceso de oxidación química, se presenta una leve disminución del color. Esta variación es debida a que el peróxido de hidrógeno genera radicales hidroxilos, que son los responsables de la degradación oxidativa y mineralización de muchas sustancias orgánicas<sup>3</sup>. Además en estos tratamientos se verifica lo reportado en la teoría, en la cual se manifiesta que al utilizar mayor concentración de peróxido, mayor será la degradación de algunas sustancias orgánicas<sup>4</sup>.

Asimismo se observa cómo el tratamiento T2, que contiene la dosis mínima de catalizador (0,1 g/L) y 0 ppm de peróxido de hidrógeno, empieza a marcar la diferencia entre los tratamientos que contienen catalizador y los que no lo tienen, ya que se observa mayor disminución de la concentración de NET en los tratamientos en los que se utiliza catalizador por que éste es un semiconductor que, promovido por energía de determinada longitud de onda, se comporta como un material conductor en cuya superficie se desarrollan reacciones de óxido reducción que generan radicales libres muy reactivos, y éstos atacan especies orgánicas que están a su alrededor rompiendo los enlaces de las moléculas y oxidándolas o reduciéndolas, hasta convertirlas en especies menos complejas<sup>5-6</sup>.

Los tratamientos en los cuales se observa mayor reducción de la concentración del NET

son los tratamientos T12, con 0,5g/L de TiO<sub>2</sub> y 60ppm de peróxido (92% de remoción); T15, con 0,3 g/L de TiO<sub>2</sub> y 80 ppm de peróxido (94% de remoción), y T16, con 0,5 g/L de TiO<sub>2</sub> y 80 ppm de peróxido (78% de remoción), debido a que presentan las mayores dosis de catalizador y de peróxido de hidrógeno.

Analizados los datos, de las tres réplicas -por medio del paquete estadístico SPSS 15- para todos los tratamientos y teniendo en cuenta que esta situación experimental fue conducida de manera que a una misma unidad experimental se le aplican sucesivamente varios tratamientos de donde resultan valores repetidos de una respuesta sobre la misma unidad u objeto, se procedió a aplicar un modelo estadístico de medidas repetidas para conocer el comportamiento de la DQO y la concentración en el tiempo y, así, establecer la dosis óptima de catalizador y peróxido de hidrogeno.

Por medio de este modelo y utilizando las pruebas de comparación múltiple, como la prueba de rango múltiple de Duncan, y la prueba de diferencia significativa honesta (DSH) de Tukey, se encontró que el tratamiento en el cual se presenta un mayor porcentaje de degradación del indicador NET es el tratamiento T15 con una dosis de 0.3g/l de catalizador y 80ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

### Aplicación del tratamiento al desecho acumulado

Aunque al realizar todo el proceso se presentaron incrementos en algunos parámetros (ver tabla 2), cabe resaltar que durante la fase de fotocatalisis se logró reducir el nitrógeno total y el nitrógeno amoniacal por medio de su reducción, lo cual se evidencia en el aumento de la concentración de nitritos y nitratos presentes en el desecho debido a que en el proceso fotocatalítico, mientras la materia orgánica se oxida, otras especies se reducen, como es el caso del NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, reduciendo a su vez el nitrógeno total y transformándose en nitritos y nitratos. Al romperse algunas estructuras orgánicas que poseen nitrógeno es posible también que estas fracciones presenten procesos de óxido reducción, aumentando la cantidad de nitritos y nitratos en el sistema.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 2, y comparándolos con los parámetros



de crecimiento de las plantas acuáticas establecidos en otras investigaciones, se puede constatar que los componentes analizados se encuentran dentro de los rangos en los cuales crecen estas plantas, lo que indica que el desecho sí contenía algunos de los nutrientes necesarios para su crecimiento, además de encontrarse en condiciones de pH adecuadas.

Uno de los parámetros a los que se atribuía la mortalidad de la lenteja de agua es la DQO del desecho. Sin embargo, en estudios realizados con leña para tratamiento de aguas residuales domésticas con concentraciones de 100, 300 y 600 mg/L de demanda química de oxígeno (DQO), se ha encontrado que el crecimiento no depende significativamente de la concentración de DQO. Igualmente se ha encontrado que concentraciones de 23-760 mg de DQO/L no afectan el crecimiento<sup>7</sup>, mientras que concentraciones mayores sí inhiben lo inhiben<sup>8</sup>. Por esta razón se puede afirmar que este parámetro no fue el causante de la muerte de las plantas, ya que el desecho utilizado en esta fase presentó una DQO de 205,9 mg/L.

Para determinar otras posibles causas de la mortalidad de las plantas se realizó una prueba de cloruros al desecho sintético previamente tratado por fotocatalisis, para determinar si este compuesto se encontraba dentro del rango asimilable por las plantas. El valor resultante fue de 3100mg/L de Cl<sup>-</sup>, cercano a 3500mg/L, concentración que es letal para la lenteja de agua<sup>9</sup>. Otra de las causas que pudo afectar el crecimiento de las leñas fue posiblemente que en el desecho se encuentran compuestos que no son asimilables por ellas. Además también se pueden generar especies tóxicas, como lo describen algunos estudios donde se muestra que diferentes intermediarios originados en la degradación del EDTA por fotocatalisis son más tóxicos que el EDTA original, como es el caso de aminas, ácidos carboxílicos y aldehídos<sup>10</sup>.

Debido a lo anterior se recomienda realizar un estudio toxicológico más profundo en el que se logre determinar las reales causas de la mortalidad de las plantas, además de un estudio minucioso para establecer el biotratamiento adecuado para aplicar a este tipo de desechos después del tratamiento fotocatalítico.

## Agradecimientos

Para realizar esta investigación se contó con el apoyo económico de la Vicerrectoría de Cultura y Bienestar; la decanatura de la facultad de Ingeniería Civil; el apoyo técnico en la parte estadística del profesor Yilton Riascos, docente del departamento de matemáticas; de los estudiantes de matemáticas Cindy Torijano y Fabio Paruma y la colaboración del Semillero de Investigación GIRP, los anteriores pertenecientes a la Universidad del Cauca.

## Referencias

1. STAEDTER, Helmut. Tratamientos de desechos peligrosos. [CD ROM]. En: Seminario Sustancias Tóxicas y Peligrosas. (7-9, marzo, 2005: Medellín). Memorias. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, 2005.
2. MERCK. Título del artículo. [on line]. [citado día enero 2006]. 2005. Disponible en: <http://www.segulab.com/murexida.htm>. Este link no abre, recomiendo no colocarlo, además porque le faltan varios datos importantes.
3. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando; MEJÍA FRANCO, Edwin Alejandro y SANTAMARÍA ARANGO, Jorge Julián. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: Revista LaSallista de Investigación. Enero-Junio, 2004, vol. 1, no. 1, p. 83-92.
4. PORRAS HERNÁNDEZ, Paula Andrea y ÁVALOS ARENAS, Jazmín Liliana Tratamiento de los residuos líquidos de los laboratorios del departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y del Centro de Investigación Ambiental de la Facultad de Ingeniería. Tesis Ingeniero Sanitario y Ambiental. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2000. 47 p.
5. GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y PEÑUELA MESA, Gustavo Antonio. Fotocatalisis con TiO<sub>2</sub> de los colorantes azul de metileno y naranja reactivo 84 utilizando colector solar. Tesis Magister en Ingeniería Ambiental. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003. 220 p.
6. HINCAPIÉ, Gina M., *et al.* Estudio de la degradación de E.coli empleando un fotorreactor de discos impregnados y un motorreactor tipo fuente. En: Congreso Colombiano de Ingeniería Química, las Cadenas Productivas. (23: 24-26,

- agosto, 2005: Manizales). Memorias. Manizales: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2005). p. 10-11
7. KORNER, Sabine; LYATUU, G. B. and VERMAAT, Jean E., The influence of *Lemna gibba* L. on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater. En: Water Reseach. October, 1998. vol. 32, no. 10, p. 3092-3098.
  8. MANDI L. Marrakesh wastewater purification experiment using vascular aquatic plants *Eichornia crassipes* and *Lemna gibba*. En: Water Science and Technology. 1994, vol. 29, no. 4, p 283-287
  9. EYSTER, C. Optimization of the physiological activity (growth rate) of the giant duckweed, *Spirodela polyrhiza*. Final Report. Dayton Ohio: Monsanto Res. Corp. Dayton Lab, 1966. 200 p.
  10. MANSILLA, H.D.; BRAVO, C. and FERREYRA, R. Photocatalytic EDTA degradation on suspended and immobilized TiO<sub>2</sub>. En: Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. July, 2006. vol. 181, no. 2-3, p. 188–194.