

# Evaluación de la degradación por Fotocatálisis heterogénea del Ácido 3,5-dinitrosalicílico

Degradation assessment by heterogeneous photocatalysis of 3,5-dinitrosalicylic acid

<sup>a</sup>Ángela María Carvajal Gómez, Estudiante Química Industrial; <sup>a</sup>Leidy Johana Jiménez Coqueco, Estudiante Química Industrial; <sup>a</sup>Vladimir Arias Ramirez, Profesor Auxiliar, <sup>a</sup>Hoover Albeiro Valencia, Profesor Asociado.

<sup>a</sup>Escuela de Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

amcarvajal05@gmail.com

ljjimenez@utp.edu.co

vladoarias@utp.edu.co

hvalencia@utp.edu.co

**Resumen**— El presente artículo reporta los estudios realizados sobre el Ácido 3,5-Dinitrosalicílico (DNS) el cual se encuentra presente en altas concentraciones en los desechos producidos en la práctica del Laboratorio de Físicoquímica II de la Escuela de Química de la Universidad Tecnológica de Pereira: “Catálisis Enzimática: Inversión de la Sacarosa”; En el proceso se encontró, después de realizar un análisis multivarianza ANOVA con diferentes combinaciones de pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> que a pH 4, 300 ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0,7 g/L de TiO<sub>2</sub> se obtiene la mejor degradación primaria del compuesto (96,7%) evaluado espectrofotométricamente a 336 nm; en la extrapolación de estas condiciones al reactor heliofotocatalítico CPC con los desechos recogidos en el laboratorio se obtuvo una degradación del 53,37% en 450 minutos en un día de radiación solar promedio de 253,11 W/m<sup>2</sup>; Por otro lado, las pruebas químicas evidencian que durante la degradación del DNS aislado de otros compuestos produce sustancias que disminuyen la biodegradabilidad de los desechos, mientras que la presencia de otros, la aumentan.

**Palabras clave**— Acido 3,5-dinitrosalicílico, aguas residuales, análisis ANOVA, biodegradación, degradación, compuestos orgánicos, dióxido de titanio, energía solar, fotocatálisis heterogénea, tratamiento de residuos.

**Abstract**— This paper reports studies on the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) which is present in high concentrations in the waste produced in the practice of Physical Chemistry II Laboratory School of Chemistry at the Technological University of Pereira "Enzymatic Catalysis: Inversion of Sucrose" the process was found, after multivariate ANOVA analysis with different combinations of pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> at pH 4, 300 ppm of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and 0.7 g / L of TiO<sub>2</sub> provides the best primary degradation of the compound (96.7%) evaluated spectrophotometrically at 336 nm, the extrapolation of these conditions to heliofotocatalítico CPC reactor with waste collected in the laboratory gave a degradation of 53.37% in 450 minutes in a day of solar radiation 253.11 average W/m<sup>2</sup>; on the other hand, chemical tests show that during the degradation of other compounds isolated DNS produces substances which decrease the biodegradability of the waste, while the presence of other, the increase.

**Key Word** — 3,5-dinitrosalicylic acid, waterwaste, ANOVA analysis, biodegradation, degradation, organic compounds, titanium dioxide, solar energy, heterogeneous catalysis, waste treatment. Heterogeneous Photocatalysis, , TiO<sub>2</sub>, analysis of variance ANOVA.

## I. INTRODUCCIÓN

La incorporación de sustancias químicas catalogadas en la actualidad como tóxicas y no biodegradables dentro de los procesos productivos, ha generado un impacto medioambiental negativo debido a la alta carga contaminante de los desechos que retornan al ecosistema, especialmente a los cuerpos de agua. El objetivo de la comunidad científica hace varias décadas ha sido minimizar estos efectos adversos implementando tratamientos de aguas residuales fundamentados principalmente en la remoción del contaminante de la fase acuosa mediante la micro y nano filtración, la electrocoagulación, entre otros [1], sin embargo, esto no aporta a la solución del problema y lo traslada a una matriz diferente; por otro lado, la utilización de microorganismos, empleado en las plantas de tratamiento industriales, presenta la ventaja de disminuir la carga orgánica de los desechos por degradación, no obstante, los lodos activados generados al final del proceso se convierten en otro inconveniente mayor, y debido al desconocimiento sobre su manejo, terminan nuevamente en las fuentes hídricas además en muchos casos, estos tratamientos no son eficientes frente a compuestos de alta toxicidad ya que estos inhiben la actividad microbiana. [2,3]

Teniendo en cuenta las diferentes propiedades químicas de cada sustancia, se obstaculiza la implementación de una técnica universal, lo que ha conllevado al desarrollo de métodos específicos para cada desecho de interés [4]. Los Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs) basados en la producción de radicales hidroxilo in situ, actúan sobre la materia orgánica oxidándola hasta su mineralización o en su defecto a compuestos más simples; entre los procesos más documentados se encuentra la fotocatálisis heterogénea con Dióxido de Titanio como catalizador debido a que al no ser selectivo, permite trabajar con mezclas complejas de compuestos tóxicos; además el empleo de

la radiación solar como fuente primaria de energía le otorga el título de tecnología sostenible [5,6].

Esta tecnología se implementó en este trabajo para el estudio de la degradación del Ácido 3,5-Dinitrosalicílico, el cual es uno de los componentes principales de los desechos producidos en la Escuela de Química de la Universidad Tecnológica de Pereira dentro de la práctica: “Cinética Enzimática: Inversión de la Sacarosa” de la asignatura Laboratorio de Fisicoquímica II [7].

Este ácido orgánico está clasificado dentro de los nitrofenoles, a los cuales la presencia del grupo nitro en el anillo aromático brinda estabilidad frente a la degradación química y biológica, por lo tanto la biodegradación aerobia no tiene ningún efecto sobre él, mientras que la anaerobia genera compuestos nitrosos e hidroxilaminas los cuales están reconocidos como carcinogénicos [3]. Actualmente se han realizado estudios sobre la degradación mediante fotocatalisis homogénea del compuesto p-nitrofenol el cual es el más sencillo de la familia. El Ácido 3,5-Dinitrosalicílico nunca ha reportado ningún estudio asociado a los PAOs.

## II. CONTENIDO

### A. Equipos y reactivos

Los equipos y reactivos que se utilizaron en el desarrollo de la investigación fueron: Ácido 3,5-Dinitrosalicílico (DNS), Sigma, estado sólido; Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ), Merck, área superficial, tamaño de partícula, densidad; Peróxido de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 50%, Comercial; NaOH comercial, 0,1 N y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  J.T Baker, Concentrado. La determinación de las condiciones óptimas de degradación se realizó en un reactor tipo batch con tres lámparas de luz negra de 15 W cada una (figura 1). El seguimiento de la reacción se llevó a cabo en un Espectrofotómetro EVOLUTION 60 (Thermo Scientific). Para retirar el  $\text{TiO}_2$  de las muestras se usó un filtro Fisherbrand Cat No. 09-820-3. El reactor solar heliofotocatalítico CPC utilizado se presenta en la figura 2. Las pruebas  $\text{DBO}_5$  y DQO se realizaron en el Laboratorio de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira al igual que el análisis de Carbono Orgánico Total. Los datos obtenidos se analizaron por el método de análisis de varianza ANOVA usando Statgraphics Centurion XV versión 15.2.05 [8].



Figura 1. Reactor fotocatalítico tipo batch

### B. Metodología

#### 1. MUESTRA DE ANÁLISIS

La muestra objeto de estudio, se recolectó de los desechos producidos en la práctica “Cinética Enzimática: Inversión de la Sacarosa” realizada en los laboratorios de fisicoquímica II de la Universidad Tecnológica de Pereira; los cuales están compuestos además del Ácido 3,5-Dinitrosalicílico (DNS), de Ácido 3-Amino-5-Nitrosalicílico, Sacarosa, Glucosa y Fructosa oxidados, solución buffer de fosfato, tartrato de potasio y enzima invertaza.

#### 2. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN MADRE DE ÁCIDO 3,5-DINITROSALICÍLICO (DNS) 20 PPM

Se prepararon 2 L de solución de NaOH 2N diluyendo 40g de NaOH en agua destilada y aforando a 2 L en un matraz; posteriormente se pesaron 0,04 g de DNS anhidro y se solubilizaron en la disolución de NaOH.

Los procedimientos que siguen a continuación se realizaron con esta solución, citada muchas veces como “solución sintética”.

#### 3. DETERMINACIÓN DEL MÁXIMO DE ABSORCIÓN

Se tomaron 3 alícuotas de 50 mL de solución madre a 20 ppm; cada una se ajustó a los pH de estudio (pH 4, 6 y 8) y se les realizó un barrido espectral entre 240 y 600 nm. Los máximos de absorción encontrados fueron 336, 336 y 370 nm respectivamente.

#### 4. CURVAS DE CALIBRACIÓN

Se tomó una alícuota de 200 mL de solución madre a 20 ppm y se ajustó su pH a 4; a partir de ella se prepararon soluciones de 1; 5; 7,5; 10; 15; 20 y 25 ppm en matraces de 25 mL. Finalmente se midieron las absorbancias a 336 ppm para cada concentración y se construyó la curva de calibración. El mismo procedimiento se llevó a cabo para la solución a pH 8 cambiando a 370 nm la longitud de onda correspondiente a su máximo de absorción.

#### 5. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN

Se prepararon las combinaciones de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (300, 500 y 700 ppm),  $\text{TiO}_2$  (0,5; 0,7; 0,9 g/L) y pH (4, 6 y 8) para un total de

27 muestras y su respectiva réplica (54 en total). Para cada combinación se tomaron 100 mL de solución madre en un Beaker de 400 mL, se ajustó el  $H_2O_2$ , el  $TiO_2$ , y el pH según el caso; se realizó la homogenización de la suspensión durante 20 minutos en agitadores magnéticos y posteriormente se sometieron a radiación UV en el reactor tipo bach durante 4 horas. Se tomaron 3 medidas de absorbancia: la primera a la solución con pH y  $H_2O_2$  ajustado; la segunda después de homogenizar la suspensión con  $TiO_2$  y la última después de 4 horas de agitación en el reactor tipo bach.

Los resultados obtenidos se evaluaron mediante un análisis de multivarianza ANOVA para determinar la mejor combinación de los tres parámetros estudiados para degradar el Ácido 3,5-Dinitrosalicílico.

#### 6. DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DEL ÁCIDO 3,5-DINITROSALICÍLICO

Se tomaron 100 mL de solución madre; se ajustaron los parámetros óptimos encontrados anteriormente y se sometió a radiación UV en el reactor tipo bach. Inicialmente se tomaron muestras cada 2 minutos y luego se extendió el tiempo de muestreo según la disminución en la degradación.

La representación gráfica de los resultados, permite conocer el orden de la reacción para la degradación del DNS.

#### 7. DEGRADACIÓN DE LOS DESECHOS EN EL REACTOR HELIOFOTOCATALÍTICO CPC.

En el tanque de almacenamiento de muestra del reactor heliofotocatalítico (Figura 2) Se prepararon 16 L de solución a 20 ppm a partir de los desechos obtenidos en los laboratorios los cuales son ajustados a las condiciones anteriormente encontradas.



Figura 2. Reactor Heliofotocatalítico CPC

En un día soleado con un promedio de radiación solar de  $253,11 \text{ W/m}^2$  se instaló el reactor solar y se tomaron muestras cada 30 minutos hasta obtener una absorbancia estable o hasta una radiación baja (inferior a  $50 \text{ W/m}^2$ ). Aproximadamente durante 450 minutos.

## 8. PRUEBAS BIOLÓGICAS

### i. METODOLOGÍA

Se utilizó *Artemia salina* como modelo biológico.

### ii. INCUBACIÓN DE LA ARTEMIA SALINA

Se preparó una solución salina al 37 %  $P/v$  (3,7 g de sal marina/100 mL de agua destilada), se filtró y se tomó en un cristizador pequeño un volumen de solución equivalente a la mitad de su capacidad. Se agregaron unos cuantos huevos de *Artemia* y se incubó a  $28^\circ\text{C}$  durante 24 h.

### iii. MUESTRA DE ESTUDIO BIOLÓGICO

En el reactor tipo bach, se realizaron degradaciones simultáneas de solución madre de DNS y de los desechos; se tomaron muestras de 15 mL cada hora para el DNS (durante 4 horas) y cada 2 horas para los desechos (durante 8 horas), las cuales fueron filtradas para retirar todo el  $TiO_2$  presente. Para eliminar el  $H_2O_2$  residual se añadió gota a gota una solución de  $Na_2SO_3$  266 mM. Finalmente se neutraliza la disolución y se ajusta el volumen a 50 mL con agua destilada.

### iv. PRUEBA BIOLÓGICA

En una caja de Petri se tomaron 10 larvas de *Artemia salina*, 10 mL de solución contaminante sin  $H_2O_2$  previamente aclimatada a  $28^\circ\text{C}$  y se incubaron a  $28^\circ\text{C}$  durante 24 h. Como blancos se usó agua salina, solución madre de DNS a 20 ppm, Desechos a 20 ppm en DNS y  $Na_2SO_3$ . Pasadas 24 h, se determinó el número de individuos vivos.

## 9. MEDICIONES QUÍMICAS: DQO, DBO<sub>5</sub> Y COT

Se realizaron análisis de muestras Iniciales y Finales de la solución madre a 20 ppm y de los desechos. Estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira usando sus métodos estandarizados

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

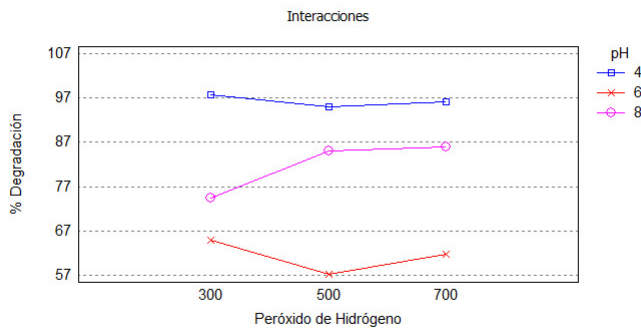
El Ácido 3,5-Dinitrosalicílico (DNS) en solución acuosa presenta un espectro de absorción diferente en función del pH; a pH 4 y 6 presenta un comportamiento similar con un máximo de absorción en 336 nm, pero a pH 8 se desplaza a 370 nm; para realizar la cuantificación, se prepararon dos curvas de calibración obedeciendo a este hecho. La curva a pH 4 utilizada igualmente para pH 6, presenta una regresión lineal que obedece a la ecuación  $A = 0,0362C + 0,0313$  (coeficiente de correlación de 0,993); la curva a pH 8 se comporta linealmente siguiendo la ecuación  $A = 0,0397C + 0,0291$  (coeficiente de correlación de 0,993).

Teniendo las curvas de calibración, se calculó la concentración y el % de Degradación de los 27 ensayos y replicas de las combinaciones posibles de pH, concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub>. Posteriormente se realizó el Análisis de Multivarianza ANOVA para determinar las mejores condiciones de operación teniendo como variable dependiente el % de Degradación:

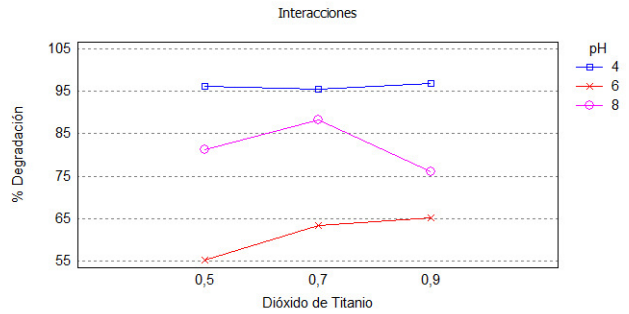
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>				
A:Peróxido de Hidrógeno	29,0659	2	14,533	0,4633
B:Dióxido de Titanio	107,432	2	53,716	0,0988
C:pH	5523,17	2	2761,59	<b>0,0000</b>
<b>INTERACCIONES</b>				
AB	120,138	4	30,0344	0,2313
AC	318,821	4	79,7052	<b>0,0310</b>
BC	288,385	4	72,0964	<b>0,0400</b>
<b>RESIDUOS</b>				
TOTAL (CORREGIDO)	6524,08	26		

**Tabla No. 1** Análisis de Varianza para % Degradación - Suma de Cuadrados Tipo III

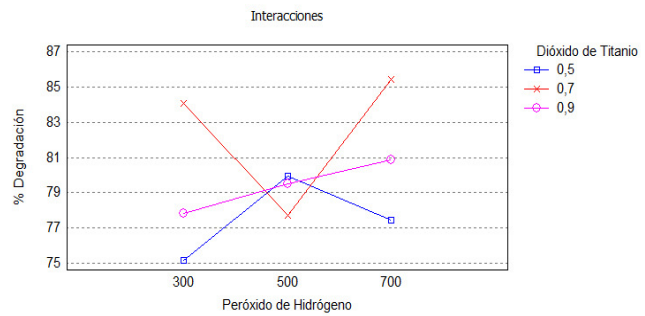
Como puede observarse en la Tabla No. 1 el pH es el factor que presenta una influencia estadísticamente significativa sobre el % de degradación, al igual que la interacción entre pH-Dióxido de Titanio y pH-Peróxido de Hidrógeno; debido a que estos presentan un valor-P inferior a 0,05. A continuación en las figuras No. 3, 4 y 5 se presentan la interacción entre los tres parámetros.



**Figura No. 3** Interacción pH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



**Figura No. 4** Interacción pH-TiO<sub>2</sub>

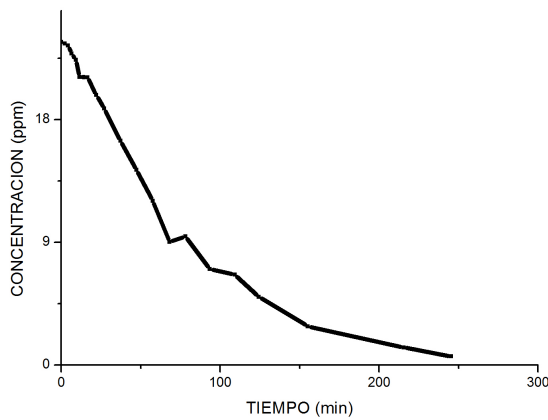


**Figura No. 5** Interacción H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>

Puede observarse en los gráficos anteriores y corroborando la información de la Tabla No. 1, que a pH 4 siempre se obtienen las mejores degradaciones sin una mayor influencia de los demás factores; sin embargo, la interacción entre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> presenta puntos máximos a 0,7 g/L de TiO<sub>2</sub> con 300 y 700 ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y teniendo en cuenta que la diferencia en % de degradación entre éstos no es significativa, se escogió como condición óptima 300 ppm debido a una disminución en los costos y una menor cantidad del mismo en el producto final. En conclusión, las mejores condiciones son 4-0,7-300 (pH-TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), a las cuales se alcanza una degradación aproximada de 96,7% en 4 horas de radiación en el reactor tipo bach.

Con estas condiciones se realizó el estudio de la velocidad de degradación del DNS. En la Figura No. 6 se observa la disminución de la concentración en función del tiempo de permanencia en el reactor tipo bach. Para determinar el orden de la reacción se realizó el método gráfico, el cual consiste en comparar los coeficientes de correlación (r<sup>2</sup>) de las regresiones lineales de las gráficas [DNS] vs t; ln[DNS] vs t y [DNS]<sup>-1</sup> vs t<sup>(1)</sup> (Tabla No. 2).

<sup>(1)</sup> [DNS] se refiere a concentración de Ácido 3,5-Dinitrosalicílico.



**Figura No. 6** Comportamiento de la concentración del DNS en función del tiempo de reacción en el reactor tipo bach.

Gráfica	[DNS] vs t	ln[DNS] vs t	[DNS] <sup>-1</sup> vs t
r <sup>2</sup>	0,866	0,992	0,711
	Orden cero	1 <sup>er</sup> orden	2 <sup>do</sup> orden

**Tabla No. 2** Resumen de los coeficientes de correlación según el tipo de gráfica.

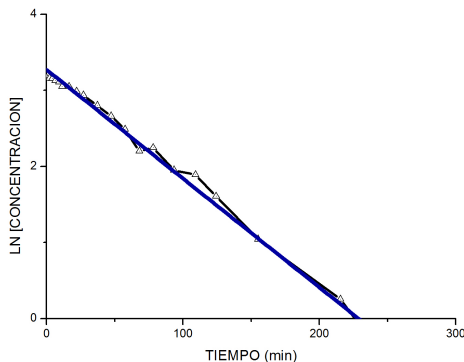
De la Tabla No. 2 se deduce que la degradación del DNS es de primer orden (Figura No. 7) lo que significa que existe una dependencia exclusiva de la velocidad de degradación con la concentración del contaminante; sin embargo, debe tenerse en cuenta que el estudio realizado considera en solución únicamente al DNS, lo que lo convierte en una cinética de pseudoprimer orden.

La gráfica de la figura No. 7 obedece a la ecuación:

$$\ln[\text{DNS}] = -0,0143t + 3,272 \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$r^2 = 0,992$$

$$C_f = C_i e^{kt} \quad \text{Ecuación (2)}$$



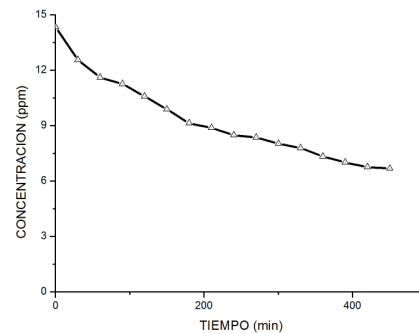
**Figura No. 7** Linealización del comportamiento del DNS respecto al tiempo de reacción en el reactor tipo bach.

La pendiente de la ecuación (1) corresponde a la constante de velocidad para la degradación del DNS; la ecuación (2) es el modelo matemático para cinética de primer orden

donde:  $C_f$  : Concentración final;  $C_i$ : Concentración inicial;  $K$ : Constante de velocidad;  $t$ : tiempo; determinada la constante de velocidad en la ecuación (1), se obtiene la ecuación de la cinética (Ecuación 3) lo que permite conocer el tiempo requerido para alcanzar un determinado porcentaje de degradación.

$$C_f = C_i e^{-0,0143t} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Teniendo en cuenta que el valor principal de la fotocatalisis heterogénea está en la utilización de la radiación solar como fuente primaria de fotones, se extrapolaron las condiciones encontradas para el DNS individual a los desechos recogidos en el laboratorio para degradarlos en el reactor heliofotocatalítico (Figura No. 2); allí se alcanzó una degradación del 53,37 % en 450 minutos bajo una radiación solar promedio de 253,11 W/m<sup>2</sup> de la cual sólo el 3% corresponde a la región UV, es decir, una radiación efectiva de 7,6 W/m<sup>2</sup>. En la Figura No. 8 se muestra el seguimiento de la concentración del DNS presente en los desechos respecto al tiempo, y utilizando el mismo tratamiento matemático para determinar el orden del DNS como único compuesto en solución, se encontró que en presencia de los demás compuestos en solución, también presenta una cinética de primer orden.



**Figura No. 8** Comportamiento de la concentración del DNS presente en los desechos sometido a radiación solar

Posteriormente, se realizaron análisis químicos de DQO, DBO<sub>5</sub> y COT a 4 muestras: 1) Solución madre de DNS a 20 ppm, renombrado como Sintética inicial; 2) Solución anterior después de la degradación, Sintética final; 3) Desechos producidos en los laboratorios diluidos hasta 20 ppm, Desecho inicial; 4) Desechos anteriores tratados en el reactor solar, Desecho final. En la Tabla No. 3 se resume los resultados obtenidos y en la Tabla No. 4 se tabulan algunos análisis desplegados de la Tabla No. 3

Nombre	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	Factor Biodegradación	COT (mg)
Sintética inicial (1)	44,31	17,2	0,39	11,55
Sintética final (2)	191,04	56,4	0,29	8,37
Desechos inicial (3)	472,65	200,7	0,42	84,63
Desechos final (4)	240,28	137,1	0,57	63,46



**Tabla No. 3** Resultados de las pruebas químicas para las cuatro muestras analizadas.

	Remoción		Mineralización
	DQO	DBO <sub>5</sub>	
Sintética	No aplica	No Aplica	27,53
Desecho	49,16	31,69	25,01

**Tabla No. 4** Porcentajes de remoción según la DQO y DBO<sub>5</sub> y porcentaje de mineralización según el COT.

	Medio	Caja de Petri				
		1	2	3	4	5
Controles	Agua marina	10	8	10	9	9
	Sintético 20 ppm	0	0	0	0	2
	Desecho 20ppm	8	7	6	4	6
	Bisulfito 10,6 mM	2	0	0	1	1
Ensayos	Sintético 1h	3	3	5	5	4
	Sintético 2h	0	0	1	2	1
	Sintético 3h	1	3	3	0	5
	Sintético 4h	0	0	0	1	0
	Desecho 2h	5	6	7	5	4
	Desecho 4h	7	10	7	8	10
	Desecho 6h	6	7	10	6	6
	Desecho 8h	4	7	8	9	9

**Tabla No. 5** Resumen de la prueba biológica, conteo de individuos vivos después de 24 horas.

Los resultados de la Tabla No. 3 y No. 4 deja en evidencia condiciones importantes sobre el comportamiento del DNS tanto en los desechos como independiente: Los estudios realizados al DNS sintético indicó un porcentaje de degradación del 96,7% a las condiciones óptimas encontradas, sin embargo la mineralización fue únicamente del 27,53%; esto significa, que la diferencia entre ambos porcentajes (69,17%) corresponde a la aparición de intermediarios de menor peso molecular, pero biorecalcitrantes ya que la demanda química y biológica de oxígeno aumentaron considerablemente respecto a la solución inicial, es decir, la nueva estructura es de mayor estabilidad y requiere condiciones más agresivas para ser modificado. Por otro lado el conteo de *Artemia salina* (Tabla No. 5) muestra un compuesto sintético de partida altamente nocivo, que pierde toxicidad en los intermediarios de la primera y tercera hora, pero en la cuarta hora recupera su condición tóxica para la biota marina sin lugar a duda por los compuestos que inciden en el aumento de la demanda química y biológica de oxígeno.

Cuando se realizó la degradación de los desechos bajo las mismas condiciones del sintético y empleando radiación solar, se encontró un porcentaje de degradación del DNS

del 53,37% en un poco más de 7 horas. Este porcentaje se considera bueno debido a que es de esperar que el rendimiento disminuya obedeciendo al hecho que en los desechos recogidos en el laboratorio se encuentran 7 compuesto más que son igualmente modificados en su estructura por efecto de la fotocatalisis heterogénea la cual no es selectiva. En este caso no es correcto comparar el porcentaje de degradación del DNS con el porcentaje de mineralización ya que el primero se obtuvo con base sólo al DNS y el segundo tiene en cuenta toda la materia organica presente en el desecho. Empero, los análisis de DQO y DBO<sub>5</sub> deja a la luz una interacción entre algún(os) compuestos del desecho, que guían la degradación del DNS por una ruta diferente evitando la generación de los compuestos biorecalcitrantes formados en la degradación del DNS individual, esto se evidencia en una remoción con base a la DQO y DBO<sub>5</sub> de 49,16 y 31,69% respectivamente; la actividad biológica (Tabla No. 5) indica que en todo instante de la degradación permanece aproximadamente más del 50% de individuos vivos aún al final del proceso.

#### IV. CONCLUSIONES

Las sustancias que componen los desechos producidos en los laboratorios, tienen una incidencia positiva sobre la degradación de los mismos, ya que la interacción entre ellos evita que la degradación del DNS tome la ruta en la cual se producen compuestos biorecalcitrantes y nocivos para la biota marina, por lo tanto las condiciones encontradas: pH 4, 300 ppm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y 0,7 g/L de TiO<sub>2</sub> puede ser utilizada para el tratamiento de los desechos de la práctica del laboratorio de fisicoquímica II en una futura planta de tratamiento de residuos peligrosos en la Escuela de Química de la Universidad Tecnológica de Pereira.

#### RECOMENDACIONES

Para obtener mejores degradaciones en el reactor heliofotocatalítico CPC, realizar el procedimiento en días con mejor radiación solar.

#### REFERENCIAS

- [1] PRATO, Dorian. Tratamiento de aguas residuales fenólicas sintética mediante procesos avanzados de oxidación. Tesis Maestro en Ciencias en Ingeniería. México D.F. Universidad Iberoamericana. 2007. p-15-19.
- [2] VIDAL, A. et al. Oxidación solar fotocatalítica: Aplicación al tratamiento de afluentes cianurados. En: Ingeniería Química. Madrid. No 375 (ene. 2001); p.161-165.
- [3] COZ, A. y VILLASEÑOR, J. Tratamiento de efluentes fenólicos de la industria de la celulosa: procesos de oxidación avanzada. En: Ingeniería Química. Madrid. No 358 (ene. 2003); p. 104-114.
- [4] OTURAN, M. A et al. Complete Destruction of *p*-Nitrophenol in Aqueous Medium by Electro-Fenton

Method. En: Environmental Science & Technology. 34 (16) (2000); p. 3474-3479

- [5] J. Blanco, *Purificación del Agua por Fotocatálisis Heterogénea: Aplicaciones Potenciales*, Editorial CIEMAT, 2004. Capítulo 3.
- [6] A. M. Peiró, *Eliminación fotocatalítica de contaminantes fenólicos*, Tesis doctoral, Departamento de Química, Universidad Autónoma de Barcelona, 2003.
- [7] Alba, J. E., Durán, M. A., Valencia, H. A., Primera Edición. Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, 2008. 314 p.
- [8] STATPOINT TECHNOLOGIES. [Statgraphics Centurion XV Software]. 85 MB. Disponible en internet: [www.statgraphics.com](http://www.statgraphics.com).