

## OPTIMIZACIÓN DE LA REMOCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES MEDIANTE EL PROCESO FOTO-FENTON

César Gutiérrez<sup>a</sup>, Alex Pilco<sup>b</sup>

### RESUMEN

La metodología de superficie de respuesta se aplicó para evaluar la condición óptima experimental a fin de remover los compuestos orgánicos persistentes de un agua residual textil sintética usando un reactor fotoquímico en lote a escala laboratorio. Cuatro factores a tres niveles fueron estudiados: relación de reactivos Fenton  $H_2O_2/Fe^{2+}$  (11,25, 18,75, 26,25 mg/L/mg/L), potencia de lámpara UV (4, 11, 18 W), pH (2, 3, 4) y tiempo de tratamiento (60, 120, 180 min). Los niveles óptimos encontrados para los cuatro factores fueron: relación de reactivos Fenton  $H_2O_2/Fe^{2+}$  igual a 17 mg/L/mg/L, potencia de lámpara UV igual a 4 W, pH igual a 3 y tiempo de tratamiento de 180 min. Se encontró que el proceso foto-Fenton es muy efectivo para tratar el agua residual textil sintética, encontrándose una remoción de un 86 %, respecto al DQO.

**Palabras clave:** Foto-Fenton, agua residual textil, diseño de experimentos, demanda química de oxígeno.

## OPTIMIZATION OF THE REMOVAL OF PERSISTENT ORGANIC COMPOUNDS THROUGH THE PHOTO-FENTON PROCESS

### ABSTRACT

The response surface methodology was applied to evaluate the optimal experimental conditions to remove persistent organic compounds from a synthetic textile wastewater using a batch photochemical reactor on a laboratory scale. Four factors at three levels were studied: Fenton  $H_2O_2/Fe^{2+}$  reagent ratio (11,25, 18,75, 26,25 mg/L/mg/L), UV lamp power (4, 11, 18 W), pH (2, 3, 4) and treatment time (60, 120, 180 min). The optimum levels found for the four factors were: ratio of Fenton  $H_2O_2/Fe^{2+}$  reagents equal to 17 mg/L/mg/L, UV lamp power equal to 4 W, pH equal to 3 and treatment time of 180 min. It was found that the photo-Fenton process is very effective in treating synthetic textile wastewater, with a removal of 86 %, with respect to COD.

**Key words:** Photo-Fenton, textile wastewater, experiment design, chemical oxygen demand.

---

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Callao, Av. Juan Pablo II 306, Callao 2, Perú, cgutierrezc@unac.edu.pe

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería Química y Textil, Universidad Nacional de Ingeniería.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación es un problema sustancial que pone en peligro la salud de millones de personas, degrada los ecosistemas de la Tierra, socava la seguridad económica de los países y es responsable de una enorme carga mundial de enfermedades, discapacidades y muertes prematuras. Las enfermedades causadas por la contaminación fueron responsables de aproximadamente 9 millones de muertes prematuras en el 2015<sup>1</sup>.

Los colorantes textiles sintéticos son sustancias orgánicas, utilizadas para teñir textiles, que se adhieren mediante enlaces químicos entre las moléculas de tinte y la de fibra<sup>2</sup>. Según la naturaleza química y aplicación a las fibras, los colorantes pueden ser clasificados en aniónicos (ácidos, directos y reactivos), catiónicos (alcalinos) y no iónicos (dispersos)<sup>3</sup>.

La industria textil y de teñido se encuentra entre las industrias que más agua consumen. Las aguas residuales de la industria textil contienen colorantes y pueden ser la fuente de la contaminación de las aguas receptoras. Durante el proceso de teñido en el mundo, alrededor del 10-15 % del colorante no fijado se pierde, descargándose al medio ambiente como parte del efluente. Los efluentes que contienen colorantes pueden ser tóxicos para la vida acuática. Para minimizar el riesgo de toxicidad con estos efluentes, es necesario tratarlos antes de su descarga al medio ambiente<sup>3</sup>.

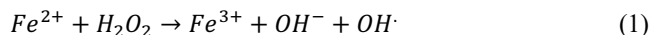
Las aguas residuales textiles poseen alta demanda química de oxígeno (DQO), alta concentración de sólidos suspendidos, fluctuaciones de pH, color intenso y baja biodegradabilidad<sup>4</sup>.

El estudio tiene como objetivo la aplicación de la metodología de superficie de respuesta para evaluar la condición óptima experimental a fin de remover los compuestos orgánicos persistentes de un agua residual textil sintética usando un reactor fotoquímico en lote a escala laboratorio.

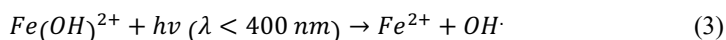
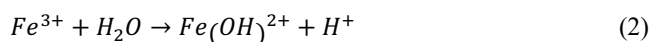
## FUNDAMENTO TEÓRICO

### Proceso foto-Fenton

El proceso Fenton ocurre cuando los iones  $Fe^{2+}$  reaccionan con el peróxido de hidrógeno, según<sup>5</sup>:



El proceso foto-Fenton, que es una extensión del proceso Fenton, ocurre en presencia de radiación ultravioleta (UV). Esto permite la regeneración de  $Fe^{2+}$  mediante la fotólisis de los complejos de  $Fe^{3+}$ , de acuerdo con las reacciones (2) y (3)<sup>6,7</sup>:



En ambos casos, los radicales  $OH$  formados reaccionan con la materia orgánica  $RH$  mediante las reacciones (4) y (5):



La radiación UV promueve reacciones fotoquímicas con una especie intermedia activa a la luz que es el  $Fe(OH)^{2+}$ . La reacción (3) produce radicales  $OH$  y regenera el  $Fe^{2+}$  en un ciclo catalítico cerrado de generación de  $OH$  en conjunto con la reacción (1).

Los factores importantes que influyen la eficiencia del proceso foto-Fenton son: la concentración inicial de materia orgánica, el tiempo de reacción, la relación de peróxido de hidrógeno a ion ferroso ( $H_2O_2/Fe^{2+}$ ), el pH de la reacción y la potencia de lámpara UV.

En el proceso Fenton, el pH de la solución es un parámetro maestro, debido a la especiación del peróxido de hidrógeno y hierro<sup>8</sup>. El rango de pH óptimo en el proceso Fenton es de 2 a 4, para ello, se debe ajustar el pH del agua residual con contaminantes orgánicos<sup>9</sup>.

Un aumento de la relación  $H_2O_2/Fe^{2+}$  en mg/L/mg/L, es beneficioso en la remoción del contaminante orgánico, sin embargo, un excesivo aumento puede tener efectos negativos, dado que el  $OH$  es consumido por el exceso de peróxido, incrementando el costo de tratamiento. Por lo tanto, se requiere establecer una relación óptima de  $H_2O_2/Fe^{2+}$  para mineralizar los compuestos orgánicos a un costo efectivo<sup>10</sup>.

### **Diseño de experimentos y metodología de superficie de respuesta**

El diseño de experimentos permite estudiar los efectos de los factores (variables de entrada) sobre la respuesta (variable de salida) en un proceso, además, ayuda a planificar y conducir experimentos con el objetivo de extraer la mayor cantidad de información a partir de los datos recolectados<sup>11</sup>. La metodología de superficie de respuesta es una técnica matemática y estadística que evalúa la significancia relativa de varios factores, la presencia de interacciones y efectos cuadráticos en la respuesta a través de un modelo de segundo orden para entender con más detalle la influencia de los factores en la respuesta, obteniendo una región de operabilidad, y finalmente poder optimizar el proceso<sup>12</sup>.

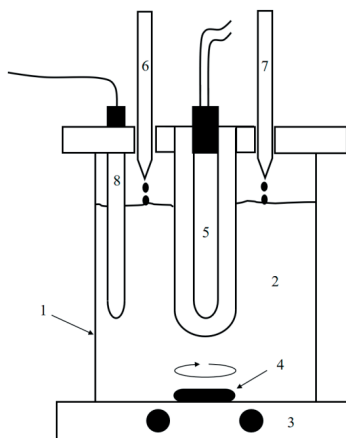
## **PARTE EXPERIMENTAL**

### **Reactivos**

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$  (99%, Riedel de Haen), ácido sulfúrico (97 %, Baker), hidróxido de sodio (98 %, Fermont), peróxido de hidrógeno (30 % w/v, Baker), sal textil (99 % base seca). Colorantes sintéticos: Sunzol Turquoise Blue G 266 %, Sunfix Rubi S3B, Sunfix Yellow SS. Sustancias auxiliares: Soquitquest CMF, Dispersoquit, Cromagen, Suavizante.

## Equipos

Espectrofotómetro (Varian, Cary 50), reactor de digestión (Hach, DRB200), tres recipientes de 1,5 L de capacidad (recubierto con aluminio), tres lámparas UV marca Philips y longitud de onda 254 nm (color de emisión azul y códigos de modelo TUV 4W T5 G5 potencia 4 W, TUV 11W G11 T5 potencia 11 W y TUV P-L 18W 4P 2G11 UV-C potencia 18 W), agitador magnético (operado a 600 rpm). Para realizar las pruebas experimentales se emplearon tres reactores fotoquímicos. La figura 1 muestra el esquema de un reactor fotoquímico.



**Figura 1.** Diagrama esquemático del reactor fotoquímico. 1: recipiente; 2: agua residual textil sintética; 3: agitador magnético; 4: barra magnética; 5: lámpara UV; 6: dosificador de sulfato de hierro; 7: dosificador de peróxido de hidrógeno; 8: electrodo de pH.

## Caracterización del agua residual textil sintética

A partir de formulaciones reales empleadas en la industria textil, se preparó un agua residual textil sintética para realizar las pruebas experimentales, según la tabla 1.

**Tabla 1.** Composición del agua residual textil sintética.

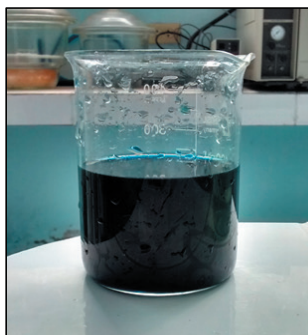
Componente	Cantidad
Sunzol Turquoise Blue G 266 %	1,75 g/L
Sunfix Rubi S3B	0,50 g/L
Sunfix Yellow SS	0,25 g/L
Soquitquest CMF	1 g/L
Dispersoquit	1 g/L
Cromagen	1 g/L
Suavizante	3 mL/L
Sal textil	4 g/L

En la figura 2 se muestra el aspecto físico de los componentes empleados para la preparación del agua residual textil sintética.



**Figura 2.** Aspecto físico de los componentes del agua residual textil sintética.

En la figura 3 se muestra el color del agua residual textil sintética preparada para ser utilizada en las pruebas experimentales.



**Figura 3.** Color del agua residual textil sintética.

Se determinó los parámetros del agua residual textil sintética preparada: DQO (Demanda Química de Oxígeno, Method 410.4, Revision 2, EPA), DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno, SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017), pH, color (SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed. 2017), SST (Sólidos Suspendidos Totales, SMEWW-APHA-AWWA-WEF PART 2540 D, 23rd Ed. 2017) y conductividad (tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros del agua residual textil sintética preparada.

Parámetro	Unidad	Valor
DQO	mg/L	1458,5
DBO <sub>5</sub>	mg/L	77
pH	-	11,46
Color	UC	6500
SST	mg/L	92,1
Conductividad	mS/cm	11,3

Para este estudio se utilizó, como método de diseño de experimentos, el cribado definitivo de Jones y Nachtsheim<sup>13</sup>. En la tabla 3 se indican los factores y niveles para el proceso de tratamiento del agua residual textil sintética por el proceso foto-Fenton.

**Tabla 3.** Factores y niveles para el proceso foto-Fenton.

Factor	Nivel		
	Bajo -1	Medio 0	Alto +1
Relación de reactivos Fenton $H_2O_2/Fe^{2+}$ , mg/L/mg/L	11,25	18,75	26,25
Potencia de lámpara UV, W	4	11	18
pH	2	3	4
Tiempo de tratamiento, min	60	120	180

Nota:  $[Fe^{2+}]_0 = 400$  mg/L. El pH inicial se ajustó empleando soluciones de ácido sulfúrico 1M y NaOH 1M.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cada prueba experimental se realizó con tres réplicas para la respuesta, correspondiente al parámetro DQO del agua residual textil sintética tratada con el proceso foto-Fenton, tal como se puede ver en la tabla 4.

**Tabla 4.** Respuestas DQO del agua residual textil sintética tratada.

Prueba (i)	Niveles de Factor				Respuesta		
	$X_{i,1}$ Relación reactivos Fenton $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$ (mg/L/mg/L)	$X_{i,2}$ Potencia de lámpara UV (W)	$X_{i,3}$ pH	$X_{i,4}$ Tiempo de tratamiento (min)	DQO (mg $O_2$ /L) Replica 1	DQO (mg $O_2$ /L) Replica 2	DQO (mg $O_2$ /L) Replica 3
1	0(18,75)	+1(18)	-1(2)	-1(60)	661,6	683,6	687,6
2	0(18,75)	-1(4)	+1(4)	+1(180)	193,6	198,6	210,6
3	-1(11,25)	0(11)	-1(2)	+1(180)	327,6	332,6	335,6
4	+1(26,25)	0(11)	+1(4)	-1(60)	345,6	340,6	352,6
5	-1(11,25)	-1(4)	0(3)	-1(60)	845,6	860,6	852,6
6	+1(26,25)	+1(18)	0(3)	+1(180)	169,6	156,6	161,6
7	-1(11,25)	+1(18)	+1(4)	0(120)	915,6	895,6	902,6
8	+1(26,25)	-1(4)	-1(2)	0(120)	297,6	320,6	304,6
9	0(18,75)	0(11)	0(3)	0(120)	635,6	631,6	642,6

Nota: Diseño experimental para 4 factores continuos ( $m = 4$ ) a tres niveles con factores en sus valores codificados y en su forma normal.  $[Fe^{2+}]_0 = 400$  mg/L.

Se realizó el análisis estadístico a los datos de la tabla 4, empleando el software estadístico JMP v11. El modelo de segundo orden propuesto es adecuado para describir la relación entre los factores y la respuesta, dado que se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,99962$

y el coeficiente de determinación ajustado  $R_{adj}^2 = 0,99930$ , con un nivel de confianza del 95 %, por lo tanto, el modelo puede explicar el 99,9 % de las respuestas.

El análisis de varianza al modelo cuadrático que se muestra en la tabla 5, indica que es adecuado para evaluar la capacidad explicativa del grupo de variables independientes (factores) sobre la variable dependiente (respuesta), dado que el valor F de datos experimentales (3112,3) es mayor al valor F de tabla (2,534) y el modelo es significativo porque el valor  $p < 0,0001$ , para un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

**Tabla 5.** Análisis de varianza.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Valor p
Modelo	12	1 890 535,6	157 544,63	3112,3	<0,0001
Error	14	708,7	50,62		
C. Total	26	1 891 244,3			

Fuente. JMP v11

**Tabla 6.** Coeficientes del modelo de ajuste del proceso foto-Fenton.

Variable regresora	Valor del coeficiente	Valor p
Constante del modelo	635,8037	<0,0001
Relación de reactivos Fenton, $x_1$	-212,1667	<0,0001
Potencia de lámpara UV, $x_2$	65	<0,0001
pH, $x_3$	23,833333	<0,0001
Tiempo de tratamiento, $x_4$	-196,0833	<0,0001
Bloque	-2,388889	0,1223
(Potencia de lámpara UV)*(pH), $x_2x_3$	-30,5	<0,0001
(Relación de reactivos Fenton)*(Tiempo de tratamiento), $x_1x_4$	89,22222	<0,0001
(pH)*(Tiempo de tratamiento), $x_3x_4$	-9,777778	0,0321
(Tiempo de tratamiento)*(Tiempo de tratamiento), $x_4^2$	-218,0556	<0,0001
(Potencia de lámpara UV)*(Bloque)	3,3333333	0,0820
(pH)*(Bloque)	4,1666667	0,0345
(Tiempo de tratamiento)*(Bloque)	2,4166667	0,1957

Fuente. JMP v11.

De acuerdo con la tabla 6, los valores de  $p < 0,0001$  indican que el valor de la constante y los valores de los coeficientes de las variables regresoras son significativos para ser utilizados en el modelo de ajuste, por lo que el modelo de predicción para DQO es:

$$DQO = 635,80 - 212,17x_1 + 65,00x_2 + 23,83x_3 - 196,08x_4 - 30,50x_2x_3 + 89,22x_1x_4 - 218,06x_4^2$$

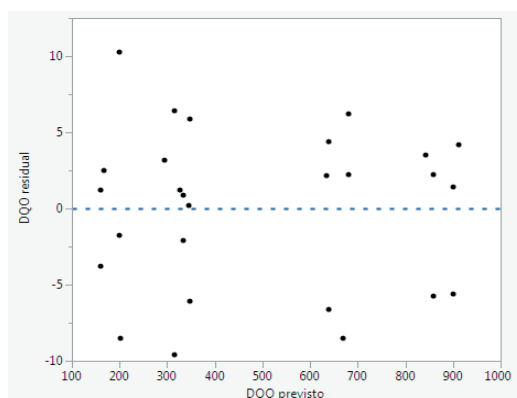
Para la determinación del porcentaje de contribución en la explicación de la respuesta de cada variable regresora<sup>14</sup>, se emplearon los datos de suma de cuadrados, según la tabla 7. Los resultados indican que el 87,79 % de la variabilidad encontrada es producida por la relación de reactivos Fenton y el tiempo de tratamiento, por lo tanto, estas son las variables regresoras importantes.

**Tabla 7.** Porcentaje de importancia de la variable regresora para el proceso foto-Fenton.

Variable regresora	Suma de cuadrados	Porcentaje de importancia = (Suma de cuadrados*100)/(Total)
Relación de reactivos Fenton	810 264,50	49,9
Potencia de lámpara UV	67 600,00	4,16
pH	9 088,44	0,56
Tiempo de tratamiento	615 178,78	37,89
(Potencia de lámpara UV)*(pH)	1 860,50	0,11
(Relación de reactivos Fenton)*(Tiempo de tratamiento)	47 763,63	2,94
(pH)*(Tiempo de tratamiento)	286,81	0,02
(Tiempo de tratamiento)*(Tiempo de tratamiento)	71 322,34	4,39
(pH)*(Bloque)	277,78	0,02
<b>Total</b>	<b>1 623 642,69</b>	

Nota: Suma de cuadrados del software JMP v11.

Según la figura 4, los valores de las DQO residuales presentan una distribución aleatoria normal sin presencia de valores atípicos, por lo tanto, no afecta la capacidad predictora del modelo.



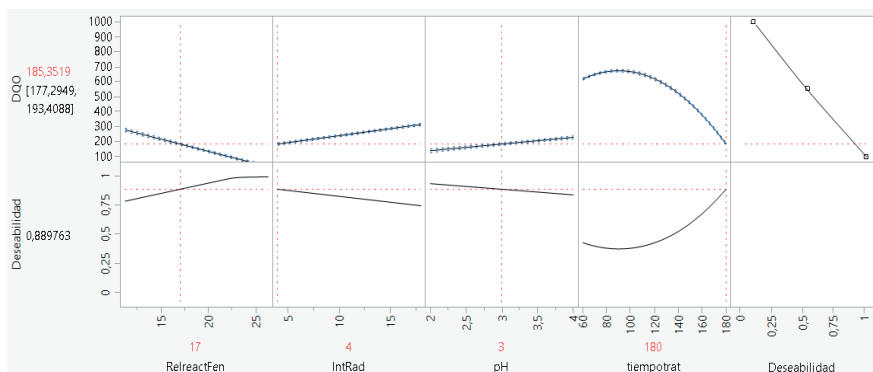
**Figura 4.** Gráfica de valores de las DQO residuales frente a los valores de las DQO previstos del proceso foto-Fenton. Fuente. JMP v11.

En el Perú, el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA<sup>15</sup> establece como valor máximo admisible para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado, una demanda química de oxígeno (DQO) de 1000 mg/L. Este valor es muy alto comparado con los límites de descarga de otros países: 200 mg/L, China; 250 mg/L, India; 200-300 mg/L, Filipinas; 250 mg/L, Indonesia; 200 mg/L, Bangladesh<sup>16</sup>. Por ello se consideró como



tratamiento óptimo, aquel que produjo una reducción de la DQO a concentraciones inferiores de  $\leq 200$  mg  $O_2/L$ .

La figura 5 indica el valor óptimo de cada variable para obtener una DQO por debajo de 200 (DQO = 185,4 mg  $O_2/L$ ). La deseabilidad de 0,89 obtenida, indica que la combinación de las cuatro variables es efectiva para obtener el valor de la DQO establecido.



**Figura 5.** Gráficas de la DQO respecto a cada una de las variables. Fuente. JMP v11.

De la figura 5 se tomaron los valores óptimos de las variables del proceso de tratamiento, y estos se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8.** Valores óptimos de las variables del proceso de tratamiento.

Variable	Valor óptimo
Relación de reactivos Fenton $H_2O_2/Fe^{2+}$ , mg/L/mg/L	17
Potencia de lámpara UV, W	4
pH	3
Tiempo de tratamiento, min	180

Se realizó dos pruebas experimentales de validación de tratamiento en la condición óptima. Finalizadas las pruebas, se llevó el agua residual textil sintética tratado a un pH igual a 7, para que el floc de color verdoso formado, principalmente de  $Fe(OH)_2$  y  $Fe(OH)_3$ , pueda decantar durante 180 min. En la tabla 9 se indica la DQO del agua residual textil sintética antes y después del tratamiento. Los resultados obtenidos de la DQO después del tratamiento fueron próximos a 200 mg  $O_2/L$ , lo que confirma la validez del modelo predictivo y la condición óptima de tratamiento.

**Tabla 9.** Valores óptimos de las variables del proceso de tratamiento.

Prueba experimental	Contenido DQO (mg $O_2/L$ )	
	Antes del tratamiento	Después del tratamiento
1	1458,5	207,3
2	1445,6	196,3

## CONCLUSIONES

El efecto de las condiciones de operación (relación de reactivos Fenton  $H_2O_2/Fe^{2+}$ , potencia de lámpara UV, pH y tiempo de tratamiento) en el proceso tratamiento fue estudiado mediante el diseño experimental de cribado definitivo y la metodología de superficie de respuesta. Como resultado, una relación de reactivos Fenton  $H_2O_2/Fe^{2+}$  igual a 17 mg/mg, una potencia de lámpara UV igual a 4 W, un pH igual a 3 y un tiempo de tratamiento de 180 min, se recomienda como una condición de operación óptima.

Del análisis estadístico, se concluyó que los factores más importantes para explicar la respuesta son la relación de reactivos Fenton  $H_2O_2/Fe^{2+}$  y el tiempo de tratamiento. El pH resultó el menos importante de los cuatro factores, debido a que los valores de los niveles correspondieron al rango de pH óptimo.

Se encontró que el proceso foto-Fenton es muy efectivo para tratar el agua residual textil sintético, encontrándose una remoción de un 86 %, respecto al DQO.

## AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, por el apoyo brindado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, Adeji O, Arnold R, Basu NN, et al. The Lancet Commission on pollution and health [published correction appears in Lancet. 2018 Feb 3;391(10119):430]. Lancet. 2018;391(10119):462-512. doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0
2. Hauser P. Textile dyeing. Rijeka: InTech; 2011. Chapter 1, Effect of radiation on textile dyeing, p. 1-18. doi:10.5772/19879
3. Dehghani M, Ahmadi B, Zonnoon Y, Nourozi E, Shamsedini N. Decolorization of direct red 81 in aqueous solutions by Fenton oxidation process: effect of system parameters. Iran J Health Saf Environ. 2018; 6(3): 1297-1302.
4. Radha KV, Sridevi V, Kalaivani K. Electrochemical oxidation for the treatment of textile industry wastewater. Bioresour technol. 2009; 100(2): 987-990.
5. Audino F, Campaña G, Pérez-Moya M, Espuña A, Graells M. Systematic optimization approach for the efficient management of the photo-Fenton treatment process. Sci Total Environ. 2019; 646: 902-913. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.057
6. Kiwi J, Pulgarin C, Peringer P, Grätzel M. Beneficial effect of homogeneous photo-Fenton pretreatment upon the biodegradation of anthraquinone sulfonate in waste water treatment. Appl Catal B: Environ. 1993; 3(1): 85-99.
7. Bandara J, Morrison C, Kiwi J, Pulgarin C, Peringer P. Degradation/decoloration of concentrated solutions of Orange II. Kinetics and quantum yield for sunlight induced reactions via Fenton type reagents. J Photoch Photobio A. 1996; 99(1): 57-66.
8. Babuponnusami A, Muthukumar K. A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. J Environ Chem Eng. 2014; 2(1): 557-572.
9. Zhang M, Dong H, Zhao L, Wang D, Meng D. A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective. Sci Total Environ. 2019; 670: 110-121.
10. Ghanbarzadeh Lak M, Sabour M R, Ghafari E, Amiri A. Energy consumption and relative efficiency improvement of Photo-Fenton- Optimization by RSM for landfill leachate treatment, a case study. Waste Manag. 2018; 79: 58-70.
11. Mason R, Gunst R, Hess J. Statistical design and analysis of experiments: with applications to engineering and science. Second edition. Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience; 2003.
12. Myers R, Montgomery D, Anderson-Cook C. Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. First edition. Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience; 2003.
13. Jones B, Nachtsheim J. A class of three-level designs for Definitive Screening in the presence of second-order effects. J Qual Technol. 2011; 43(1): 1-15.
14. Shokrollahi A, Sharifnia S. Optimization of aqueous NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NH<sub>3</sub> photodegradation by ZnO/Zeolite  $\gamma$  composites using Response Surface Modeling. Int J Chem React Eng. 2018; 17(1): 1-15.

15. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Lima: Diario El Peruano, 11 de marzo de 2019.
16. Ghaly AE, Ananthashankar R, Alhattab M, Ramakrishnan VV. Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *J Chem Eng Process Technol.* 2014; 5:1. doi: 10.4172/2157-7048.1000182