



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE  $TiO_2$  Y TIEMPO DE RESIDENCIA, EN EL PROCESO DE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA COMO SISTEMA REMOCIÓN DE  $Fe^{2+}$  EN AGUAS ÁCIDAS DE MINA, CAJAMARCA 2018”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería Ambiental**

**Autores:**

Luis Gustavo Escobal Díaz

Diana Elizabet Chuquilín Vallejos

Luis Alberto Martínez Mendoza

**Asesor:**

M. Sc. Ing. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2018

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>4</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>5</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>6</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>11</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1. Realidad Problemática .....	13
1.2. Formulación del problema .....	14
1.4. Objetivos .....	15
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	15
1.4.2. <i>Objetivo Específicos</i> .....	15
1.5. Justificación de investigación.....	15
1.6. Alcances de la investigación .....	16
1.7. Antecedentes del estudio.....	16
1.8. Bases teóricas .....	18
1.8.1. <i>Generalidades de los semiconductores</i> .....	18
1.8.2. <i>Características del <math>\text{TiO}_2</math></i> .....	21
1.8.3. <i>Síntesis del <math>\text{TiO}_2</math></i> .....	25
1.8.4. <i>Fotocatálisis heterogénea</i> .....	26
1.8.5. <i>Factores que afectan el proceso fotocatalítico</i> .....	29

1.8.6.	<i>PH</i> .....	31
1.8.7.	<i>Catalizador</i> .....	32
1.8.8.	<i>Temperatura</i> .....	33
1.8.9.	<i>Ventajas</i> .....	34
1.8.10.	<i>Aplicaciones y tendencias</i> .....	34
1.9.	Declaración de hipótesis .....	35
1.10.	Operacionalización de Variables .....	36
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>		<b>37</b>
2.1.	Diseño de Investigación.....	37
2.2.	Materiales y Métodos .....	37
2.2.1.	<i>Oxido de Titanio (<math>TiO_2</math>)</i> .....	38
2.2.2.	<i>Preparación de recipientes y pirámides tipo embudo</i> .....	39
2.2.3.	<i>Medición del agua ácida de mina y pesaje de <math>TiO_2</math></i> .....	40
2.2.4.	<i>Preparación de muestras con <math>TiO_2/AMD</math></i> .....	41
2.2.5.	<i>Exposición de las muestras a la luz del sol (UV)</i> .....	41
2.2.6.	<i>Muestreo de AMD tratada</i> .....	42
2.2.7.	<i>Análisis químico y medición de pH</i> .....	42
2.2.8.	<i>Recolección de datos y procesamiento</i> .....	43
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>		<b>44</b>
3.1.	Porcentaje de remoción de $Fe^{2+}$ .....	44
3.1.1.	<i>PH</i> .....	45
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>		<b>47</b>
Discusiones .....		47
Conclusiones.....		49
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>50</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>54</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n° 1. 1: Propiedades principales de las fases anatasa y rutilo del $\text{TiO}_2$ . .....	24
Tabla n° 1. 2: Operacionalización de variables.....	36
Tabla n° 3. 1: Valores promedio de los porcentajes de remoción de $\text{Fe}^{2+}$ .....	44
Tabla n° 3. 2: Valores de pH de las muestras de DAM tratadas por fotocatalisis. ....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n° 1. 1: Estructura electrónica de bandas del Zn Se. Sobre esta relación de dispersión (típica) se definen algunos conceptos importantes correspondientes a la física de semiconductores .....	20
Figura n° 1. 2: Diagrama simplificado de energía de un semiconductor. Se muestra el proceso de absorción de un fotón de energía $h\nu$ y la generación de un par electrón-hueco .....	21
Figura n° 1. 3: Estructura atómica del $\text{TiO}_2$ en fase anatasa. ....	23
Figura n° 1. 4: Estructura atómica del $\text{TiO}_2$ en fase rutilo. ....	23
<i>Figura n° 1. 5: Procesos que ocurren en la interfaz semiconductor - electro lito bajo iluminación.....</i>	<i>27</i>
Figura n° 1. 6: Superficie del semiconductor $\text{TiO}_2$ con absorción directa de fotones con energía igual o superior a la banda ancha de energía prohibida, band gap .....	29
Figura n° 2. 1: Diagrama del procedimiento experimental. ....	37
Figura n° 2. 2: Fotografía de depósito con agua acida de mina. ....	38
Figura n° 2. 3: Captador de energía luminosa. ....	39
Figura n° 2. 4: Pirámides y soluciones listas. ....	39
Figura n° 2. 5: Pesaje de $\text{TiO}_2$ y medición de agua acida de mina.....	40
Figura n° 2. 6: Llenado de las botellas con el agua acida de mina.....	40
Figura n° 2. 7: Rotulado y muestras listas. ....	41
Figura n° 2. 8: Exposición de muestras preparadas .....	41
Figura n° 2. 9: Extracción de muestra AMD tratada. ....	42
Figura n° 2. 10: Muestras después del proceso de fotocatalisis ordenadas.....	42
Figura n° 2. 11: Medición de pH.....	43
Figura n° 3. 1: Porcentajes de remoción de $\text{Fe}^{2+}$ por fotocatalisis.....	44
Figura n° 3. 2: Valores de pH con respecto a porcentaje de $\text{TiO}_2$ y tiempos de tratamiento.....	46

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “Influencia la concentración de  $\text{TiO}_2$  y tiempo de residencia, en el proceso de fotocátalisis heterogénea como sistema remoción de  $\text{Fe}^{2+}$  en descontaminación de aguas ácidas de mina, Cajamarca 2018”, en la cual tiene como finalidad de resolver la problemática de la contaminación del agua de las diferentes fuentes de este líquido elemento, mediante la aplicación del fenómeno de fotocátalisis heterogénea, usando como principal material semiconductor el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en porcentajes de 5, 10 y 15% en peso o volumen del agua a tratar (Drenaje Acido de Mina), así mismo se tomaron como variable de estudio el tiempo de tratamiento del agua con el presente proceso. De los diferentes tratamientos en diferentes condiciones como es el porcentaje de óxido de titanio y tiempo de tratamiento, se pudo encontrar que las concentración de  $\text{TiO}_2$ , más adecuada en el proceso, son de gran y directa influencia en el proceso, llegando a la conclusión que el mejor porcentaje de remoción de iones de  $\text{Fe}^{2+}$  fue usando un 15% de  $\text{TiO}_2$ , esto debido a presencia de mayor cantidad de material semiconductor ( $\text{TiO}_2$ ) y que por el proceso de fotocátalisis se genera mayor cantidad de electrones necesarios para que el proceso sea más rápido a comparación de las demás concentraciones, obteniendo así un 74,57% mayor en comparación con los demás porcentajes de óxido de titanio usado, de la misma manera el análisis y conclusión se llegó con respecto al tiempo, que a mayor tiempo mayor es el porcentaje de remoción de estos iones de  $\text{Fe}^{2+}$ . Así mismo se puede decir que es factible, aplicar este método de purificación y reducción de contaminantes del agua por el proceso de fotocátalisis.

**PALABRAS CLAVES:** Influencia, Fotocatálisis,  $\text{TiO}_2$ , Agua ácidas de Mina.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

- Abdullah, H., Khan, R., Ong, R., & Yakoob, Z. (30 de julio de 2017). Modified TiO<sub>2</sub> photocatalyst for CO<sub>2</sub> photocatalytic reduction: An overview. *EL Sevier* (22), 15-32.
- I-Hetlani. (2017). Detachable photocatalysts of anatase TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Annulling surface charge for immediate photocatalyst separation. *ElSevier*, 1-20.
- Alrousan, D., Dumlop, P., & McMurry, T. (2009). Photocatalytic inactivation of *E. coli* in surface water using immobilised nanoparticle TiO<sub>2</sub> films. *Water research*, 47-54.
- Campos, C., Cardenas, M., & Guerrero, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferentes tipos de aguas en la sabana de Bogotá. *Scientiarum*, 103-108.
- Candal, R., Bimes, S., & Blesa, M. (2013). *Semiconductores con actividad fotocatalítica*. Madrid: Editorial Ciemat.
- Folli, A., Pochard, I., Nonat, A., & Jakobsen, U. (2010). Engineering Photocatalytic Cements: Understanding TiO<sub>2</sub> Surface Chemistry to Control and Modulate Photocatalytic Performances. *Journal of the American Ceramic ociety*, 3360-3369.
- Glover, G., Gomez, L., Reyes, K., & Teresa, M. (2010). A practical demonstration of water disinfection using TiO<sub>2</sub> films and sunlight. *Water research*, 32-80.
- Hafizah, N., & Sopyan, L. (2009). Nanosized TiO<sub>2</sub> Photocatalyst Powder via Sol-Gel Method: Effect of Hydrolysis Degree on Powder Properties. *International Journal of Photoenergy*, 1-8.



- Hashimoto, K., Irie, H., & Fujishima, A. (2007). A Historical Overview and Future Prospects. *AAPPS Bulletin*, 1, 12-28.
- Kang, M., & Mika, S. (2012). Enhanced Photodecomposition of 4-Chlorophenol in Aqueous Solution by deposition of CdS on  $\text{TiO}_2$ . *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 119-125.
- Leyva, E., & Moctezuma, E. (2012). Photodegradation of Phenol and 4-Chlorophenol by BaO-Li<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> Catalysts. *Catalysis Today*. El Sevier, 157-163.
- Lodno, V., Marci, G., Palmisano, L., & Rives, V. (2011). Preparation and Characterisation of  $\text{TiO}_2$  (anatase) Supported on  $\text{TiO}_2$  (rutile) Catalysts Employed for 4-nitrophenol Photodegradation in Aqueous Medium and Comparison with  $\text{TiO}_2$  (anatase) Supported on  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . *Applied Catalysis B: Environmental*, 29-45.
- Lonnen, J., Kilvington, S., Kehoe, S., Touati, F., & McGuigan, K. (2009). Solar and photocatalytic disinfection of protozoan, fungal and bacterial microbes in drinking water. *Water research*, 877-896.
- Lu, A., Gou, Y., Lui, J., Wang, C., & Li, N. (2008). Photocatalytic effect of nature and modified V-bearing rutile. *Chinese Science Bulletin*(12), 2284—2287.
- Mathews, N., Morales, E., Cortes, M., & Toledo, J. (2009).  $\text{TiO}_2$  thin films – Influence of annealing temperature on structural, optical and photocatalytic properties. *Solar Energy*, 1499-1508.
- Mo, S., & Ching, W. (2007). Electronic and optical properties of three phases of titanium dioxide: Rutile, anatase, and brookite. *Physical Review*, 13023-13032.

- Nataro, J., & Kaper, J. (2009). Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*. ScienDdirect, 142-201.
- Ohno, T., Akiyoshi, M., Umabayashi, T., & Asai, K. (2010). Preparation of S-doped TiO<sub>2</sub> photocatalysts and their photocatalytic activities under visible light. *Applied Catalysis A: General*, 115-121.
- Ohtani, B. (2010). Photocatalysis A to Z—What we know and what we do not know in a scientific sense. *Journal of Photochemistry and Photobiology Photochemistry Reviews*, 157-178.
- Xu, F., Chen, J., Kalytchuk, S., Chu, L., Shao, Y., Dexin, K., y otros. (2017). Supported gold clusters as effective and reusable photocatalysts for the. *SicenceDirect(354)*, 1-12.
- Zhao, L., Han, H., & Lian, J. (2008). Photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> films with mixed anatase and rutile structures prepared by pulsed laser deposition. *Thin Solid Films*, 3394 - 3398.

Pg. web

- Arquero, B., Berzosa, A., García, N., & Monje, M. (10 de Noviembre de 2009). *Métodos de la investigación educativa*. Recuperado el 25 de septiembre de 2017, de [https://www.uam.es/personal\\_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentacion/Experimental\\_doc.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentacion/Experimental_doc.pdf)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (4 de Julio de 2016). Perú busca revertir la alarmante contaminación de sus aguas. Obtenido de <https://actualidad.rt.com/actualidad/212174-peru-revertir-contaminacion-aguas>

- Castillo, Y., Cortés, A., Sanabria, J., Rincon, A., & Pulgarin, A. (13 de Mayo de 2011). Estudio de la influencia de un sistema de fotocatalisis en la remoción de patógenos de aguas residuales domésticas, crudas y tratadas y su relación con algunos parámetros fisicoquímicos. Recuperado el 28 de Septiembre de 2017, de <http://gaox.univalle.edu.co/articulos/Algunos%20Resultados02.pdf>
- Tuesta, E., & Gutarra, A. (15 de Mayo de 2004). Aplicaciones electrocrómicas y fotocatalíticas de dióxido de titanio. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de [http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/pdfs/REVCUNI/2,2004/art\\_0003.pdf](http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/pdfs/REVCUNI/2,2004/art_0003.pdf)
- Wigodski, J. (14 de Julio de 2010). Metodología de la Investigación. Recuperado el 26 de Septiembre de 2017, de <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.pe/2010/07/poblacion-y-muestra.html>