



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

“INFLUENCIA DE LOS MÉTODOS FENTON Y FOTO-FENTON EN LA VARIACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero(a) Ambiental

Autor:

Bach. Frank Hugo Alva Rojas
Bach. Brenda Lorens Romero Max

Asesor:

Msc. Ing. Gladys Licapa Redolfo

Cajamarca – Perú
2018

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificación.....	12
1.4. Limitaciones	13
1.5. Objetivos	13
1.5.1. Objetivo general.....	13
1.5.2. Objetivos específicos.....	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes	14
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Rellenos sanitarios	16
2.2.2. Tipos de rellenos sanitarios.....	17
2.2.3. Etapas de degradación de un relleno sanitario	18
2.2.4. Problemática del relleno sanitario de Cajamarca.....	19
2.2.5. Lixiviados de rellenos sanitarios.....	20
2.2.6. Problemas y riesgos por lixiviados	29
2.2.7. Métodos Fenton y foto- Fenton	30
2.3. Hipótesis	41
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	42
3.1. Operacionalización de variables	42
3.2. Diseño de investigación	43
3.2.1. Experimental puro.....	43
3.3. Unidad de estudio	44
3.4. Población	44

3.5.	Muestra (muestreo o selección).....	44
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	45
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos	45
3.6.2.	Materiales, equipos e instrumentos.....	45
3.6.3.	Procedimiento de recolección de datos	47
3.7.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	51
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		52
4.1.	Caracterización fisicoquímico del Lixiviado	52
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....		58
CONCLUSIONES.....		59
RECOMENDACIONES		60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		61
ANEXOS.....		64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generación de Residuos sólidos municipales 2010 - 2012 (ton/año).	16
Tabla 2. Comparación de características típicas de los lixiviados de rellenos sanitarios.....	24
Tabla 3. Parámetros de muestreo de los lixiviados.	26
Tabla 4. Composición del agua percola a través de un relleno sanitario.	27
Tabla 5. Composición de lixiviados de vertederos de los residuos sólidos urbanos.	28
Tabla 6. Niveles máximos de contaminación por toxicidad.	30
Tabla 7. Estudios del proceso de Fenton enfocados al tratamiento de lixiviados.	35
Tabla 8. Ventajas y desventajas del proceso foto- Fenton.	37
Tabla 9. Estudios en los que evalúan al proceso de foto- Fenton para tratamiento de lixiviados...	37
Tabla 10. Diseño bifactorial de dos niveles.....	43
Tabla 11. Análisis fisicoquímico del lixiviado, pre - tratamiento.....	52
Tabla 12. Variación de las concentraciones de la demanda química de oxígeno en..... el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Cajamarca.	52
Tabla 13. Variación de las concentraciones de la demanda biológica de oxígeno en el..... tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Cajamarca.....	53
Tabla 14. Porcentaje de remoción de materia orgánica en función a las concentraciones..... de la demanda química de oxígeno de los métodos Fenton y foto- Fenton.	54
Tabla 15. Porcentajes de materia orgánica en función a las concentraciones..... de la demanda biológica de oxígeno de los métodos Fenton y foto- Fenton.	55
Tabla 16. Resultado de la evaluación de pH en los métodos Fenton y foto- Fenton..... del tratamiento de lixiviados.	56
Tabla 17. Muestras del lixiviado con los métodos Fenton y foto- Fenton.....	64
Tabla 18. Resultados estadísticos del parámetro DBO.	64
Tabla 19. Análisis de varianza del parámetro DBO.	67
Tabla 20. Resultados estadísticos del parámetro DQO.....	67
Tabla 21. Análisis de varianza del parámetro DQO.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relleno sanitario tipo área	17
Figura 2. Relleno sanitario tipo zanja o trinchera.....	18
Figura 3. Relleno sanitario tipo combinado o rampa.....	18
Figura 4. Contaminación de un relleno sanitario.....	20
Figura 5. Lixiviados del relleno sanitario	21
Figura 6. Problemas causantes por lixiviados.....	29
Figura 7. Tipos de procesos de Fenton	32
Figura 8. Mecanismo de reacción Fenton.....	34
Figura 9. Relleno sanitario de Cajamarca.....	44
Figura 10. Esquema del tratamiento en general.....	50

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de los métodos Fenton y foto - Fenton en la variación de la demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Cajamarca, ya que estos han sido ampliamente estudiados como las mejores alternativas para el tratamiento de diversos contaminantes orgánicos en el agua. Una solución de ion hierro (Fe^{2+}) y otra de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) constituyen el reactivo de Fenton, cuando se utilizan soluciones de ion férrico (Fe^{3+}) se denomina reactivo tipo Fenton, en el cual se generan radical hidroxilo altamente reactivo ($\text{OH}\cdot$) que pueden oxidar diversos contaminantes orgánicos. Ambos sistemas oxidantes son lentos y necesitan la asistencia de energía, como la irradiación de luz solar y UV, estos sistemas se denominan procesos Foto-Fenton. El lixiviado crudo empleado fue colectado en el relleno sanitario de Cajamarca, Perú. El experimento se dividió en tres etapas: fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete. En la fase de campo se tomaron muestras de los lixiviados antes de realizar el pre- tratamiento y tratamiento determinando diversos parámetros como: pH, la demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO) de los cuales sus valores fueron: pH (9.1), DQO (1051.5 $\text{mg O}_2/\text{L}$) y DBO (287 $\text{mg O}_2/\text{L}$). Con esos datos fue posible conocer el índice de biodegradabilidad (IB) de 0.272 lo cual indica que el lixiviado es moderadamente biodegradable. Los resultados en la fase de laboratorio del tratamiento muestran valores favorables en la aplicación del método Fenton y foto – Fenton, que presentaron una disminución hasta llegar a los valores de 9.2 $\text{mg O}_2/\text{L}$ y 7.6 $\text{mg O}_2/\text{L}$ en la evaluación de la demanda biológica de oxígeno, una variación de demanda química de oxígeno en las concentraciones a 536.6 $\text{mg O}_2/\text{L}$ y 581.1 $\text{mg O}_2/\text{L}$ y por último presentan un pH de 8.32 (Proceso Fenton) y 7.01 (foto- Fenton). Finalmente, se realizaron comparaciones entre los lixiviados sin el tratamiento y con el tratamiento dando resultados aceptables en la disminución de la demanda química de oxígeno utilizando el método Fenton (aunque no se logró alcanzar los Límites Máximos Permisibles del MINAM) y una disminución de la demanda biológica de oxígeno y pH muy favorables con el método foto- Fenton, alcanzando concentraciones dentro del rango de límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

ABSTRACT

The objective of the present work was the evaluation of the Fenton and photo: Fenton methods in the variation of the chemical demand of oxygen and demand for the treatment of leachates from the Cajamarca sanitary landfill, since they have been studied as the best alternatives for the treatment of organic materials in water. A solution of Fe^{2+} and another of hydrogen peroxide H_2O_2 constitutes the Fenton reagent, when using Fe^{3+} solutions it is called a Fenton type reagent, in which a highly reactive hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) is generated that can oxidize in polluting environments organic. Both oxidant systems are more recent and need the assistance of energy, such as irradiation of sunlight and UV, these systems are called photo-Fenton processes. The raw leachate used was collected in the sanitary landfill of Cajamarca, Peru. The process was divided into three stages: field phase, laboratory phase and cabinet phase. In the field phase, samples of the leachate were taken before carrying out the previous treatment and parameters such as pH, chemical oxygen demand and biological demand of the possible values were determined: pH (9.1), COD (1051.5 mg O_2/L) and BOD (287 mg O_2/L). With these data it is possible to know the biodegradability index (IB) of 0.272, which indicates that the leachate is moderately biodegradable. The results in the laboratory phase of the treatment reflect favorable values in the application of the Fenton and photo - Fenton method, which presents a decrease of 9.2 mg O_2/L and 7.6 mg O_2/L in the evaluation of biological demand of oxygen, one of 536.6 mg O_2/L and 581.1 mg O_2/L and finally have a pH of 8.32 (Fenton Process) and 7.01 (photo Fenton). Finally, comparisons were made between the authorized users and the treatment giving acceptable results in the decrease of the chemical demand of the use of the Fenton method (although it was not achieved in the future) Permits of the MINAM and a decrease of the biological demand of oxygen and pH very favorable with the photo-Fenton method, reaching concentrations within the range of maximum permissible limits for domestic or municipal wastewater treatment plants.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarrán Rivera, E. (2010). *Evaluación de procesos de oxidación química: Fe²⁺//H₂O₂ y O₃//H₂O₂, para incrementar la biodegradabilidad de efluentes acuosos de refinerías*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Alkalay D., Chamy R., Guerrero L., Schiappacasse M. (1996). Tratamiento anaerobio de lixiviados de relleno sanitario. Memorias del Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México D.F. México.
- Liuo, M.J., Lu, M.C & Chen, J.N. (2003). *Oxidation of explosives by Fenton and photo-Fenton processes*. Water Research, 37:3172-3179.
- Bae, J.H., Kim, S.E. & Chang, H.S. (1997). *Treatment of landfill leachates: ammonia removal via nitrification and desnitrification and further COD reduction via Fenton's treatment followed by activated sludge*. Water Science and Technology, 36(12):341-348.
- Baena López, N. (2005). *Degradación de fenol mediante aireación y foto-fenton: Estudio de las variables de operación a nivel de planta piloto* (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional.
- Baig, S., Coulomb, I., Courant, P. & Liechti, P. (1999). *Treatment of Landfill Leachates: Lapeyrouse and Satrod case studies*. Ozone Science and Engineering. 21, 1.
- Bigda, R.J. (1995). *Consider Fenton's chemistry for wastewater treatment*. Chemical Engineering Progress 91, 62 – 66.
- Cerda Sandoval, I. (2007). *Aplicación de Foto - Fenton a lixiviados de rellenos sanitarios* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Conde Morales, I. (2014). *Degradación de pirazinamida mediante el proceso foto-fenton utilizando FeC₂O₄ como fuente de hierro a pH 3, 4.5 y 6* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Chen, W. R., Wu, C., Elovitz, M.S. & Linden, K.G. (2008). *Reactions of thiocarbamate, triazine and urea herbicides, RDX and benzenes on EPA Contaminant Candidate List with ozone and with hydroxyl radicals*. Water Research, 42 (1), 137-144.
- Cifras Ambientales 2015*. (2015) (p. 47). Lima. Retrieved from https://issuu.com/sinia/docs/cifras_ambientales_2015/36?embed_cta=download&embed_context=embed&embed_domain=sinia.minam.gob.pe&embed_id=7018567%25252F53461694
- Diamadopoulou, E. (1994) Characterization and treatment of recirculation-stabilized leachate. Wat. Res., 28 (12), 2439-2445.
- Domenèch X, Garden W F, Litter M. I. Avanzados Oxidation Processes for La eliminación contaminants. In: Contaminant Eliminacion. La Plata: Network CYTED, 2001
- Ehrig, H. J. (1983). *Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate*. Germany.Waste Management Research.
- Gau, S.H. & Chang, F.S. (1996). *Improved Fenton method to remove the recalcitrant organic in landfill leachate*. Water Science and Technology, 34(7-8):455-462.

- Giraldo E. (1997). Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos. Santafé de Bogotá. Ministerio de Medio Ambiente.
- Huston, P.L. & Pignatello, J.J. (1996). *Reduction of perchloroalkanes by ferrioxalate-generated carboxylate radical preceding mineralization by the photo-Fenton reaction*. Environmental Science and Technology, 30:3457-3463.
- Kang, Y.W. & Hwang, K.Y. (2000). *Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process*. Water Research, 34 (10), 2786-2790.
- Kim, S., Geissen, S. & Vogelpohl, A. (1997). *Landfill leachate treatment by a photoassisted Fenton reaction*. Water Science and Technology, 35(4):239-248.
- Kochany, J. & Lipczynska, E. (2007). *Fenton reaction in the presence of humates. Treatment of highly contaminated wastewater at neutral pH*. Environmental Technology, 28 (9), 1007-1013.
- Kurniawan, T.A., Lo, W. & Chan. (2006). *Reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate*. Chemical Engineering Journal 125, 35 – 57.
- Kurniawan, T.A., Lo, W. & Chan, G. (2005). *Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate*. Journal of Hazardous Materials 129, 80 – 100.
- LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN RESIDUOS SÓLIDOS. (2014). OEFA. Retrieved 1 February 2014, from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471
- Llanos, G. (2017). Ministerio del Ambiente: hay un déficit de 246 rellenos sanitarios. Correo. Retrieved from <https://diariocorreo.pe/ciudad/ministerio-del-ambiente-hay-un-deficit-de-246-rellenos-sanitarios-768692/>
- Pignatello, J.J. (1992). *Dark and photoassisted Fe³⁺ - catalyzed degradation of chlorophenoxi herbicides by hydrogen peroxide*. Environmental Science and Technology 26:944 - 951.
- Pignatello, J., Oliveros, E. & McKay, A. (2006). *Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 36, pp. 1-84.
- Rivas, Javier., Gimeno, Olga. & Beltrán, Fernando. (2009). *Wastewater recycling: Application of ozone based treatments to secondary effluents*. Chemosphere. 74:854 - 859.
- Robles Martínez, F. (2005). *Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios*. Instituto Politécnico Nacional. Dirección de Publicaciones. P 107. México D.F. México.
- Rosales Hernández, A. (2014). *Procesos de oxidación avanzada tipo fenton con y sin luz solar para el tratamiento de lixiviados pretratados de rellenos sanitarios*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Sánchez Lavado, F. (2007). *Tratamientos combinados físicos - químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera* (Tesis de Doctorado). Universidad de Extremadura.
- Tchobanoglous G., Burton & F.L. Stensel H.D. (2004). *Wastewater engineering: treatment and reuse*. Metcalf y Eddy. 4ª ed. McGraw–Hill Professional, Nueva York. p. 1819 + XXVIII.
- Vera Toledo, Pedro. (2011). *Estudios ambientales y riesgos naturales. Aportaciones del sureste de México III*. Colección Jaguar, UNICACH, 1ª edición, Chiapas, México.

Yoon, J., Cho, S., Cho, Y. & Kim, S. (1998). *The characteristics of coagulation of Fenton reaction in the removal of landfill leachate organics*. Water Science and Technology, 38(2):209-214.

Zhao, Y., Yang, X., Tian, J., Wang, F. Zhan, L. (2010) *Methanol electro-oxidation on Ni@ Pd core-shell nanoparticles supported on multi-walled carbon nanotubes in alkaline*. Saudi Arabia: Elsevier B.V.

Zhang, H., Choi, H.J. & Huang, C. (2005). *Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate*. Journal of Hazardous Materials 125, 166 – 174.

- **Links Bibliográficos:**

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000300004

<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/18248>

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382015000200001&script=sci_arttext&lng=en

<http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/handle/11323/40>