



Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

**Fabián Rodrigo Morales Fiallos¹, Wilson Santiago Medina Robalino², Bolívar Eduardo Paredes
Beltrán³**

- 1. Universidad Técnica de Ambato, frmorales@uta.edu.ec**
- 2. Universidad Técnica de Ambato, wsmedina@uta.edu.ec**
- 3. Universidad Técnica de Ambato, be.paredes@uta.edu.ec**

RESUMEN

– La industria del jean requiere una gran cantidad de agua para su producción, generando una gran cantidad de aguas residuales. En promedio, el impacto ambiental de estos efluentes líquidos es alto, debido principalmente a la gran variedad de materia prima, reactivos y sustancias químicas tóxicas utilizadas en el proceso.

La biofiltración es una tecnología utilizada en el tratamiento de aguas residuales, esta consiste en el uso de materiales biodegradables como filtro con la finalidad de depurar efluentes provenientes de diferentes actividades, entre ellas, la producción textil.

El presente trabajo pretende verificar la eficiencia de depuración de los siguientes parámetros: Demanda Biológica de Oxígeno DBO₅, Demanda Química de Oxígeno DQO, Sólidos Totales ST y Biodegradabilidad; mediante la utilización de un biofiltro vertical construido a base de una cama de turba, arena de río lavada y piedra pómez.

Si bien existe literatura variada sobre biofiltros en la industria textil, no existe investigación específica acerca de filtración y tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de jeans.

Para este efecto, se realizó el monitoreo del biofiltro durante 36 días, con análisis continuos de los parámetros antes mencionados. Al final, se obtuvo una eficiencia del DBO₅ de 75.27% y del DQO de 79.69%, una relación de biodegradabilidad DBO₅/DQO de 0.78, y también, una reducción de sólidos totales ST del 57.33%, sugiriendo la posibilidad de utilizar este biofiltro.

Palabras claves – biofiltración, turba, aguas residuales, textiles, jeans



**Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales
Provenientes del Lavado de Jeans**

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

Biofiltration on Peat Bed, for the Treatment of Wastewater from the Washing of Jeans

ABSTRACT

The jean industry requires a large amount of water for its production, resulting in a large amount of wastewater. On average, the environmental impact of these effluents is high, mainly due to the wide variety of raw materials, reagents and toxic chemicals used in the process.

Biofiltration is a technology used in the treatment of wastewater, it consists in the use of biodegradable materials as a filter for purifying effluents from different activities, including textile production.

The present study aims to verify the efficiency of the following parameters: Biological Oxygen Demand BOD₅, Chemical Oxygen Demand COD, Total Solid ST and Biodegradability using a vertical biofilter built with a bed of peat, sand and pumice stone.

Although there is a varied literature on biofilters in the textile industry, there is no specific research on the filtration and treatment of wastewater from the washing of jeans.

For this purpose, the biofilter was monitored for 36 days, with continuous analysis of the mentioned parameters. At the end, results show efficiency of BOD₅=75.27%, COD=79.69%, biodegradability ratio of BOD₅/COD=0.78, and ST=57.33%, suggesting the possibility of using this biofilter.

Keywords – biofiltration, peat, wastewater, textile industry, jean



Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

1. INTRODUCCIÓN

Diversos factores como la escasez de agua, variaciones climatológicas y de temperatura, y la sobrepoblación humana, han causado el desarrollo de políticas de sustentabilidad medioambiental enfocadas en el ahorro, preservación y reutilización del recurso hídrico; entre estas políticas, una de las más relevantes es el tratamiento de aguas residuales. En los países en vías de desarrollo, la industria textil presenta un alto índice de crecimiento y expansión, lo cual por otro lado, genera un gran volumen de efluentes altamente contaminados [1]–[5]. Una de las etapas que representa mayor consumo de agua, especialmente en empresas que se dedican al teñido de textiles, es la de los ciclos de acabado (lavado y enjuague) [6]–[8], mismos que contienen altísimas concentraciones de compuestos químicos como son tintes, detergentes, solventes, sales entre otros [9]. Como consecuencia, estos efluentes presentan altas concentraciones de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendingidos (SS), Sólidos Totales (ST), Metales Pesados, Sales y además de esto, bajos niveles de Biodegradabilidad [10]. Todo lo mencionado, obliga al tratamiento de este tipo de efluentes previo a su descarga en cualquier cuerpo natural de agua.

Existen varios tipos de tratamiento que se pueden aplicar a los efluentes de la industria textil, el más común es el proceso de coagulación – floculación (C-F) seguido de filtración utilizando arena [11]. Investigaciones recientes sobre el tratamiento de efluentes de esta industria muestran entre los avances más destacados los procesos de oxidación avanzados y tratamientos microbianos, los cuales incrementan la efectividad en el tratamiento [8], [9], [11]. Otra de las metodologías utilizadas para este efecto, principalmente debido a su bajo costo de implementación y operación en comparación de los tratamientos antes mencionados, es el tratamiento mediante biofiltración [12], el cual consiste generalmente en la filtración a través de una columna vertical utilizando una cama orgánica. Esta “cama” puede estar conformada por una variedad de materiales de origen orgánico, los cuales generalmente presentan características altas de porosidad, adsorción y absorción [13]. Entre algunos de los materiales estudiados podemos mencionar el quitosano [14], cáscaras de limón [1], turba [15]–[17], entre otros [13], [18].

La turba, es un material orgánico parcialmente fosilizado o en descomposición presente en zonas pantanosas, altas o con alto contenido de humedad; ha sido ampliamente estudiado y presenta características positivas como adsorbente en la filtración de aguas residuales [13], [19]–[22]. Así también, ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de ST, SS, Olores, Materia Orgánica (MO), Aceites y Nutrientes, a un costo significativamente menor a otros materiales adsorbentes como el



Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

carbón activado [17]. A pesar de existir variada literatura sobre biofiltros, incluso de biofiltros sobre cama de turba en el tratamiento de aguas residuales industriales [13], [15]–[17], [19]–[21], [23]–[25], no se ha podido encontrar estudios específicos llevados a cabo que demuestren la efectividad de biofiltros sobre cama de turba en el tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de jeans. En el presente trabajo, se revisará la eficiencia de un biofiltro sobre una cama de turba, arena de río y piedra pómez, en el tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de jeans. Para este objetivo, se utilizó el agua residual de una lavadora de jeans ubicada en la ciudad de Pelileo, provincia de Tungurahua en Ecuador. Los materiales, el modelo y el método analítico son explicados en la sección II; así mismo, el desempeño, monitoreo y eficiencia del filtro es presentado en la sección III; y finalmente, las conclusiones son presentadas en la sección IV. Se analizó la eficiencia del filtro respecto de parámetros como DBO₅, DQO, ST y biodegradabilidad. Al final, se presentan los resultados obtenidos, los cuales presentan indicios de que una vez estabilizado y con un paso sin retención forzada de efluente, el filtro comienza a tratar y reducir efectivamente los parámetros estudiados. Además, se presentan recomendaciones de otros parámetros que también podrían ser verificados, así como también, de la necesidad de verificar el periodo de vida útil del filtro.

2. METODOS

Para el presente trabajo, se utilizaron cuatro materiales principales, viruta de madera, turba, arena de río y piedra pómez. La viruta de madera procede del excedente de rechazo de aserraderos locales. La turba es de tipo sustrato que se consigue fácilmente en tiendas de jardinería comerciales y cuya composición consta únicamente de turba rubia (o blanca) (70%) y turba negra (30%). La arena de río lavada usada fue aquella que paso el tamiz #4 (4.75 mm) [26], con un alto contenido de cuarzo y piedra, y baja presencia de finos. La piedra pómez que se utilizó fue aquella retenida en el tamiz de 1 pulgada. Los dos últimos materiales, fueron obtenidos localmente en la provincia de Tungurahua en Ecuador. Finalmente, para la separación de los materiales se utilizó malla plástica de forma cuadrada con separación de 2 cm.

A. Caracterización del modelo

El contenedor del biofiltro está conformado de material plástico en forma circular de 28 centímetros de diámetro, y se armó en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El esquema general de la columna de filtración se muestra en la Figura 1 y consta de 4 capas principales de los materiales antes descritos separadas con malla plástica.

Las capas del biofiltro se utilizaron con distintas finalidades, primero, la capa de viruta sirve como material de distribución del caudal de entrada del agua residual; segundo, la capa de turba es la capa de filtración cuyas propiedades (adsorción, absorción, intercambio iónico, porosidad), ayudan a la



Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

depuración del agua residuales provenientes del lavado de jeans. La tercera y cuarta capa constan de arena y piedra pómez respectivamente, y sirven de material de soporte de la turba y para permitir una mejor descarga del agua residual.

B. Método analítico

El proceso de filtración se lo realizó en el transcurso de 36 días, periodo en el cual se realizaron 10 análisis de muestras en los días de mayor volumen de trabajo de la lavadora de jeans, es decir, cuando la concentración del efluente era mayor. Asimismo, se realizó una toma inicial con agua sin tratar obtenida directamente desde la descarga, la cual se utilizó para verificar la efectividad del tratamiento. Para el análisis de las muestras y verificación de los parámetros de control, se utilizaron muestras inalteradas de acuerdo a los requerimientos usuales establecidos en normas técnicas de laboratorio [27], todas además, a temperatura ambiente con la intención de simular condiciones naturales de trabajo.

Para el proceso de filtración, se trabajó siempre con un volumen de 20 litros de agua residual, recogida directamente desde la descarga de la lavadora de jeans para posteriormente ingresarla al filtro a través de una tubería de entrada de PVC de un diámetro de 2 pulgadas. El monitoreo se realizó en dos etapas, la primera durante las dos primeras semanas en las cuales se analizaron 5 muestras y la segunda en la cual se analizaron 5 muestras.

En la primera etapa, la filtración se realizó con retención forzada del efluente, esto es, previo a cada vertido de agua al filtro, se cerró la válvula de salida y se retuvo el líquido por un periodo de 12 horas previo a su descarga y análisis. En la segunda etapa, la filtración se realizó directamente sin retención. Tanto en la primera como en la segunda etapa, se verificó que el tiempo de retención hidráulico (TRH) fue de 4 minutos.

Los análisis de la DBO_5 , DQO y ST fueron realizados en el laboratorio acreditado Lacuanálisis de la ciudad de Ambato, Ecuador. Una vez obtenidos los resultados, se verificó la eficiencia del biofiltro en la reducción de los parámetros utilizando la fórmula:

$$Ef = \left(\frac{DBO_i - DBO_m}{DBO_i} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde Ef es la eficiencia del filtro, DBO_i es el valor de DBO tomado en la muestra inicial sin tratar DBO_m es el valor de DBO de cada muestra tomada luego de pasar por el filtro.

La fórmula (1) fue utilizada también en el cálculo de los parámetros de DQO y ST .



Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

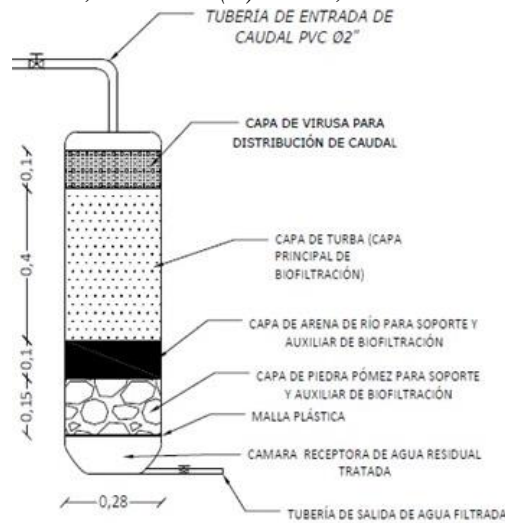


Figura 1. Esquema de Biofiltro sobre Cama de Turba

3. RESULTADOS

A. Desempeño del filtro

Primera etapa de monitoreo. En esta etapa, el filtro presentó un funcionamiento inadecuado ya que se detectó un incremento de los parámetros de monitoreo. Al ingresar el efluente y cerrar la válvula de salida por un periodo de 12 horas, se pudo observar que no se producía ningún efecto filtrante, sino más bien, un efecto inverso.

Segunda etapa de monitoreo. En la segunda etapa de monitoreo, en la cual se produjo un paso directo del efluente a través del filtro, el efecto de filtrado fue evidente y produjo resultados satisfactorios. Tanto los parámetros monitoreados, así como también otros que no fueron considerados como el color, se redujeron sustancialmente, tal como se evidencia a continuación.

B. Monitoreo de los parámetros evaluados

Las figuras 2, 3 y 4 muestran la variación de las concentraciones de DBO₅, DQO y ST en el agua residual durante los 36 días de monitoreo. Como se mencionó anteriormente, durante la primera etapa de monitoreo se observa un repunte anormal de los parámetros, debido a la retención de líquido. Asimismo, desde el día 16 hasta el final del monitoreo, se pudo observar un descenso notable de los parámetros de estudio.



Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

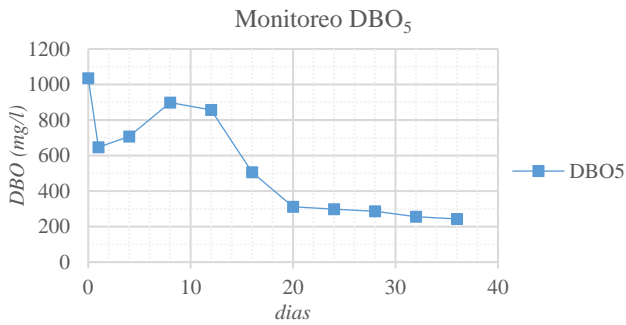


Figura 2. DBO₅ (mg/l) vs días de monitoreo, se observa una tendencia de reducción continua del parámetro de estudio.

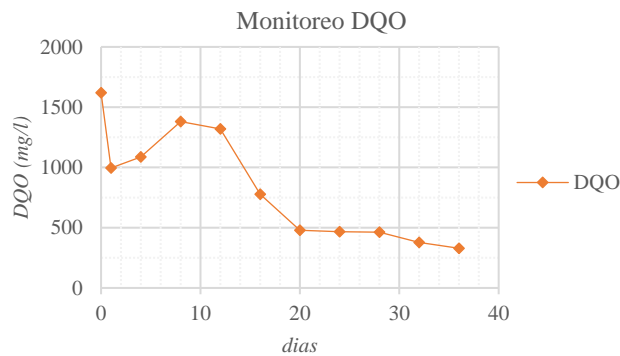


Figura 3. DQO vs días de monitoreo, se observa una tendencia decreciente en la concentración de los valores

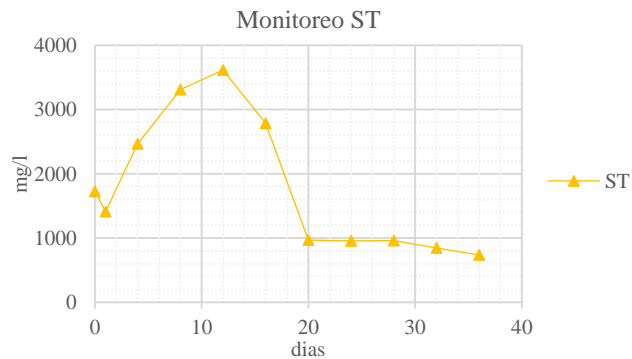


Figura 4. ST vs días de monitoreo, se observa una tendencia decreciente en la concentración de los valores

C. Eficiencia del Filtro

Una vez finalizado el monitoreo de la eficiencia del filtro, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 1.

TABLA 1.

EFICIENCIA DEL BIOFILTRO

Día	DBO		DQO		ST	
	mg/l	Ef	mg/l	Ef	mg/l	Ef



Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

0	1035.00	0.00%	1620.00	0.00%	1725.00	0.00%
1	647.00	37.49%	995.00	38.58%	1411.00	18.20%
4	898.00	13.24%	1381.00	14.75%	2644.00	-53.28%
8	707.00	31.69%	1087.00	32.90%	3311.00	-91.94%
12	857.00	17.20%	1319.00	18.58%	3614.00	-109.51%
16	506.00	51.11%	778.00	51.98%	2786.00	61.51%
20	311.00	69.95%	479.00	70.43%	968.00	43.88%
24	298.00	71.21%	463.00	71.42%	957.00	44.52%
28	286.00	72.37%	467.00	71.17%	960.00	44.35%
32	243.00	76.52%	378.00	76.67%	846.00	50.96%
36	256.00	75.27%	329.00	79.69%	736.00	57.33%

Como se puede observar, se obtuvieron valores altos de eficiencia del filtro de turba, esto claro, a excepción de la primera etapa de monitoreo donde se tuvo retención de líquido.

Respecto de la eficiencia, la Tabla 1 realiza una comparación de los parámetros verificados, esto es, desde la muestra sin tratar (día cero), hasta transcurridos los 36 días de monitoreo.

D. Biodegradabilidad

La relación DBO_5/DQO que es una relación común para verificar la biodegradabilidad del efluente también se ha monitoreado (Fig. 5), como se puede observar, la relación DBO_5/DQO se incrementa desde 0.64 con la muestra sin tratamiento, hasta 0.78 al final de los 36 días de monitoreo, este resultado comprueba la mejora en la capacidad del efluente para degradar materia biológicamente [28], [29].

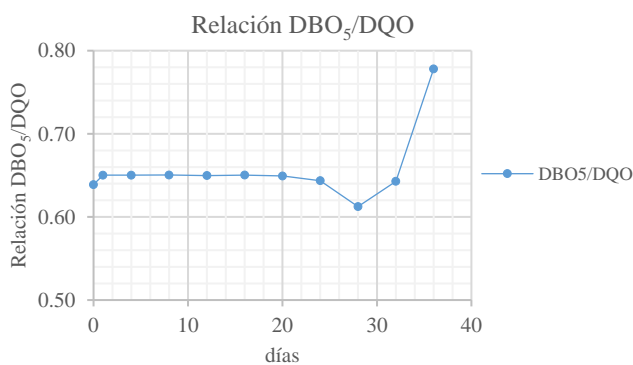


Figura 5. Relación DBO_5/DQO

E. Otros parámetros

Una vez finalizado el monitoreo se verificó que otro de los parámetros en los que se denota una notable reducción es la del color (Fig. 6), parámetro relacionado a la remoción del tinte del efluente, mismo que puede ser monitoreado en investigaciones futuras.



Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304



Figura 6. Resultados de filtración a través del prototipo. Se puede evidenciar la reducción del color en el efluente saliente.

4. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el monitoreo e investigación de las muestras, los resultados sugieren que el tratamiento de la DBO₅, DQO y ST de aguas residuales provenientes de la industria de lavado de jeans es considerable, conforme lo planteado en la metodología planteada inicialmente. Para esto, el flujo debe ser directo y sin retenciones.

La eficiencia de remoción máxima de la DBO₅ y DQO al final de la investigación fueron mayores al 75%; asimismo, la relación final entre el DBO₅/DQO es de 0.78. La reducción de ST al final del tratamiento del efluente es del 57.33%, y también, se denota una visible reducción en el color del agua residual proveniente del lavado de jeans.

Con estos resultados, el presente estudio muestra el potencial de aplicación del biofiltro propuesto para el tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de jeans.

La variación de la altura del material, así como el monitoreo del filtro por un periodo más extenso hasta que el material muestre indicios de dejar de ser efectivo, son oportunidades adicionales de investigación en las cuales se puede extender esta investigación. Asimismo, la verificación de otros factores como el pH, los sólidos suspendidos, temperatura y la remoción final de color, también pueden ser parámetros a ser investigados.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores desean agradecer de manera especial a las autoridades de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, quienes facilitaron el apoyo necesario para llevar a cabo esta investigación.



**Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales
Provenientes del Lavado de Jeans**

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Shakoor and A. Nasar, "Removal of methylene blue dye from artificially contaminated water using citrus limetta peel waste as a very low cost adsorbent," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 66, pp. 154–163, 2016.
- [2] L. Chen, L. Wang, X. Wu, and X. Ding, "A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry," *J. Clean. Prod.*, vol. 143, pp. 1137–1143, 2017.
- [3] E. Ozturk, H. Koseoglu, M. Karaboyaci, N. O. Yigit, U. Yetis, and M. Kitis, "Minimization of water and chemical use in a cotton/polyester fabric dyeing textile mill," *J. Clean. Prod.*, vol. 130, pp. 92–102, 2015.
- [4] A. Yurtsever, Ö. Çınar, and E. Sahinkaya, "Treatment of textile wastewater using sequential sulfate-reducing anaerobic and sulfide-oxidizing aerobic membrane bioreactors," *J. Memb. Sci.*, vol. 511, pp. 228–237, 2016.
- [5] S. E. Subramani and N. Thinakaran, "Isotherm, kinetic and thermodynamic studies on the adsorption behavior of textile dyes onto chitosan," *Process Saf. Environ. Prot.*, 2016.
- [6] E. Sahinkaya, A. Yurtsever, and Ö. Çınar, "Treatment of textile industry wastewater using dynamic membrane bioreactor: Impact of intermittent aeration on process performance," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 174, pp. 445–454, 2017.
- [7] A. Yurtsever, B. Calimlioglu, and E. Sahinkaya, "Impact of SRT on the Efficiency and Microbial Community of Sequential Anaerobic and Aerobic Membrane Bioreactors for the Treatment of Textile Industry Wastewater," *Chem. Eng. J.*, vol. 314, pp. 378–387, 2016.
- [8] M. Solís, J. L. Gil, A. Solís, H. I. Pérez, N. Manjarrez, and M. Perdomo, "El proceso de sedimentación como una aplicación sencilla para reducir contaminantes en efluentes textiles," *Rev. Mex. Ing. Qum.*, vol. 12, no. 3, pp. 585–594, 2013.
- [9] E. GilPavas, I. Dobrosz-Gómez, and M. Á. Gómez-García, "Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment," *J. Environ. Manage.*, vol. 191, pp. 189–197, 2017.
- [10] M. Lapertot, S. Ebrahimi, S. Dazio, A. Rubinelli, and C. Pulgarin, "Photo-Fenton and biological integrated process for degradation of a mixture of pesticides," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 186, no. 1, pp. 34–40, 2007.



**Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales
Provenientes del Lavado de Jeans**

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

- [11] C. Amor et al., "Mature landfill leachate treatment by coagulation / flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes," *J. Hazard. Mater.*, vol. 286, pp. 261–268, 2015.
- [12] A. A. Ruiz, "La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua.," *Lasallista Investig.*, vol. 1, no. 2, p. 6, 2004.
- [13] M. A. Garzón-Zúñiga, "La biofiltración sobre cama de turba, un tratamiento eficiente para diferentes tipos de agua residual industrial," *Ing. Sanit. y Ambient.*, vol. 52, no. 777, pp. 76–82, 2005.
- [14] M. A. Zulfikar, H. Setiyanto, D. Wahyuningrum, and R. R. Mukti, "Peat water treatment using chitosan-silica composite as an adsorbent," *Int. J. Environ. Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 687–710, 2014.
- [15] F. Hemmati, R. Norouzbeigi, F. Sarbisheh, and H. Shayesteh, "Malachite green removal using modified sphagnum peat moss as a low-cost biosorbent: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 0, pp. 1–8, 2015.
- [16] S. J. Allen, G. Mckay, and J. F. Porter, "Adsorption isotherm models for basic dye adsorption by peat in single and binary component systems," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 280, no. 2, pp. 322–333, 2004.
- [17] D. Couillard, "The use of peat in wastewater treatment," *Water Res.*, vol. 28, no. 6, pp. 1261–1274, 1994.
- [18] M. A. Garzón-Zúñiga, G. Buelna, and G. E. Moeller-Chávez, "La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias," *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 3, no. 3, pp. 153–161, 2012.
- [19] J. D. Owen and A. C. Sanz, "Evaluación de turba para el tratamiento de aguas residuales," Buenos Aires, 2001.
- [20] Y. Kalmykova and A. Strömvall, "Peat filter performance under changing environmental conditions," *J. Hazard. ...*, vol. 166, pp. 389–393, 2009.
- [21] Q. Sun and L. Yang, "The adsorption of basic dyes from aqueous solution on modified peat – resin particle," *Water Res.*, vol. 37, no. 821, pp. 1535–1544, 2003.
- [22] A. Hauser, "Los depósitos de turba en Chile y sus perspectivas de utilización," *Rev. Geológica Chile*, vol. 23, no. 2, pp. 217–229, 1996.



**Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales
Provenientes del Lavado de Jeans**

Revista Publicando, 4 No 10. (2). 2017, 579-590. ISSN 1390-9304

- [23] V. K. C. Lee, J. F. Porter, and G. McKay, "Modified design model for the adsorption of dye onto peat," *Food Bioprod. Process. Trans. Inst. Chem. Eng. Part C*, vol. 79, no. 1, pp. 21–26, 2001.
- [24] P. N. Lens, P. M. Vochten, L. Speleers, and W. H. Verstraete, "Direct treatment of domestic wastewater by percolation over peat, bark and woodchips," *Water Res.*, vol. 28, no. 1, pp. 17–26, 1994.
- [25] A. Srinivasan and T. Viraraghavan, "Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: A review," *J. Environ. Manage.*, vol. 91, no. 10, pp. 1915–1929, 2010.
- [26] ASTM C33/C33M-16, *Standard Specification for Concrete Aggregates*. 2016.
- [27] S. Aguinaga, "Manual De Procedimientos Analiticos Para Aguas Y Efluentes," p. 174, 1996.
- [28] A. Zapata, T. Velegraki, J. A. Sánchez-Pérez, D. Mantzavinos, M. I. Maldonado, and S. Malato, "Solar photo-Fenton treatment of pesticides in water: Effect of iron concentration on degradation and assessment of ecotoxicity and biodegradability," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 88, no. 3–4, pp. 448–454, 2009.
- [29] R. He, B. H. Tian, Q. Q. Zhang, and H. T. Zhang, "Effect of Fenton oxidation on biodegradability, biotoxicity and dissolved organic matter distribution of concentrated landfill leachate derived from a membrane process," *Waste Manag.*, vol. 38, no. 1, pp. 232–239, 2015.