

DOI: 10.24850/j-tyca-13-05-10

Notas

Filtro con elementos de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de aguas residuales de lavadoras de autos en la ciudad de Ambato, Ecuador

Filter based on sugar cane bagset for the treatment of wastewater from car washers in the city of Ambato, Ecuador

Fabian Morales-Fiallos¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0655-8684>

Lenin Maldonado Narváez², ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6734-5036>

Galo Nuñez-Aldás³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7087-1213>

Geovanny Paredes-Cabezas⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4417-0899>

Rodney Hechavarría⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0195-6157>

¹Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (FICM), Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ambato, Ecuador, frmorales@uta.edu.ec



²Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (FICM), Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ambato, Ecuador, lr.maldonado@uta.edu.ec

³Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (FICM), Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ambato, Ecuador, gw.nunez@uta.edu.ec

⁴Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (FICM), Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ambato, Ecuador, ag.paredes@uta.edu.ec

⁵Institute for Applied Sustainability Research (Iiasur), Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (FICM), Universidad Técnica de Ambato (UTA), Ambato, Ecuador, ro.hechavarria@uta.edu.ec

Autor para correspondencia: Fabián Morales-Fiallos,
frmorales@uta.edu.ec

Resumen

Los efectos de la industria petrolera siguen causando daños hoy día. Por ejemplo, las lavadoras de autos y sus componentes generan aún contaminación a las aguas servidas. En este trabajo, entonces, se analiza la eficiencia de un filtro artesanal hecho de bagazo de caña de azúcar, arena, ladrillo triturado y piedra pómez. El estudio se realizó en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, y como efluente se utilizó el agua residual proveniente de una lavadora de autos ligeros. Para



comprobar la eficacia del filtro y sus limitaciones, se midió durante 30 días el índice de variación en diferentes parámetros del agua residual como: sólidos totales, sólidos suspendidos totales, DBO₅ (demanda biológica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), pH, aceites y grasas, turbiedad, y TPH (hidrocarburos totales de petróleo). Los resultados preliminares arrojaron una significativa mejora en la calidad del efluente tratado, especialmente en la turbiedad, TPH, sólidos totales suspendidos y pH.

Palabras clave: eficiencia, filtro orgánico de bagazo, tratamiento de agua, turbiedad.

Abstract

The effects of the oil industry continue to cause damage today. For example, car washers and their components still pollute sewage. This work assesses the efficiency of an artisan filter made of sugarcane bagasse, sand, crushed brick, and pumice stone. The research was carried out in the Chemistry Laboratory of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering of the Technical University of Ambato, Ecuador, and as effluent, wastewater from a small car washing machine was used. To prove the efficiency of the filter and its limitations, the variation index in different parameters of this water was measured for 31 days, such as total solids, total suspended solids, BOD₅ (biological oxygen demand), COD (chemical oxygen demand), pH, oils and fats, turbidity and TPH (total



petroleum hydrocarbons). The preliminary results showed a significant improvement in the treated effluent's quality, especially in turbidity, TPH, total suspended solids, and pH.

Keywords: Efficiency, organic bagasse filter, water treatment, turbidity.

Recibido: 22/05/2019

Aceptado: 28/07/2021

Introducción

El avance de la industria automovilística ha dado paso al incremento del número de vehículos que circulan diariamente por las ciudades de todo el mundo. Este crecimiento no sólo tiene que ver con el número de vehículos, sino también con sustancias tóxicas y peligrosas emitidas al ambiente (Caldera, Rodríguez, Oñate, Prato, & Gutiérrez, 2011; Radin-Mohamed, Nadira-Kutty, & Amir-Kassim, 2014). Por esta demanda de automóviles surgen pequeñas industrias dedicadas al lavado de autos, tal actividad genera contaminación hídrica al emitir una amplia gama de



contaminantes, sobre todo de aceites y grasas, detergentes y otros hidrocarburos (Caldera *et al.*, 2011; Loos *et al.*, 2013; Aly, 2015).

Hasta la fecha existe un sinnúmero de investigaciones y propuestas documentadas para el tratamiento de aguas residuales del lavado de automóviles en diversos países (Daneshyar & Ghaedi, 2015; Malakootian, Toolabi, Derakhshan, & Taghi, 2016). En este sentido, la propuesta de métodos como coagulación química, membranas de microfiltración, floculación y coagulación, electrocoagulación e intercambio iónico son ampliamente utilizados (Daneshyar & Ghaedi, 2015; El-Ashtoukhy, Amin, & Fouad, 2015). En la actualidad, incluso la industria de la nanotecnología ha contribuido a la disminución de contaminantes en el agua (Berekaa, 2016; Qu, Alvarez, & Li, 2013).

En Ecuador, la preocupación ha radicado en particular en el abastecimiento del agua, pero no siempre en la calidad de ésta. Son conocidos los altos grados de contaminación en varias zonas del país, especialmente del nivel de concentración en los efluentes evacuados directamente al alcantarillado público (Guamán, 2014; Guamán, Guamán, & Álvarez, 2016). Hoy día existen algunos proyectos para mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en ciudades como Cuenca, Ambato y Otavalo, entre otras, aunque son insuficientes aún (Veintimilla, 2014; León & Lucero, 2008).

Es necesario entonces potenciar nuevas técnicas que aprovechen materiales cuyas propiedades no han sido cabalmente explotadas; en

especial, aquellos más económicos y de fácil adquisición. Así, este trabajo tiene como objetivo fundamental el estudio y análisis de la eficiencia de un filtro artesanal o biofiltro en la reducción de contaminantes de efluentes, elaborado a base de piedra pómez, bagazo de caña de azúcar, arena y ladrillo triturado.

Como antecedente de los materiales utilizados se toma como referencia el estudio realizado por Armada, Barquinero y Capote (2008), donde se utiliza el bagazo de caña de azúcar como material absorbente en derrames de petróleo. En nuestra investigación, con el mismo principio citado, se amplía el estudio del bagazo junto con otros materiales para analizar su eficiencia como filtro del efluente de una lavadora de autos.

Metodología

Materiales



La Figura 1 (A y B) muestra el diseño y la construcción del filtro utilizado en el trabajo. Consiste en una estructura metálica colocada verticalmente, dividida en secciones equidistantes y de igual tamaño, que sujetan envases de plástico con capacidad de 30 l, los cuales presentan orificios de 7.54 mm de diámetro en su base y están recubiertos por una membrana de organza; cada uno almacena una grava de diámetro entre 19 y 25 mm como lecho poroso filtrante. Tal arreglo permite una separación en capas móviles para facilitar la visualización de los cambios fisicoquímicos que ocurren en el efluente al descender en cada nivel. El experimento se desarrolló en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato (FICM-UTA), Ecuador, con la finalidad de mantener la integridad del filtro y facilitar la conservación de los elementos. En la Figura 1B se observan el diseño y sus dimensiones. El sistema consiste en una serie de filtros donde el agua residual se vierte inicialmente desde el compartimento superior y desciende continuamente —en contacto con los materiales de la Figura 2— hacia las cámaras inferiores. En la base final se recoge el líquido tratado.

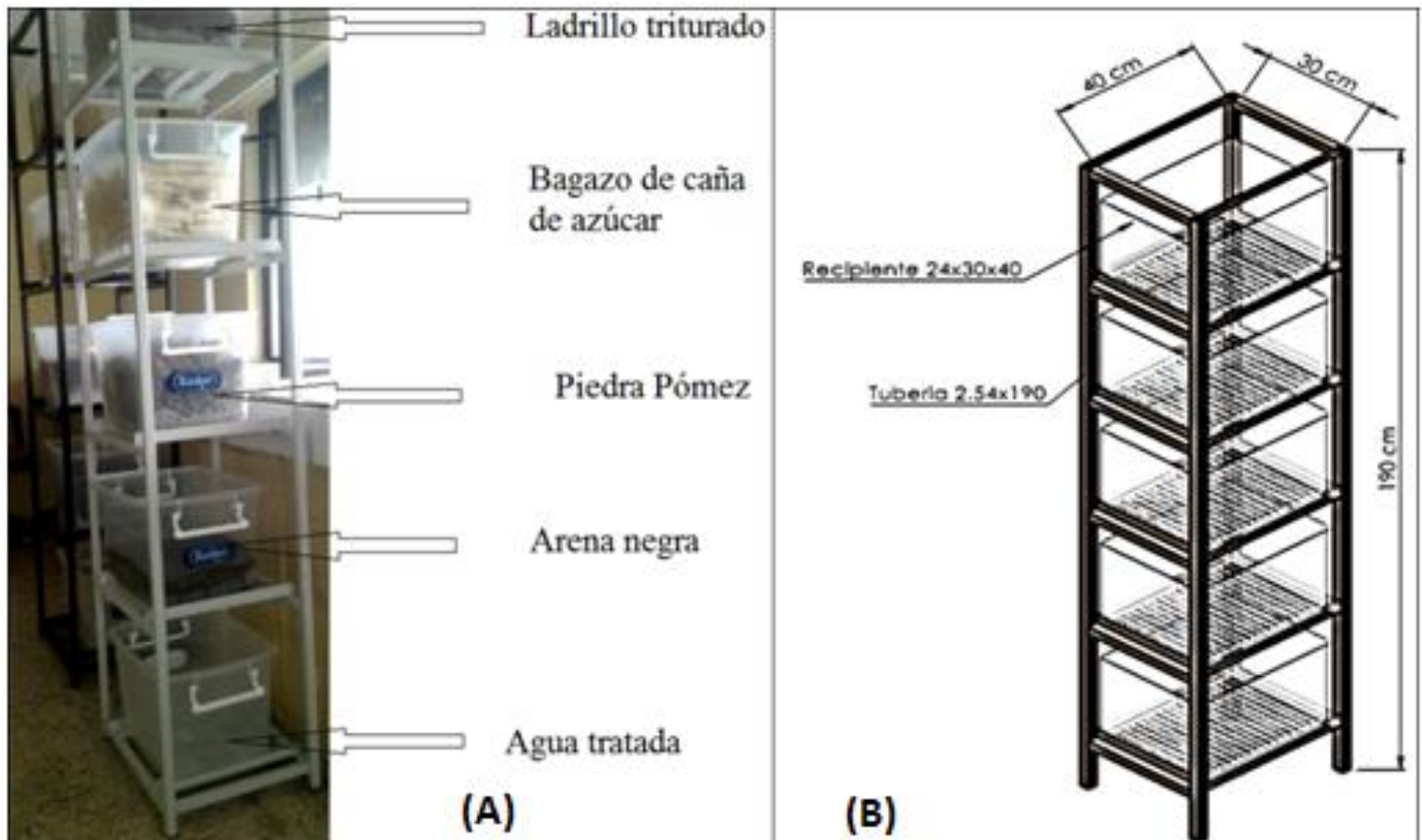


Figura 1. Estructura metálica en forma vertical donde se agrupan los elementos filtrantes: A) en cada nivel se coloca el material para el tratamiento del agua residual; B) se observa el diseño con sus dimensiones.



Figura 2. Materiales orgánicos utilizados para elaborar el filtro: bagazo de caña de azúcar (superior izquierda); piedra pómez (superior derecha); arena (inferior izquierda), y ladrillo triturado (inferior derecha).

Método

El agua residual se recolectó a través de un muestreo simple y aleatorio en tres lavadoras de autos en la ciudad de Ambato durante dos semanas, con el objetivo de lograr una muestra sintetizada. Las muestras se almacenaron en cinco frascos de plástico de 30 l, que se trasladaron al laboratorio de FICM-UTA y refrigerados a 4 °C para su conservación. A continuación se midieron los parámetros fisicoquímicos antes y después de cada proceso de filtración. Tales mediciones se repitieron siete veces durante 31 días. La Figura 3 brinda una representación de cada experimento, donde se utilizó un volumen inicial de 20 l de agua, 10 l de material filtrante en cada recipiente, 15 l/min de caudal de alimentación estimado y 10 l restantes de líquido crudo usados para medir sus concentraciones iniciales.



Figura 3. Proceso de filtración. El agua residual se vierte inicialmente desde el compartimento superior y desciende en contacto con los materiales hacia las cámaras inferiores; en la base final se recoge el líquido una vez tratado.

El estudio de los materiales (Figura 2), como potenciales agentes reductores de la contaminación del efluente, establece en esta investigación un diseño experimental de tipo puro. En la primera fase, el interés consiste en determinar, a través del monitoreo de sus parámetros, si la calidad del líquido se modifica sustancialmente o no. Por lo tanto, sea la hipótesis nula:

H₀: la calidad del efluente permanece cuasi invariable.

y la hipótesis alternativa:

H₁: La calidad del efluente se modifica significativamente.

De aceptar H_1 (y rechazar H_0), en una segunda fase se determinaría entonces cómo varía la calidad del efluente, si aumenta o disminuye. Para ello se define la *eficiencia*, variable dependiente de la concentración de los parámetros de control; para este trabajo son sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SS), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas (AG), turbiedad (T), hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y pH.

Aspectos teóricos



Los materiales de los que está compuesto el filtro se seleccionaron con base en información proporcionada en investigaciones anteriores sobre sus características, como es el caso del bagazo de caña de azúcar sobre el cual se ensayó como material absorbente en derrames de petróleo (Armada *et al.*, 2008). El ladrillo es un elemento compuesto 100 % de arcilla, la cual se ha estudiado como filtro de aguas residuales con pesticidas (Celis, 2014). La arena es un material utilizado en los filtros lentos como material filtrante (González, Martín, & Figueroa, 2018).

En la Tabla 1 se presentan los parámetros que se tomaron en cuenta, considerando el origen del efluente, para realizar el análisis fisicoquímico del efluente. Asimismo, se encuentran los valores límites permitidos para la descarga al alcantarillado público de acuerdo con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).

Tabla 1. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, extraído de Caldera *et al.* (2011).

Parámetros	Símbolo	Unidad	Límite
Turbiedad	T	UTN	-
Demanda bioquímica de oxígeno (al quinto día)	DBO ₅	mg/l	250
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	500

Sólidos suspendidos totales	SS	mg/l	220
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Potencial de hidrógeno	pH	-	6-9
Aceites y grasas	AG	mg/l	70
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/l	20

El principal objetivo del tratamiento primario es la reducción de los sólidos en suspensión (SS) del agua residual, separando o eliminando aproximadamente de 40 a 60 % de sólidos en agua. El objetivo del tratamiento secundario es la transformación o estabilización de la materia orgánica, esto es, la variación de los valores de la DBO₅ y DQO, y la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables. Con la aplicación de un tratamiento terciario se obtienen mejores rendimientos en la eliminación de la DBO₅ (entre 95 y 98 %) y SS (entre 95 y 96 %) (Jaume, 2013; Falcon, 1974). En función de los resultados obtenidos se podrá discutir para qué tipo de tratamiento sería más eficaz este filtro.

Cálculo de la eficiencia



Para valorar la eficiencia del filtro se deben precisar los siguientes términos: *eficiencia individual* y *eficiencia total*. La *eficiencia individual* es una variable dependiente de la concentración de cada parámetro en particular. La *eficiencia total* simboliza cómo disminuye globalmente la carga contaminante en el efluente; es función de todas las eficiencias individuales. La Figura 4 representa, a golpe de vista, una manera cualitativa de lo que simboliza dicha variable; su valor cuantitativo vendría dado por alguna expresión matemática como función de las *eficiencias individuales*. Sin embargo, en este trabajo nos centraremos en el análisis de las eficiencias individuales; indicador que brinda exactamente cuáles parámetros disminuyen su carga contaminante y cuáles no debido a la presencia de los materiales filtrantes.



Figura 4. Secuencia del tratamiento del agua residual (A → B → C) a medida que es tratada. Se evidencia una disminución gradual en la turbiedad y los sólidos suspendidos en el agua.

Para el cálculo de la *eficiencia individual* del filtro en relación con la concentración de cada parámetro monitoreado, excepto para pH, se aplicó la Ecuación (1):

$$E_n(C_0, C_n, t) = \left[\frac{C_0 - C_n(t)}{C_0} \right] \cdot 100 \% \quad (1)$$

Donde C_0 es la concentración inicial del parámetro enésimo en el agua residual y $C_n(t)$ es la concentración en el tiempo t del parámetro enésimo en el agua tratada.

En esta ecuación, se logra 100 % de eficiencia si el filtro elimina por completo la concentración de ese contaminante. Para el cálculo de la eficiencia de pH se aplicó la Ecuación (2), que posee la misma lógica que (1), pero aquí el éxito consiste en estabilizar el pH a su valor neutro. La *eficiencia* es una variable intensiva y adimensional, así definida ofrece ventajas a la hora de comparar distintas magnitudes con diferentes unidades:

$$E_{pH}(pH, t) = \left\langle 1 - \frac{|pH(t) - 7|}{7} \right\rangle \cdot 100 \% \quad (2)$$

Donde $pH(t)$ es el valor del pH del agua tratada en el día t .

Resultados y discusión

La Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8 muestran las gráficas de concentración del afluente para cuatro de los parámetros durante el mes de monitoreo. Sus lecturas se tomaron durante siete días equiespaciados.



Se observa una importante disminución en la turbiedad y los sólidos suspendidos en agua, como evidencia la Figura 4.

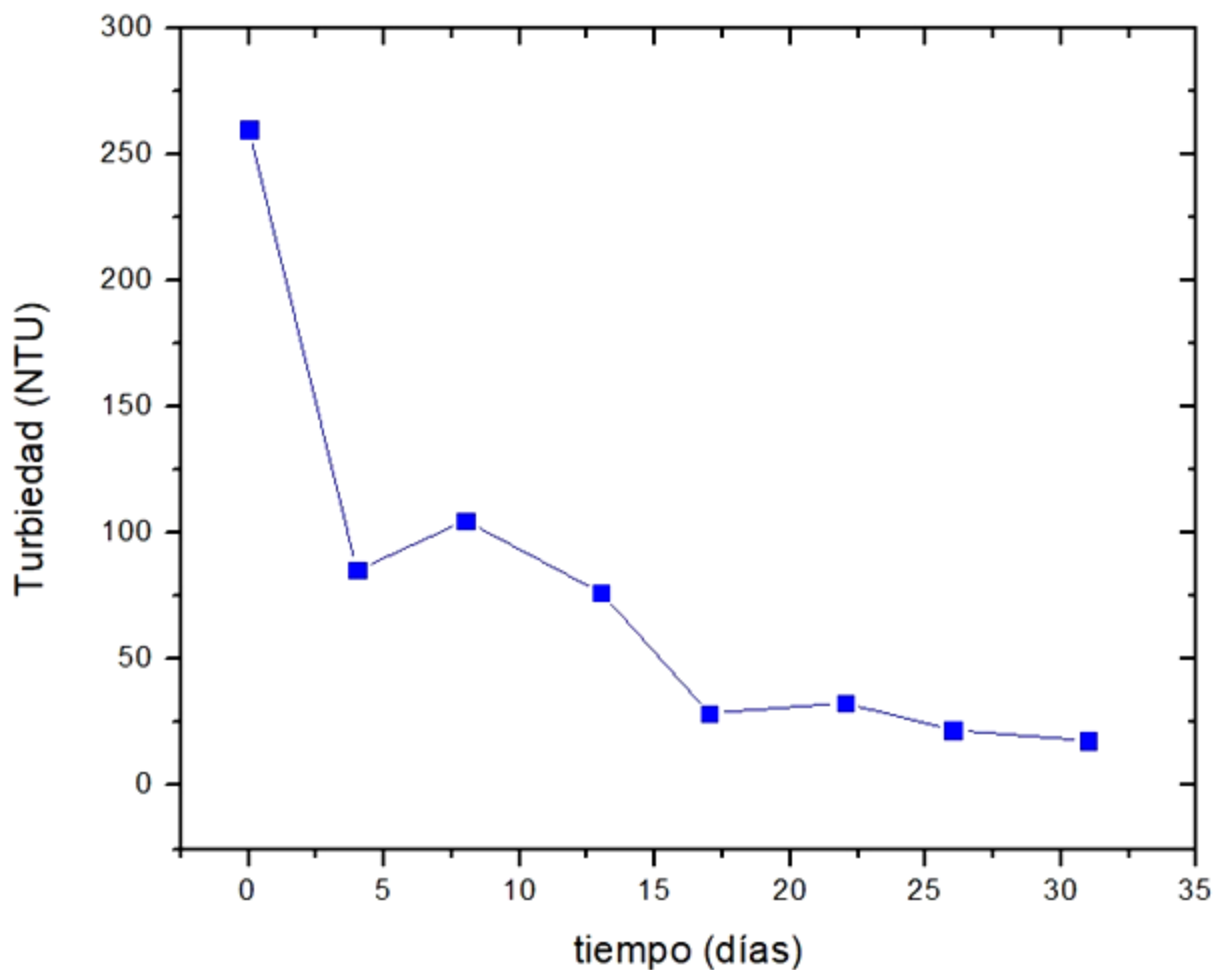


Figura 5. Gráfico de *turbiedad vs. tiempo*. La turbiedad disminuye considerablemente; este parámetro no presenta un valor límite en la norma TULSMA.

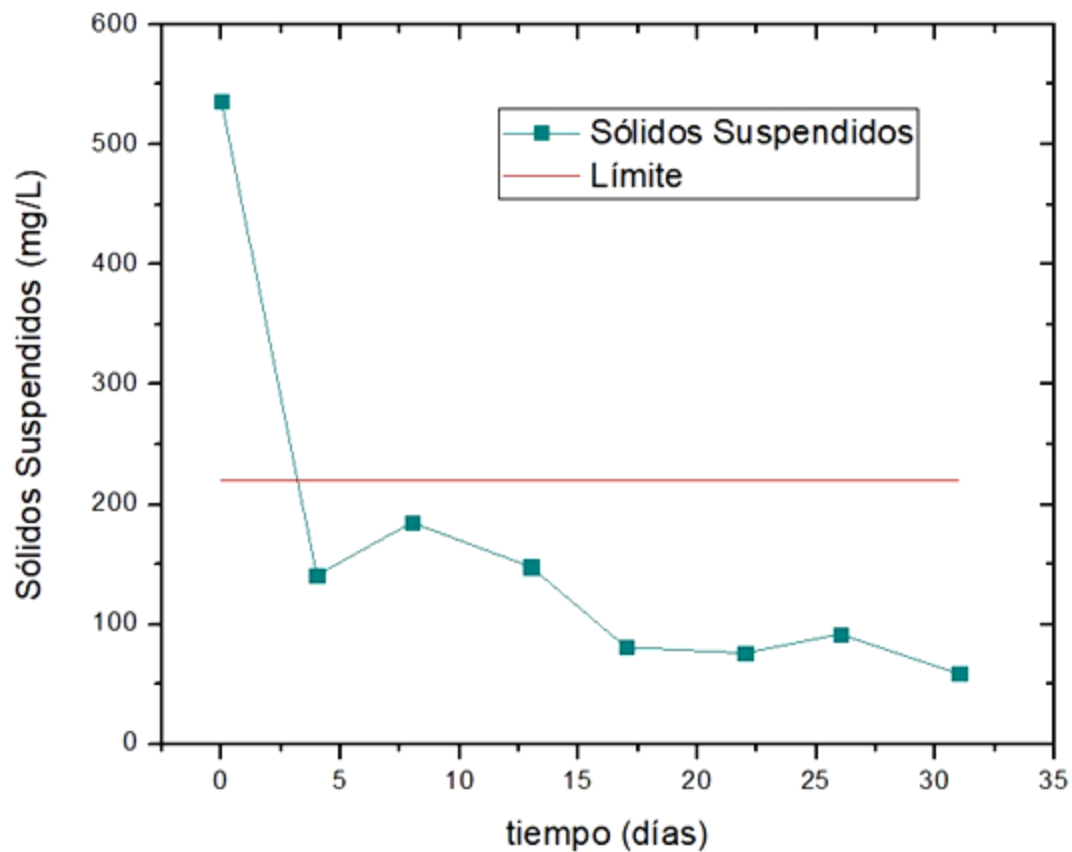


Figura 6. Gráfico de *sólidos suspendidos vs. tiempo*. Se observa una notable disminución en la concentración de SS, por debajo del valor límite, según la Tabla 1.

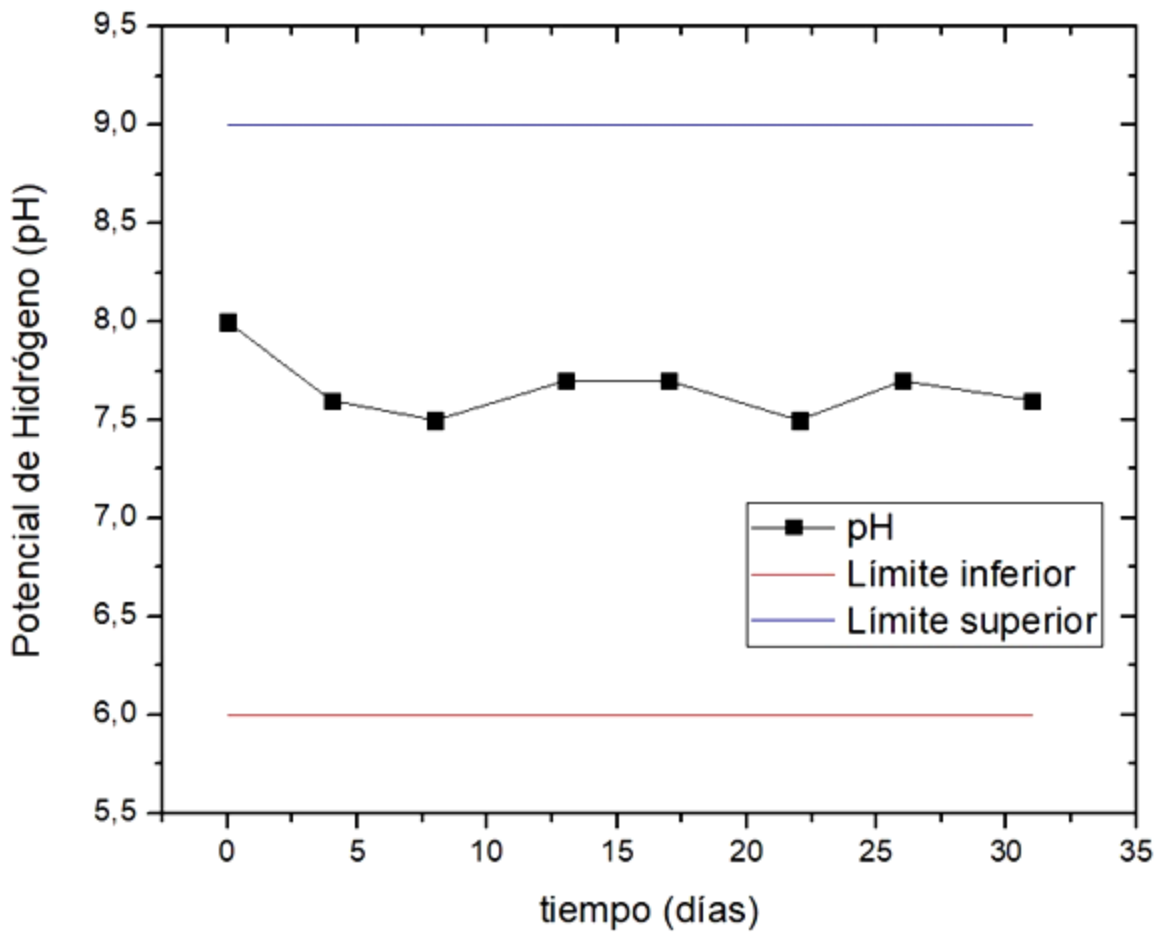


Figura 7. Gráfico de la variación del *pH* vs. *tiempo*. Se observa que la presencia del filtro contribuye a la estabilización del pH en agua residual.

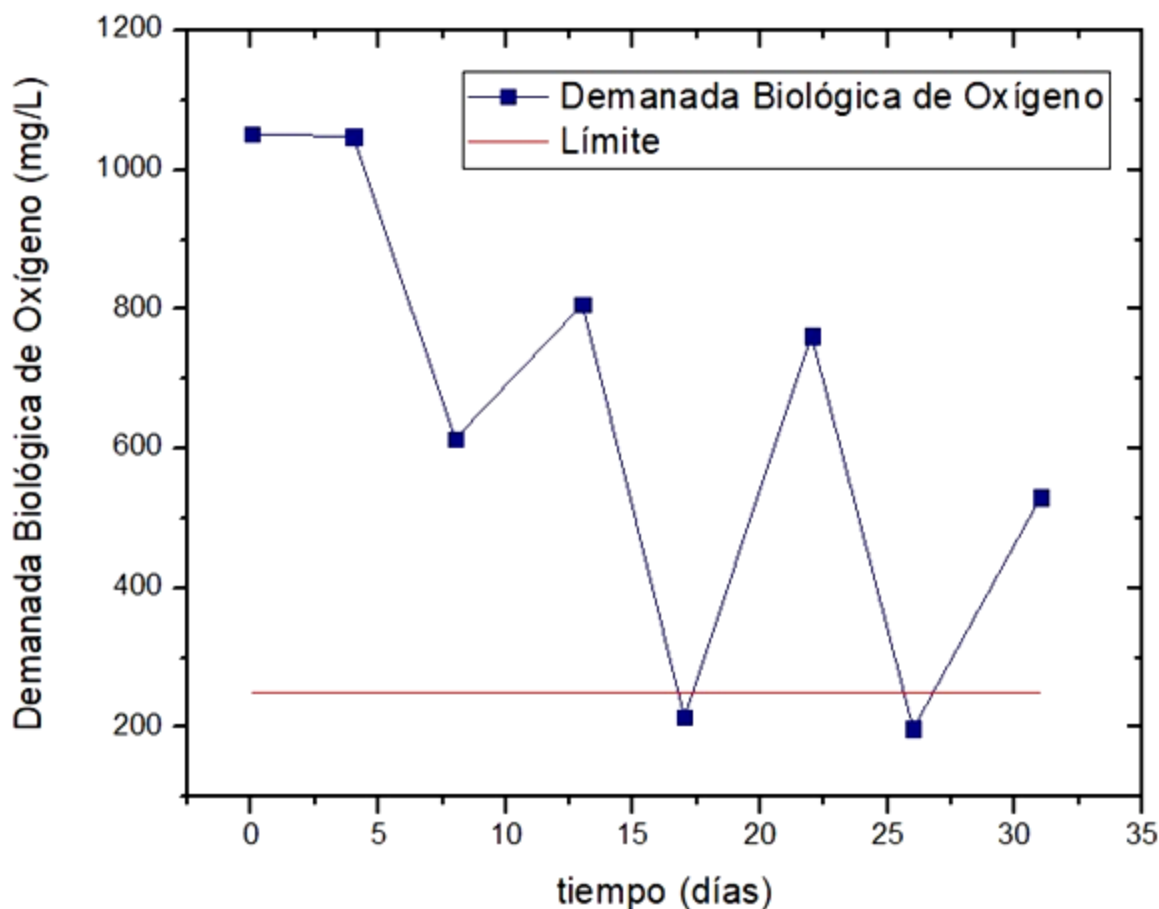


Figura 8. Gráfico de DBO_5 vs. tiempo. Si bien los valores presentan un comportamiento oscilante a medida que se repitió el experimento, se percibe una tendencia a la disminución.

La Figura 7 muestra las cantidades de pH, bien estabilizadas, conforme a los límites permitidos, según la Tabla 1. La DBO_5 , en cambio, no disminuye todo lo que exige la norma, como se aprecia en la Figura 8;

sin embargo, en todos los casos decrece respecto a su concentración inicial. La Tabla 2 arroja los valores de concentración presentes en el resto de los cuatro parámetros examinados en este estudio, ST, DQO, AG y TPH; estos sólo pudieron ser testeados dos veces durante el ciclo. En la columna tres se ha colocado el promedio entre las lecturas tomadas en la segunda y cuarta semanas que, en general, fueron muy parecidas en todos los casos. La eficiencia negativa en el último lugar indica que la concentración de sólidos totales aumentó en el agua después ser tratada; si bien no sobrepasó el límite, según la norma TULSMA.

Tabla 2. Concentraciones de ST, DQO, AG y TPH en agua residual, medidas al inicio (sin tratar), y después de la segunda y cuarta semana de tratamiento. De estas últimas se tomó el valor promedio.

Parámetro (mg/l)	Concentración inicial	Concentración final	Eficiencia (%)
TPH	228	2.8	98.7
AG	3.1	0.9	71
DQO	2 147	1 044	51.4
ST	1 049	1 186	-13*

*El aumento en la concentración de ST, pasado el tratamiento, provocó un valor negativo en la eficiencia.

Se detectó que el ligero aumento en la concentración de sólidos totales habría sido provocado por la acción del bagazo de caña de azúcar. Este material presentó el menor tiempo de vida útil con relación al resto; en unos 10 días se descomponía. Así, se recomienda sustituirlo en no más de una semana, al igual que disminuir el diámetro del tamiz. Si bien es posible colegir que esta descomposición afectó también la DBO_5 , dicho material es imprescindible para la remoción de AG y TPH, presentes en el efluente de las lavadoras de autos (Armada *et al.*, 2008). El resto de los materiales, al día 31 de trabajo se encontraban en perfecto estado, como se infiere de la Figura 9. Es importante subrayar que el orden en los materiales filtrantes, como se observa en la Figura 1A, se escogió a partir de los tiempos de retención en cada uno de ellos, en orden decreciente. Los tiempos no distaron mucho unos de otros, si bien se tomó este criterio durante las mediciones de *prepruebas* hechas en el diseño experimental; desde 1 min 30 s el primero hasta 45 s el último. Por lo que en cada corrida o *posprueba* —desde el compartimento superior hasta el inferior— el agua no demoró más de 5 min en descender completamente. Los experimentos han arrojado de forma manifiesta un cambio visible en la concentración de varios parámetros después de que el agua residual es tratada. Tales resultados se exhiben en la Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8, junto con la Tabla 2; por lo tanto, la hipótesis nula H_0 queda rechazada y se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

En la Figura 9 y la Tabla 2 también queda clara la importancia de una magnitud como la *eficiencia individual*, pues es una variable intensiva y



adimensional, que permite comparar fácilmente el comportamiento de distintas magnitudes fisicoquímicas con diferentes unidades. En la inmensa mayoría fueron valores positivos; esto significa que siempre hubo remoción de contaminantes presentes en el líquido, por lo que la *eficiencia total* del filtro se puede catalogar como *alta*. Entonces, al aceptar H_1 , se concluye que no sólo se modifica la calidad del efluente sino también se puede afirmar que se mejora.

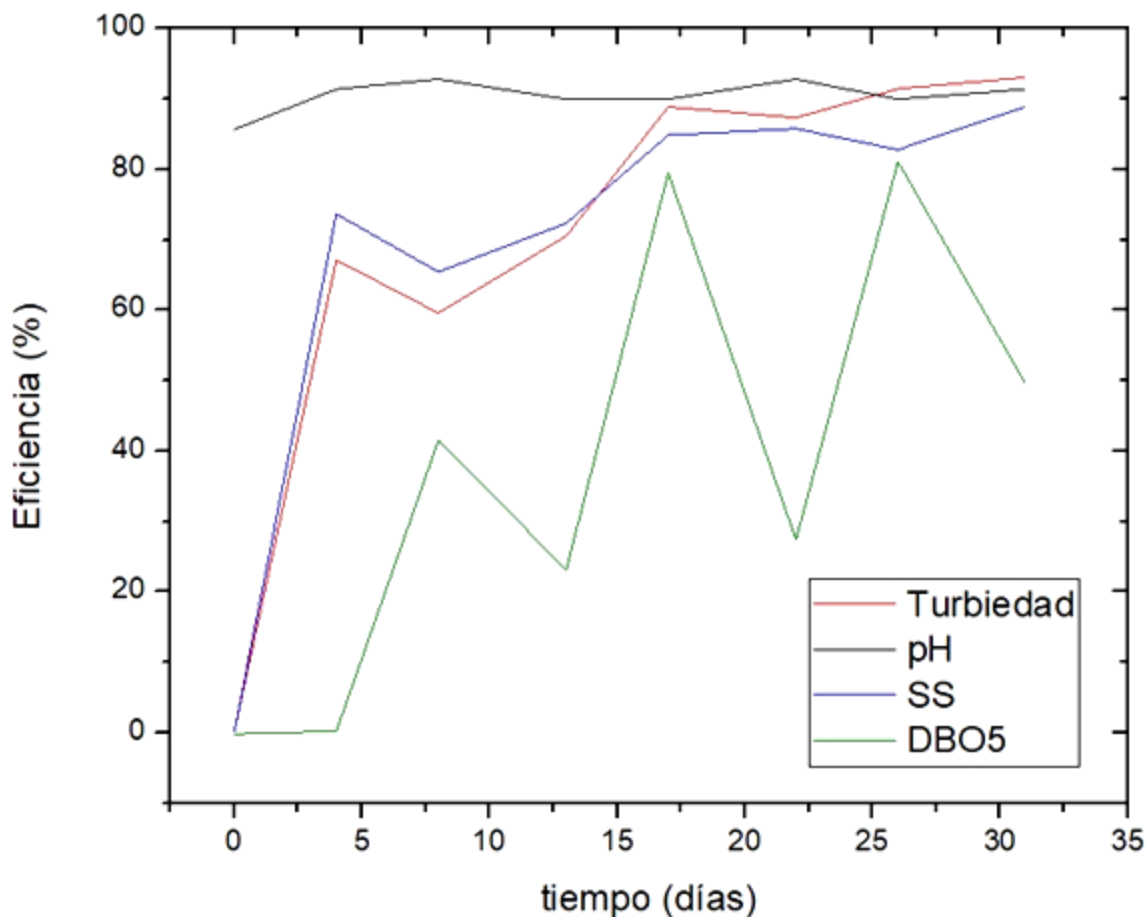


Figura 9. Gráfico de *eficiencia vs. tiempo*, correspondiente a los parámetros medidos: T, pH, SS y DBO₅.

La Figura 9 revela la eficiencia del filtro con relación a T, pH, SS y DBO₅. Son notables los altos valores, especialmente en pH, T y SS. Se puede ver que después de un mes los materiales rinden muy bien —excepto el bagazo—, como se explicó. Por lo que, teniendo en cuenta,

a su vez, la Tabla 2, donde el TPH y AG son altamente controlados, se puede indicar que el filtro es propicio para los tratamientos primarios de aguas residuales. Si bien no disminuye todo lo deseado la concentración de la DQO y DBO₅, el porcentaje de remoción que experimentan dichos parámetros están dentro de los estándares de disminución que enuncia un tratamiento primario de aguas residuales (Jaume, 2013).

Conclusiones

Se diseñó y construyó un filtro para el tratamiento de aguas residuales a base de materiales artesanales de relativa fácil obtención, si se compara con otros trabajos (Daneshyar & Ghaedi, 2015; El-Ashtoukhy *et al.*, 2015). A su vez, es importante resaltar el largo tiempo de vida útil que presentan los mismos, lo cual rebajaría el costo de mantenimiento por remplazo. Exceptuando el bagazo de caña, se estimaron más tres meses de uso eficiente.

Se comprobó el alto grado de eficiencia del filtro en la remoción de varios parámetros, como turbiedad, sólidos suspendidos totales e

hidrocarburos totales de petróleo. Los niveles de pH en agua residual se estabilizaron satisfactoriamente, como se muestra en la Figura 7.

Los niveles de DBO₅ y DQO en agua no disminuyeron eficazmente, aunque el porcentaje de remoción que experimentaron ambas (alrededor de un 50 %) está dentro de los estándares de disminución que enuncia un tratamiento primario de aguas residuales.

Este filtro, diseñado y construido con los materiales señalados, se recomienda se utilice en tratamientos primarios de aguas residuales; si bien se ha comprobado que disminuye la carga contaminante en varios parámetros, en algunos no cumplió con el límite establecido en la norma TULSMA para verter en el alcantarillado público.

Referencias

- Aly, O. H. (2015). A new development of wastewater treatment unit for paint shop in vehicle industry. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.741.8870&rep=rep1&type=pdf>
- Armada, A., Barquinero, E., & Capote, E. (2008). Empleo del bagazo como material absorbente en derrames de petróleo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 42(1-3), 96-100.



- Berekaa, M. (2016). Nanotechnology in wastewater treatment; influence of nanomaterials on microbial systems. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(1), 713-726. Recuperado de <http://www.ijcmas.com/5-1-2016/Mahmoud%20M.%20Berekaa.pdf>
- Caldera, Y., Rodríguez, Y., Oñate, H., Prato, J., & Gutiérrez, E. (2011). Eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de baja turbidez asociadas a la producción de petróleo. *Revista Tecnocientífica URU*. Recuperado de <http://www.uru.edu/fondoeditorial/revista/pdf/rtcun1-resumenes/Eficiencia%20del%20quitosano%20como%20coagulante.pdf>
- Celis, M. H. (enero, 2014). Ensayos preliminares para el empleo de arcillas como material filtrante de aguas contaminadas con pesticidas de olivar. *Macla*, (18), 70-72. Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/115909/4/Ensayos_preliminares_empleo_arcillas.pdf
- Daneshyar, A., & Ghaedi, M. (2015). Application of microfiltration membrane for treatment of car wash effluent by Taguchi method prediction. *Iranian Journal of Environmental Technology*. Recuperado de http://ijet.ui.ac.ir/article_15586_19736a545b592b6d66f996352e8a3e5a.pdf

- El-Ashtoukhy, E.-S. Z., Amin, N. K., & Fouad, Y. O. (2015). Treatment of real wastewater produced from Mobil car wash station using electrocoagulation technique. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1(1), 1-11. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1007/s10661-015-4836-4>
- Falcon, C. (1974). *Manual de tratamiento de aguas negras* (4ª ed.). México, DF, México: Limusa.
- Guamán, A., Guamán, M., & Álvarez, C. (2016). Aplicación del principio de electrocoagulación en el tratamiento del agua residual textil. *Delos, Desarrollo Local Sostenible*, 9(26), 2-14. Recuperado de <http://www.eumed.net/rev/delos/26/electrocoagulacion.html>
- Guamán, R. (2014). *Gestión ambiental en la empresa Lavandería y Tintorería de Jeans Mundo Color y su incidencia en el recurso agua* (tesis de Maestría de Seguridad e Higiene Industrial y Ambiental), Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- González, A., Martín, A., & Figueroa, R. (2018). *Tecnologías de tratamiento y desinfección de agua para uso y consumo humano*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de https://nanopdf.com/download/tecnologias-de-tratamiento-y-desinfeccion-de_pdf
- Jaume, A. T. (2013). *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas* (2ª ed.). Alicante, España: Editorial Universidad de Alicante.

- León, M., & Lucero, A. M. (2008). *Estudio Eichhornia crassipes, Azolla filiculoides y Lemna gibba, en el tratamiento de aguas residuales domésticas aplicando a sistemas unifamiliares y comunitarios en el cantón Cotacachi-Ecuador* (tesis de Ingeniería, Programa de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables), Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Otavalo Ecuador.
- Loos, R., Carvalho, R., Antonio, D., Comero, S., Locoro, G., Tavazzi, S., Paracchini, B., Ghiani, M., Lettieri, T., Blaha, L., Jarosova, B., Voorspoels, S., Servaes, K., Haglund, P., Fick, J., & Lindberg, R. (2013). EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *SciVerse Science Direct*, 47(2013), 6475-6487. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Robert_Loos/publication/257349328_EU-wide_monitoring_survey_on_emerging_polar_organic_contaminants_in_Wastewater_treatment_plant_effluents/links/02e7e527c9a6e393f4000000.pdf
- Malakootian, M., Toolabi, A., Derakhshan, Z., & Taghi, M. (2016). Efficiency of coagulation and flocculation process combined with chemical sequestration in removal of organic and inorganic contaminants from automotive industry sewage. *Journal of*

- Community Health*, 5(3), 182-194. Recuperado de <http://jhr.ssu.ac.ir/article-1-299-en.pdf>
- Qu, X., Alvarez, P., & Li, Q. (2013). Applications of Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment. *Water Research*, 1(1), 1-42. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Xiaolei_Qu/publication/236187526_Applications_of_nanotechnology_in_water_and_wastewater_treatment/links/00b7d52707309513f8000000.pdf
- Radin-Mohamed, M. S., Nadira-Kutty, M. A., & Amir-Kassim, H. M. (2014). Efficiency of using commercial and natural coagulants in treating car wash. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(16), 227-234. Recuperado de http://eprints.uthm.edu.my/6209/1/AJBAS_Nat_and_Chem_Coagulants_for_Car_Wash_WW_227-234.pdf
- Veintimilla, P. (2014). *Innovación e implementación biológica en la planta de Puerto Arturo – EMAPA-A para el tratamiento de aguas residuales industriales y aguas servidas domiciliarias* (tesis de Ingeniería, Programa de Ingeniería Bioquímica), Carrera de Ingeniería Bioquímica, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.