

Alternativas de procesos de coagulación para el tratamiento de aguas residuales, Hospital Docente de Calderón, Ecuador

Alternatives of coagulation processes for the treatment of hospital wastewater, Teaching Hospital of Calderon, Ecuador

Diana Fabara¹, Jessica Jasmín Arias Acurio², Paola Alexandra Monge Franco³, Rubio Damián Jara Jonathan³, Gabriela Teresa Tacán Pérez³, Erick Alexander Tapia Lara³, Christian Alexey Torres Estupiñán³

Resumen

Dada la problemática ambiental generada por la presencia de microorganismos patógenos y turbidez del efluente en aguas residuales hospitalarias se lleva a cabo la presente investigación con la finalidad de comparar la efectividad del cloruro férrico y del sulfato ferroso, como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales del Hospital Docente de Calderón, Ecuador, haciendo uso de una variación de pH para el caso del cloruro férrico. El estudio se realizó tomando en cuenta parámetros de DQO, DBO y turbidez para determinar el grado de contaminación presente en el agua residual y agua tratada. El agua residual presenta 533,33mg/L de DQO, 235 mg/L de DBO y 35 NTU de turbidez por lo cual se seleccionó un tratamiento secundario fisicoquímico con procesos de coagulación.

Los porcentajes de reducción de DQO con FeCl₃ fue de 66.24%, con FeSO₄ de 49.37% y FeCl₃+FeSO₄ de 56.68%, mientras que la reducción total de la Turbidez con FeCl₃ fue del 89.28%, FeSO₄ del 86.06% y FeCl₃+FeSO₄ del 87.64%. Obteniendo los mejores resultados con el coagulante FeCl₃ que provoca una remoción del 79.37% de la DQO.

Palabras clave: Coagulantes, DBO, DQO, aguas residuales hospitalarias, Turbidez.

Abstract

Given the environmental problems generated by the presence of pathogenic microorganisms and turbidity of the effluent in hospital wastewater, the present investigation is carried out with the purpose of comparing the effectiveness of ferric chloride and ferrous sulfate as coagulants in the treatment of wastewater. of the Teaching Hospital of Calderón, Ecuador, making use of a variation of pH for the case of ferric chloride. The study was taken taking into account parameters of COD, BOD and turbidity to determine the degree of contamination present in the wastewater and treated water. The wastewater presents 533.33 mg/L of COD, 235 mg/L of BOD and 35 NTU of turbidity, so a secondary physical-chemical treatment with coagulation processes was selected.

The percentages of COD reduction with FeCl₃ were 66.24%, with FeSO₄ of 49.37% and FeCl₃ + FeSO₄ of 56.68%, while the total reduction of turbidity with FeCl₃ was 89.28%, FeSO₄ of 86.06% and FeCl₃ + FeSO₄ of the 87.64%. Obtaining the best results with the coagulant FeCl₃ that causes a removal of 79.37% of the COD.

Key words: Coagulants, BOD, COD, hospital wastewater, Turbidity.

1 Msc. Universidad Central del Ecuador, Quito Ecuador. Email: dkfabara@uce.edu.ec

2 Docente Universidad Central del Ecuador, Quito Ecuador

3 Estudiante Ing. Ambiental, Universidad Central del Ecuador, Quito Ecuador.



Introducción

Los problemas asociados a las aguas residuales generadas en centros de salud han sido motivo de preocupación internacional debido al peligro de una potencial propagación de enfermedades y a los riesgos ambientales derivados de la ausencia de tratamientos adecuados. (1) Si bien en el Ecuador existe legislación que regula la eliminación de residuos líquidos hacia acueductos de alcantarillado, la misma no se da cumplimiento en la mayoría de los hospitales, ya sea por falta de conocimiento o de interés por parte de las autoridades. (2) En las aguas residuales hospitalarias se pueden encontrar contaminantes emergentes y recalcitrantes. Los contaminantes emergentes comprenden una amplia gama de compuestos químicos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal y agentes tensoactivos (3). Los contaminantes recalcitrantes por lo contrario son aquellos que, por tener una estructura muy estable químicamente, se resisten al ataque de los microorganismos o de cualquier mecanismo de degradación sea biológico o químico (4).

Los tratamientos convencionales, generalmente biológicos, usados en las plantas de tratamiento no son capaces de eliminar contaminantes de origen hospitalario (5). Para el tratamiento de aguas residuales, es habitual someter estas a un tratamiento físico químico previo a su descarga a la red de alcantarillado o a los receptores, siendo el más utilizado la coagulación; la eficacia de las operaciones posteriores de tratamiento depende del éxito de este proceso (6). Dentro del proceso de coagulación se destaca la utilización de coagulantes férricos debido a diversas ventajas que presentan. Por ejemplo, el sulfato ferroso forma un floc más pesado y tiene una velocidad de sedimentación rápida (7). El cloruro férrico en cambio se destaca por su efectividad en amplios rangos de pH y temperatura, además que genera iones trivalentes de mayor peso molecular, esenciales para el proceso de coagulación (8). El pH es una de las variables más importantes en la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo en el cual la coagulación se da más rápidamente. El rango de pH tiene una relación directa con la cantidad de coagulante a utilizar, es decir que

si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto, la dosis requerida es mayor (9).

El objetivo de la presente investigación fue comparar la efectividad del cloruro férrico y la del sulfato ferroso (proceso Fenton), como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales del Hospital Docente de Calderón, haciendo uso de una variación de pH para el caso del cloruro férrico y determinar la posible necesidad de tratamiento terciario.

Material y métodos

Muestreo: Se realizó un muestreo puntual con relación a la calidad del agua en el tiempo y en el lugar en que fueron tomadas. Hay que resaltar que este muestreo parte de un tanque homogeneizador, de un pequeño reservorio en donde la muestra ya estaba previamente homogeneizada. Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros determinados en este artículo se tomó como referencia la Norma Oficial Ecuatoriana, razón por la cual se deberán aplicar los métodos establecidos en el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", en su más reciente edición, en cuanto al manejo y disposición de las muestras se consideró la siguiente norma: Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN): Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras. En cuanto al muestro que se realizó en el lugar se tomó en consideración la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo puntual.

Se tomaron muestras aleatoriamente a la salida del desfogue de la tubería de la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del Hospital de Docente de Calderón, además cabe resaltar que este efluente descarga aguas con alta carga microbiana y un alto índice de turbidez; razón por la cual se realizó la medición de parámetros como: turbidez, pH, DQO, obtención de rangos óptimos para los procesos de coagulación, antes y después del tratamiento previo

de estas aguas hospitalarias, para esto se tomó como referencia los estándares establecidos por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. (1984). NTE INEN 0971 Efluente de Agua Residual para la determinación de la turbiedad y otros parámetros.

Sistema experimental. Evaluación del tren de tratamiento. Se tomaron muestras por triplicado en cada punto del tren de tratamiento: la obtención de rangos óptimos con los diferentes

coagulantes, la obtención del clarificado. Los parámetros medidos fueron: pH, turbidez y DQO.

El proceso de floculación - coagulación se utilizó para la obtención de dosis óptima de FeCl3 y oxidación Fenton con FeSO4; y la medición de la DQO del proceso más eficiente. Para esto se consideró la siguiente tabla para la medición de parámetros y el respectivo método utilizado:

Tabla 1. *Indicadores propuestos para la medición del efluente a examinar*

PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPO
DQO	Método reflujó cerrado espectofotometría	Espectofotómetro Hach modelo DR 4500. Digestor tecno.
DBO	Método respirométrico	Equipo oxitop / incubadora 20°C
PH	Método potenciométrico	Medidor de parámetros múltiples con doble entrada marca Hach modelo HQ40d.
TURBIDEZ	Método por nefelometría	Turbidímetro Hach modelo RATIO/ XR

Determinación proceso de rangos óptimos (coagulación). Durante los ensayos de simulación (prueba de jarras) se procedió a la determinación de turbiedad y pH, se realizó según los métodos normalizados del APHA/AWWA/WPCP número 2130, 2120 y 4 respectivamente. (10).

Mediante ensayos previos se preparó diferentes soluciones patrones de cloruro férrico a concentraciones de 400, 300, 200, 100 ppm variando el pH (3, 5 ,7) tomando

como fundamentos los criterios de diseño de mezclado rápidos, esto se realizó con el fin de obtener rangos óptimos en diferentes pH y tomando aquellos en los cuales cuyas concentraciones eran apropiadas para obtener un clarificado con menor turbidez posible lo cual era un indicio para determinar que concentración y a que pH nos va a dar teóricamente un valor de DQO menor al de la salida del desfogue de la tubería de la descarga del efluente de la planta de tratamiento. (10).

Tabla 2. *Pruebas de coagulación – floculación usados para la obtención de rangos óptimos*

COAGULANTE	CONCENTRACIÓN (PPM)	PH
FECL3	400-300-200-100	3
FECL3	400-300-200-100	4
FECL3	400-300-200-100	5
FECL3	400-300-200-100	7

Determinación de la DQO. Para la determinación de la DQO se llevó a cabo con el método de reflujó cerrado por espectrofotometría (11); además se empleó el método de determinación

DQO de acuerdo con los requerimientos de la norma NTC/ISO/IEC 17025, y se realizó el proceso según la normalización del fabricante con una modificación: se utilizaron tubos con

reactivos preparados por la compañía Hatch en lugar de prepararlos como lo dicta la técnica. (12).

Determinación de la DBO₅. Para la determinación de la DBO₅ se realizó de acuerdo con los requerimientos de la norma NTC/ISO/IEC 17025. Este método apoya la mayoría de los protocolos y guías establecidas por la Organización Europea para la cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) que requieren mediciones del consumo de oxígeno (12).

Resultados

El estudio se realizó para una muestra de agua residual hospitalaria con una DQO de 533.33 mg/L, Turbidez de 29.2 NTU, DBO de 235 y un pH de 7.03

Los resultados de la determinación de dosis óptima para el caso del tratamiento de oxidación Fenton con sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno arrojaron los siguientes resultados.

Tabla 3. Resultados de la turbidez en función de las distintas concentraciones en pH 4 del tratamiento Fenton.

COAGULANTE	PH	CONCENTRACIÓN (PPM)	TURBIDEZ (NTU)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
FENTON (SULFATO FERROSO+ H2O2)	4	100	9,51	3
		200	7,84	4
		300	5,44	4
		550	4,04	6
		600	3,50	13
		650	8,18	4
		800	11,69	4

La reducción de la Turbidez es del 88 % de 29.2 a 3.5 NTU estos valores se consiguen con 600 ppm de sulfato ferroso.

Para la determinación de los rangos óptimos con cloruro férrico se realizó distintas concentraciones del coagulante obteniéndose la siguiente tabla.

Tabla 4. Resultados de la turbidez en función de las distintas concentraciones en pH 4 del Tratamiento con Cloruro Férrico.

COAGULANTE	PH	CONCENTRACIÓN (PPM)	TURBIDEZ (NTU)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
CLORURO FÉRRICO	4	100	9,22	1,00
		200	3,37	1,00
		300	2,69	5,00
		400	8,49	1,00

Se realizó una prueba híbrida con los dos mejores resultados obtenidos de las Tablas 3 y 4. La cual arrojó los siguientes datos:

Tabla 5. Resultados de la turbidez en función de las concentraciones de mayor disminución en pH 4 del tratamiento Híbrido Fenton+FeCl₃.

COAGULANTE	PH	CONCENTRACIÓN (PPM)	TURBIDEZ (NTU)
CLORURO FÉRRICO + FENTON	4	3 A 7	3,10

Una vez obtenida la concentración a la cual se dio la mayor disminución en la turbidez del agua residual se procedió a realizar una medición de la demanda química de oxígeno

a fin de conocer cuáles fueron los resultados brindados por el proceso de coagulación en el tratamiento del agua a nivel de sólidos suspendidos.

Tabla 6. *Resultados de la Demanda Química de Oxígeno en función de los distintos coagulantes en pH 4.*

COAGULANTE	PH	CONCENTRACIÓN (PPM)	DQO (MG/L)
CLORURO FÉRRICO + FENTON	4	500	231
CLORURO FÉRRICO FENTON		300	180
		600	270

Los resultados arrojados indicaron una mayor efectividad en la reacción del cloruro Férrico en una concentración de 300 ppm, logrando disminuir en un 66% la DQO inicial del

agua. Se realizó la evaluación del Cloruro Férrico a distintos pH arrojando los siguientes resultados.

Tabla 7. *Resultados de la turbidez al adicionar distintas concentraciones de Cloruro Férrico a pH 3, 4, 5 y 7.*

PH	CLORURO FÉRRICO (PPM)	TURBIDEZ (NTU)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
3	100	1,45	8
	200	2,57	6
	300	0,41	9
	400	0,65	8
	500	1,20	8
	600	2,50	8
4	100	9,22	1
	200	3,37	1
	300	2,69	5
	400	8,49	1
5	100	12,82	5
	200	3,48	7
	300	1,43	7
	400	0,92	5
	500	2,16	3
	600	3,25	4
7	50	39,64	1
	300	13,93	4
	400	8,51	3
	500	5,37	2
	600	4,89	4
	700	9,37	3
		1000	383,33

En la presente tabla se logra notar como incide positivamente la disminución del pH en la reducción de la turbidez del agua residual.

Con los valores obtenidos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la FIGEMPA se obtiene el siguiente gráfico.

Concentración vs Turbidez

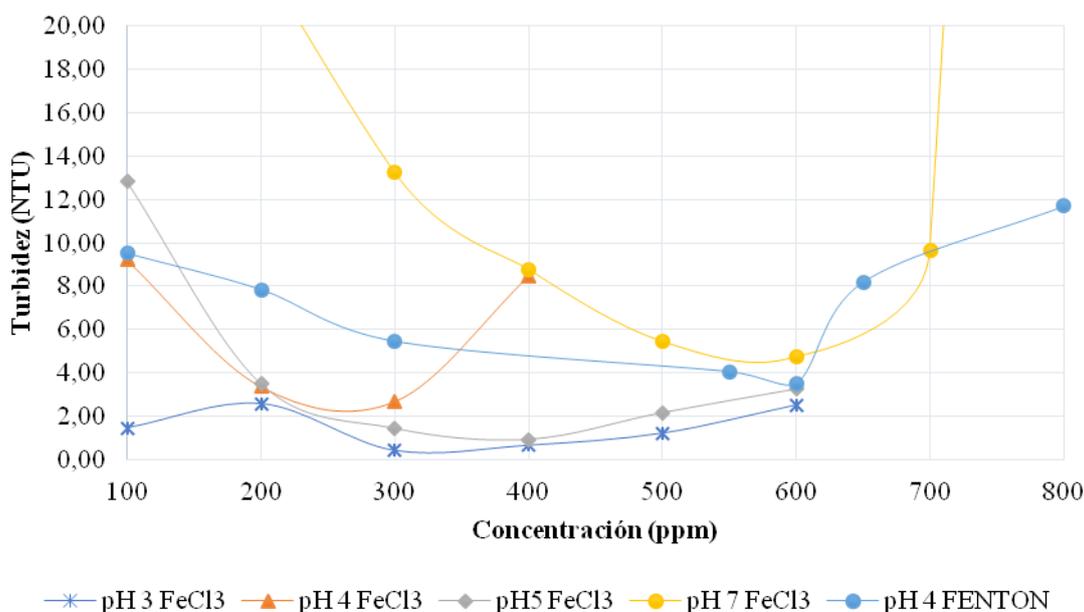


Gráfico 1. Superposición de las curvas obtenidas de las concentraciones experimentadas y su turbidez. Fuente: Análisis de pruebas de laboratorio, 2018

Como se puede observar los valores más bajos de turbidez los presenta las pruebas de Cloruro Férrico a pH 3, seguido por la curva de Cloruro Férrico a pH 5. Con los valores de

concentración a los cuales la turbidez tuvo una disminución mayor se realizó los análisis para la determinación de la Demanda Química de oxígeno.

Tabla 8. Resultados de la Demanda Química de Oxígeno en función de los distintos pH 's con Cloruro Férrico.

COAGULANTE	PH	CLORURO FÉRRICO (PPM)	DQO (MG/L)
CLORURO FÉRRICO	3	300	215,00
	4	300	180,00
	5	400	268
	7	300	242

La evaluación de la DQO a distintos pH nos demuestra que el Cloruro Férrico alcanza su mayor eliminación y captación de contaminante a pH 3, específicamente a una concentración de 300 ppm, logrando cumplir con la normativa TULSMA para la descarga de efluentes en una alcantarilla.

Discusión de resultados

Caracterización de las muestras hospitalarias.

Las características fisicoquímicas de las muestras hospitalarias presentaron los siguientes parámetros:

Tabla 9. *Caracterización de muestras de estudio.*

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
		1	2	3
TEMPERATURA	°C	16	17	16
PH		6,8	7	7,3
TURBIDEZ	NTU	25,1	24,89	25,3
DQO	MG/L		533,33	

La determinación de dosis para cada uno de los coagulantes permitió realizar una comparación entre los mismos. En este sentido se dosificaron coagulantes en concentraciones de 100 en 100 ppm, hasta lograr encontrar sus curvas características. Los resultados obtenidos demostraron que las mejores dosificaciones

para los coagulantes utilizados en cada una de las pruebas fueron dosis entre 300 y 600 ppm por lo cual se realizó la selección de la dosis íntegra tanto para el Cloruro Férrico como para el Sulfato Ferroso, 300 ppm y 600 ppm respectivamente.

Tabla 10. *Porcentajes de remoción de DQO y Turbidez.*

COAGULANTES	DOSIS ÓPTIMA INTEGRAL (PPM)	PARÁMETRO REDUCIDO	
		DQO	TURBIDEZ
FECL3	300	66,24%	89,28%
FESO4	600	49,37%	86,06%
FECL3+ FESO4	500	56,68%	87,64%

Acorde a la tabla 9 se reveló una reducción del 89.28% en la turbidez del agua juntamente con un 66.24% de reducción en valores de DQO por medio de un proceso fisicoquímico con FeCl₃, mientras que los valores obtenidos mediante un tratamiento con FeSO₄ (Fenton), mostraron una disminución del 86,06% y un 49.37% tanto para Turbidez como DQO respectivamente, y en cuanto al tratamiento por medio del híbrido se obtuvieron disminuciones del 56.68% de DQO y 87.64% de turbidez.

La eficiencia en la remoción de DQO por medio de ambos tratamientos con los coagulantes, literariamente se ha señalado que el FeCl₃ ha tenido mejores resultados para tratamientos de aguas residuales según lo señalado por (13) y cómo lo han demostrado los resultados obtenidos mediante la investigación. Sin embargo, estos difieren en parte con los resultados logrados por (13) quienes

obtuvieron dosis óptimas de FeSO₄ para una remoción del 13.7% de DQO partiendo de un pH 6, por otro lado, obtuvieron una eficiencia de remoción del 67.3% de DQO por medio de un tratamiento con FeCl₃

Los resultados alcanzados determinaron que el coagulante FeCl₃ tiene una eficiencia superior al 16.87% con respecto al FeSO₄, lo cual concuerda con los valores obtenidos por (13) con una supremacía del FeCl₃ del 53.6% sobre FeSO₄ lo que lo hace 5 veces más eficiente. Estos valores van acorde a las características de cada agua residual a tratar.

De acuerdo con los datos establecidos en la tabla 10 se determinó que el FeCl₃ tubo mejores resultado a pH 3, presentando una turbidez de 0.41 NTU a una concentración de 300 ppm con un coeficiente de variación de 9%.

Valores que se encuentran dentro de los límites permisibles para descargas al sistema de alcantarillado establecidos por la TULSMA.

Estos valores son de gran importancia debido a que mediante los mismos se pudieron descartar los tratamientos con los coagulantes FeSO₄ e híbrido por efecto de que los resultados no justifican una gran eficiencia con respecto al FeCl₃.

Conclusiones.

Se determinó los valores de turbidez de 35 NTU valor inicial y en función de los diferentes coagulantes en un (pH 4) de 3,5 NTU con Fenton, en una concentración óptima de 600 ppm; en el Cloruro Férrico de 2,69 NTU, con una concentración de 300 ppm y al final se utilizó un tratamiento híbrido Fenton+FeCl₃, en concentraciones de 3 a 7 ppm, consiguiendo una turbidez de 3,1 NTU. Se analizó que dio mejores resultados y eficiencia en la disminución de turbidez, utilizando el coagulante Cloruro Férrico.

Se determinó los valores de la DQO de 533 mg O₂/L valor inicial y en función de los distintos coagulantes, en un pH 4 de (270 mg O₂/L con Fenton, 180 mg O₂/L con Cloruro Férrico y 231 mg O₂/L con tratamiento Híbrido Fenton+FeCl₃).

Se identificó que el tratamiento más eficiente fue utilizando Cloruro Férrico, que con respecto a su valor inicial de DQO, representa una reducción del 66%, cumpliendo con la normativa TULAS para la descarga de efluentes en una alcantarilla.

Se procedió a realizar la evaluación del Cloruro Férrico a distintos pH (3,4, 5 y 7) y se obtuvo que aun pH 3 da los mejores resultados en la reducción de la turbidez, obteniendo un valor de 0,41 NTU, con una concentración de 300 ppm y en el análisis de la DQO se obtuvo mejores resultados en un pH 4, que dio un valor de 180 mg O₂/L, con una concentración de 300ppm.

Referencias bibliográficas

- [1]. Ferrerira, A., Moschem, T., Olinto, M., Silva, M., Genro, M., Bendati, M., & R, R. (2000). Gestao de efluentes de serviços de saúde em Porto Alegre. Porto Alegre, Brasil.
- [2]. León, M. (2015). Caracterización físico química, biológica y ecotoxicológica del agua residual de un hospital de la ciudad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- [3]. Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas,. Producción más limpia.
- [4]. Cervantes, F. (2008). Reconoce la AMC al líder del proyecto que estudia catalizadores para acelerar la degradación de contaminantes en acuíferos. Academia Mexicana de Ciencias.
- [5]. Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., & Barceló, D. (2010). Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options.
- [6]. Aguilar, Sáenz, Llloréns, Solery Ortuño, 2002
- [7]. Osorno, H. (2009). Evaluación del Proceso de Coagulación – Floculación de una planta de tratamiento de agua potable.

- [8]. Zerbato, M. (2009). Cloruro férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua. Universidad Nacional de la Plata.
- [9]. Soto, J. (2016). Rango de pH óptimo de floculantes. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/306566380/Rango-de-Ph-Optimo-de-Floculantes>
- [10]. Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua, Editorial Mc Graw Hill. 2000.
- [11]. Cervantes, F. (2008). Reconoce la AMC al líder del proyecto que estudia catalizadores para acelerar la degradación de contaminantes en acuíferos. Academia Mexicana de Ciencias.
- [12]. A.Leon , standard methods for the examination of the water and wastewater, Apha,Awwa, wef. 20th edition. 1998
- [13]. Nájera, 2009
- [14]. Alvarino, M. C. (2008). Aguas residuales generadas. En M. C. Alvarino, Aguas residuales generadas (pág. 6). Cuba: INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL. Obtenido de <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S201A.pdf>
- [15]. Flaten, T. P. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. En BRAIN RESEARCH BULLETIN (págs. 187-196). Trondheim, Norway: Department of Chemistry, Norwegian University of Science and Technology.
- [16]. Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- [17]. (2003). LIBRO VI De La Calidad Ambiental Ecuatoriana, Anexo No. 1 "Norma de descargas Líquidas a cuerpos de Agua o Al Sistema de Alcantarillado Sanitario", Ecuador, Quito
- [18]. Menéndez Gutiérrez, C., & Pérez Olmo, J. M. (2007). Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. La Habana: Universitaria.
- [19]. Metcalf, & Eddy, I. (1998). Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales (Vol. Tercera edición). Madrid: Labor, S.A.
- [20]. LUGO, Ingrid; MALAVER, Carolina; ROJAS, Astrid. Diseño de una planta potabilización utilizando coagulantes naturales y energías alternativas. Proyecto de investigación (tesis de pregrado). Universidad Manuela Beltrán. 2006.

Correspondencia

Autor: Diana Karina Fabara Salazar
Dirección: Universidad Central del Ecuador
Email: dkfabara@uce.edu.ec