



EVALUACIÓN DE SALES DE ALUMINIO Y HIERRO EN LA REMOCIÓN QUÍMICA DE MATERIA ORGÁNICA Y SEDIMENTOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Gustavo Flórez-Mojica

Ingeniero Ambiental y Sanitario,
Universidad Popular del Cesar.
Valledupar, Colombia

*gflorez1005@gmail.com

Marlín López Mejía

Ingeniera Ambiental y Sanitario
Universidad Popular del Cesar.
Valledupar, Colombia

*marlinelopezmejia@hotmail.com

María Mannsbach Ospina

Ingeniera Ambiental y Sanitaria,
Universidad Popular del Cesar.

* ingmariacmannsbach@hotmail.com

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Gustavo Flórez-Mojica, Marlín López Mejía y María Mannsbach Ospina (2017): "Evaluación de sales de aluminio y hierro en la remoción química de materia orgánica y sedimentos presentes en aguas residuales domésticas", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (enero 2017). En línea: <http://www.eumed.net/rev/caribe/2017/01/sales.html>

Resumen

Las sales de aluminio y hierro son agentes coagulantes de uso común en el tratamiento de diferentes tipos de aguas. La presencia de materia orgánica en las aguas residuales domésticas, constituye un problema para las fuentes de aguas receptora y la salud pública de la población que se abastece de estas fuentes. En la presente investigación se evaluó la eficiencia del Cloruro Ferrico y Sulfato de Aluminio como agente coagulante – floculante en la remoción de materia orgánica en aguas residuales. La eficiencia del proceso de coagulación-floculación en las aguas residuales municipales con alto contenido de materia orgánica, se evaluó utilizando como parámetros indicadores la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos Totales (SST) y Biomasa algal en las muestras de agua residual municipales antes y después del tratamiento con el proceso de coagulación-floculación. En esta investigación se obtuvieron porcentajes de remoción para el FeCl_3 de 77,13% DQO, 91,03% SST, 96,22% de Algas y para el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ se lograron remociones de 76,36% DQO, 88,47% SST y 90,34% Algas. En consecuencia se pudo deducir que el coagulante más efectivo en la remoción de materia orgánica para las aguas residuales municipales de estudio fue FeCl_3 , sin olvidar que el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ obtuvo muy buenos resultados.

Descriptores: Agua residuales domésticas, Coagulación-Floculación, Remoción -Materia orgánica.

Abstract

Ferric salts are aluminous and coagulating agents commonly used in the treatment of different types of water. The presence of organic matter in domestic wastewater, is a problem for

receiving water sources and public health of the population is supplied from these sources. flocculant in the removal of organic matter in wastewater - In this research the efficiency of ferric chloride and aluminum sulfate as coagulant was evaluated. The efficiency of the process of coagulation-flocculation in municipal wastewater with high organic matter content was evaluated using as parameters Chemical Oxygen Demand (COD), total suspended solids (TSS) and biomass algal indicators in wastewater samples municipal before and after treatment with the coagulation-flocculation process. In this investigation for the removal percentages of 77.13% FeCl_3 COD, TSS 91.03%, 96.22% Algae and the $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ removals were obtained 76.36% COD, 88.47% SST and 90.34% algae. Therefore could deduce that the coagulant effective in removing organic matter for municipal wastewater study was FeCl_3 , without forgetting that the $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ obtained very good results.

Keywords: Municipal wastewater- Coagulation–flocculation- Organic matter-removal.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, son varios los procesos de tratamiento que son utilizados para la depuración de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica y sedimentos, que aunque alcanzan resultados considerables, presentan altos equipamientos y costos de inversión, operación y mantenimiento. En ese sentido, en los últimos años, estudios demuestran que la coagulación – floculación es un proceso de gran eficiencia en la remoción de partículas coloidales, materia orgánica y sedimentos en aguas residuales¹.

El proceso de coagulación y floculación consiste en la desestabilización de las partículas suspendidas, provocando colisión entre ellas, adhesión, incremento de tamaño, aglutinación, aumento de densidad y, como consecuencia, sedimentación. Una vez sedimentadas las partículas, pueden ser removidas con facilidad (Metcalf, Eddy, 2003). Los coagulantes más comunes en el tratamiento de aguas residuales son compuestos inorgánicos como sales de aluminio $\text{Al}(\text{III})$ o hierro $\text{Fe}(\text{III})$ como el sulfato de aluminio y cloruro férrico². El proceso de coagulación química basado en el uso de sales de $\text{Al}(\text{III})$ o $\text{Fe}(\text{III})$ es utilizando frecuentemente para remociones eficientes de parámetros tales como turbidez, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales que representan materia orgánica y sedimentos en aguas residuales.

Los efluentes procedentes de lagunas de estabilización tiene como principales características el color verde debido a las algas, pH alto, sólidos suspensión totales, característicos de aguas con presencia elevada de materia orgánica y sedimentos, los cuales afectan la calidad del líquido, impiden la penetración de la luz y pueden servir como un sitio para la proliferación de patógenos. (Oliveira, 2013).

El sistemas de depuración de aguas residuales con lagunas de oxidación que posee la ciudad de Valledupar, presenta frecuentemente desajuste en la carga orgánica y sedimentos, descontrol en los tiempo de retención hidráulica, cortocircuitos por la inadecuada operación del sistema, personal poco capacitado para las labores de funcionamiento y falta de mantenimientos continuo, rompimiento entre las fases del sistema de lagunas de estabilización,

¹ Zhao, W.,Ting,Y.,Chen., Xing, C & Shi, S(2000) Advanced primary treatment of wastewater using a bio-flocculation–adsorption sedimentation process, *actabiotechnol. Rev Engineering in Life Sciences* .Vol 20 .53–64p

² Quintana, R. Cómo tratar el agua. Documento técnico. Coca Cola de Colombia, Bogotá D.C., 2000.

lo que conlleva a la generación de efluentes de baja calidad y con alto contenido de materia orgánica y a la proliferación de algas y sólidos que frecuentemente compiten por el oxígeno disuelto en el cuerpo receptor, inhibiendo así la actividad biológica, bajando la formación y solubilidad del oxígeno y creando condiciones adversas para la convivencia de peces y otras especies. (Metcalf y Eddy, 2002)(Quiroz y Castro, 2008).

Por otra parte, la materia orgánica y sedimentos en las aguas residuales domésticas que son descargadas a los ríos son un problema que afecta directamente la fuente receptora de agua e indirectamente la población que la consume (Romero 1999). Por tanto, el alto contenido de materia orgánica que recibe el río Cesar producto de las continuas descargas de la estación depuradora de aguas residuales, requiere una intervención inmediata, ya que puede presentar alteraciones en la salud pública de las poblaciones río abajo principalmente en los corregimientos de Bélgica, Calambo, El Carmen, El Porvenir, El silencio, La Pitilla, Algarrobillo, Los Laureles, El Toco de los municipios de La Paz y San Diego que utilizan sus aguas, como fuente de abastecimiento, como proveedor de agua para el sostenimiento de zonas agrícolas y/o ganaderas y actividades de recreación y/o pesca en el departamento del Cesar. (Mejía, y Daza, 2005) (Rivera y Gomez, 2010)

En ese sentido, la presente investigación buscó evaluar la remoción que presentan las sales de Aluminio y Férricas en la eliminación de materia orgánica y sedimentos representada especialmente en las altas concentraciones de DQO(Demanda Biológica de Oxígeno), sólidos suspendidos totales (SST) y Algas que presenta el efluente que vierte la EDAR Salguero sobre el río Cesar .

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Toma de muestras.

El proceso investigativo inició con la recolección de muestras durante una semana al inicio y al final del proceso de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Valledupar, para evaluar la eficiencia del sistema de depuración actualmente. Las muestras para el proceso de coagulación fueron recogidas en el efluente de la planta municipal de tratamiento de aguas residuales, el cual es vertido sobre el río Cesar ubicado en la ciudad de Valledupar.

Se realizaron tres muestreos simples para las pruebas de coagulación y siete para la caracterización. Las muestras se almacenaron en recipientes plásticos de 20 L. En campo de manera in situ se realizó la medición de los parámetros de Turbiedad y pH a las muestras recolectadas que posteriormente fueron guardadas en neveras portátiles para trasladarlas a laboratorio y refrigerarla a 4°C para los respectivos análisis.

2.2. Preparación de la solución coagulante

Se procedió a preparar las soluciones coagulantes de sulfato de aluminio y cloruro o Cloruro férrico. Ambas soluciones se prepararon agregando agua destilada a 100 g de coagulante hasta aforar a un volumen de 1.000 mL, con lo que se obtuvo una solución de 10% que se conservó como solución patrón máximo por un mes.

El ensayo de prueba de jarras se hizo diluyendo 10 mL de la solución patrón hasta aforar a 100 mL con agua destilada, la cual se agita y se deja reposar mínimo unos 5 minutos antes de ser utilizarla. Esta solución se preparó diariamente luego se desechó, pues no se conservó por más

de 24 horas, ya que corre el riesgo de hidrolizarse y perder buena parte de su capacidad de coagulación.

2.3. Proceso de coagulación-Floculación

La evaluación del proceso de coagulación se llevó a cabo utilizando un equipo de Test de Jarra modelo F6-300 E&Q E. Se utilizó Sulfato de aluminio y cloruro férrico como coagulante y se procedió a agregarlo al iniciar el mezclado rápido (100 rpm, 1 min); se agregó 2 L de agua residual doméstica, a cada uno de las seis jarras de precipitado de 2000 ml, tomando una de estas como control. Posteriormente, se procedió a agregar el coagulante, al iniciar el mezclado rápido (120 rpm, 1min); se adiciono en cinco de los vasos de precipitado las diferentes dosis de coagulante se inició luego al mezclado lento (40 rpm, 15 min), para finalizar con la fase de sedimentación (30 min). Los parámetros fisicoquímicos de cada una de las muestras a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y por triplicado, se determinaron antes y después del tratamiento. El control del proceso fue agua residual sin coagulante sometida al mismo procedimiento. Se realizaron tres ensayos preliminares variando inicialmente la concentración de 10 en 10 partiendo de 0mg/L hasta 120 mg/L.

2.4. Parámetros analizados

Para la caracterización de las muestras de aguas residuales domesticas(ARD) se determinó la turbidez, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y algas según lo establecido en los métodos estándar APHA, AWWA, WEF (1998). Los parámetros antes mencionados fueron analizados por triplicado antes y después del tratamiento de coagulación para evaluar la efectividad de los coagulantes. Se consideró como la dosis óptima integral de coagulante a la menor concentración del coagulante que removi6 el mayor valor los parámetros DQO, SST y Algas. La elección de una dosis óptima integral para cada coagulante permite hacer una análisis comparativo entre los mismo y a su vez evita la sobredosificación del coagulante y promueve la reducción de los costos de operación.

2.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se procesaron empleando el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Se compararon las concentraciones medias de los parámetros DQO, SST y algas con respecto a cada tratamiento aplicando análisis de varianza (ANOVA) para un 95 % de confianza, determinando así si existían o no diferencias significativas entre los grupos mediante el empleo de la prueba estadística de Dunkan.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Caracterización muestras del efluente lagunar.

Las características fisicoquímicas de las muestras de ARD estudiadas se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1: Caracterización de muestras de estudio

PARAMETRO	UNIDAD	MUESTREOS		
		M1	M2	M3
Temperatura	°C	25	25	25
pH		7,33	7,55	7,54
Turbidez	Unt	77,67	70,05	68,03
DQO	mg /l	205,44	189,3	192,34
SST	mg /l	100	80	78,08
Algas	(µg/ml)	2,0823	1,635	1,5805

Autores: 2014.

La elección de una dosis integral para cada coagulante permitió hacer un análisis comparativo entre los mismos y a su vez identificar las dosis de coagulantes que para aguas con características parecidas a las ARD de estudio, puedan causarles sobredosificación química de coagulante y aumentar los costos de operación para un posible tratamiento con este tipo de proceso. En ese sentido se dosificaron los diferentes coagulantes en concentraciones de 10 en 10 partiendo de 0mg/L hasta 120 mg/L.

3.2. Comparación entre dosis óptima integral y porcentaje de remoción para los diferentes parámetros

Los resultados revelaron que las mejores dosis para los diferentes tratamientos en cada una de las muestras fueron dosis entre 30 a 40 mg/L, por lo cual se procedió a determinar la dosis óptima en ese intervalo de dosis, obteniendo como resultado que las dosis óptimas para el Cloruro Férrico y el Sulfato de Aluminio fueron 34 mg/l y 35 mg/l respectivamente.

Tabla 2: Dosis óptima para cada coagulante químico.

COAGULANTES.	DOSIS ÓPTIMA INTEGRAL	PARÁMETROS.		
		DQO	SST	ALGAS
FeCl ₃	34 mg/l	77,13%	93,03%	96,22%
Al ₂ (SO ₄) ₃	35 mg/l	76,36%	88,47%	90,34%

Autores: 2014.

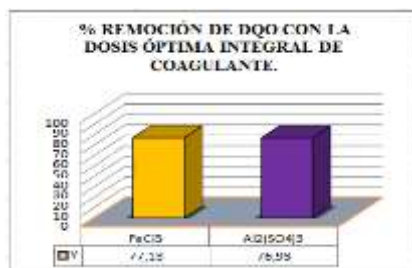
Imagen 1: Dosis óptima sulfato de Aluminio. Imagen 2: Dosis óptima Cloruro Férrico



Autores

3.3. Comparación entre dosis y porcentaje de remoción para DQO.

Figura 1: Valor DQO con la dosis optima integral de coagulantes.



Autores: 2014.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, los valores de remoción de DQO con las diferentes coagulantes fueron muy similares entre ellos (figura 3), la mayor remoción de DQO se obtuvo con el Cloruro Férrico en un 77,13% seguido del tratamiento con Sulfato de Aluminio con una remoción de 76,36%, en donde se pudo apreciar la dificultad que presenta algunos coagulantes prepolimerizados a la hora de remover materia orgánica en aguas residuales, situación que no sucede cuando se tratan aguas superficiales para el consumo humano que presentan básicamente altos contenidos de materia inorgánica en forma coloidal como el lino y la arcilla. En ese sentido para cada coagulante, las dosis óptimas cumplieron a cabalidad con la el Decreto 39307/2010 art 72 DQO $\geq 30\%$ en carga para usuario existente.

En cuanto a la eficiencia de remoción de DQO con coagulantes químicos como FeCl₃ y Al₂(SO₄)₃ la literatura ha señalado mayores eficiencia para el FeCl₃ (Núñez et al., 2001; Ebeling et al 2003; Al-Mutairi et al .2004; Mittal, 2005). Por otra parte, los resultados obtenidos difieren con los alcanzados por Manjarrez et al., (2011) quienes obtuvieron en una dosis óptima de Sulfato de Aluminio para una remoción de turbidez dada, porcentajes de DQO de 82,89% DQO.

Por otra parte se pudo notar como el aumento o disminución de la presencia de algas influía directamente en el valor de la Turbidez, Color y los SST e indirectamente en el valor de la DQO, ya que diferentes estudios han encontrado que las remociones óptimas para la remoción de turbiedad, no siempre son las mismas que en las condiciones óptimas para la remoción de la materia orgánica en el agua. Sin embargo buenas remociones de compuestos orgánicos siempre coinciden con remociones de turbiedad. (Semmens & Field 1980)

3.4. Comparación entre dosis y porcentaje de remoción de SST.

Figura 4: Valor SST con la dosis optima integral de coagulantes.



Autores: 2014.

De los dos coagulantes aplicados para tratar el efluente residual el que obtuvo la mayor remoción en relación al SST fue el Cloruro Férrico con un 91,03% y posteriormente se encuentra el tratamiento con Sulfato de Aluminio con una remoción de 88,47% cumpliendo en todos los casos con la normatividad ambiental competente (Decreto 3930/2010 Art.72.SS≥ 50% en carga para usuario existente). La eficiencia en la remoción de SST por parte del Cloruro Férrico, se debe a su capacidad de formar rápidamente flóculos más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.

Los resultados obtenidos en la remoción de SST es muy similar a la obtenida por Torres et al., (2005) que a través de la utilización de Cloruro Férrico como coagulante en la PTAR-Cañaveralejo consiguió remociones de SST por encima del 70%; de igual formas los resultados se asemejan a lo realizado por Friedman (1977) quienes obtuvieron a partir de coagulación/floculación/sedimentación porcentajes de remoción de 80 a 90% de SST causados por algas en suspensión como en el caso del efluente lagunar salguero.

3.5. Comparación entre dosis y porcentaje de remoción de Algas.

Figura 5: Valor Algas con la dosis optima integral de coagulantes.



Autores: 2014.

De acuerdo con la investigación, la eliminación de algas con las diferentes dosis de coagulantes químicas escogidas resultaron muy eficientes, pues como se puede observar en la figura 5, la mayor remoción de algas se obtuvo con el Cloruro Férrico en un 96,22% y posteriormente se encuentra el tratamiento con Sulfato de Aluminio con una remoción de 90,34% ;los resultados obtenidos son superiores a los alcanzados por Mendoza (2008) y Manjarrez et al.,(2011) quienes obtuvieron 80% y 94,7%de remoción de algas con coagulantes químicos.

De igual forma en esta investigación se pudo evidenciar que donde hubo mayores remociones de algas se presentó mayores remociones de turbidez lo cual afirma lo expuesto por Mendoza (2008) quien afirma que la mayor parte de la turbidez causada en el efluente lagunar Salguero es causado por la alta presencia de masa algal en el agua. Según Aboytes et al.2004, el crecimiento anormal de algas y bacterias produce un aumento en la turbidez y color del agua y su reducción es un indicador en la remoción de células coloidales como las algas

4. CONCLUSIONES

Con base en todo lo anterior, se puede deducir que las sales de aluminio y hierro utilizadas en proceso de coagulación-floculación son una buena alternativa para la depuración de las aguas residuales domésticas con altas cargas orgánicas y sedimentos (expresadas en DQO, SST y Algas). Por otra parte, según los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede

evidenciar que las sales férricas como el Cloruro Férrico son más eficientes a la hora de remover materia orgánica en aguas residuales que las sales de aluminio como el Sulfato de Aluminio cuando ambos son utilizados como coagulantes.

5. REFERENCIAS

- Aboytes,R., Di Giovani, G.,Abrams, F.,Rheinecker,C., Mcelroy,W.,Shaw,N ...& Lechevallier, M.(2004). Detection of infectious Cryptosporidium in filtered drinking wáter. Water Work Assoc, 96(9): 88-98.
- Al-mutairi, N., Hamoda, M., Al-ghusain, I (2004). Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant. Bioresource Technology, 95, 115-119.
- Bell- Agy K, Abbaszadegan M, Ibrahim E, Verges D & LeChevallier M. 2000. Conventional and optimized coagulation for NOM removal. Journal American Water Works Association, 92(1), 44-58.
- Ebeling, J., Sibrell, P., Ogden S.T; Summerfelt, S.(2003). Evaluation of chemical coagulation – flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorous from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. Aquacult. Eng., 29, 32-42.
- Friedman, A. (1997).Algae separation from oxidation ponds, Journal Water Pollution Control Federation, pp. 111-119
- Manjarrez, R. et al (2011). Evaluación de coagulantes como alternativa de tratamiento para remoción de fósforo, nitrógeno y algas en el efluente del sistema lagunar salguero del municipio de Valledupar. Trabajo especial de grado. Universidad popular del cesar. Colombia
- Mendoza, L (2008).Coagulantes Como Alternativa De Tratamiento Para Remoción De Algas Y Fosforo. Tesis de grado Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Popular del Cesar. Valledupar (Colombia)
- Metcalf & Eddy., Tchobanoglous, G., Burton, F. & Stensel, H. D. (2003). Wastewater engineering: Treatment and reuse (4th ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Mejía, M. y Daza, N. (2005). Monitoreo de las condiciones medioambientales de los ríos Guatapurí y Cesar influenciados por los STAR de Valledupar y la paz. Corporación Autónoma Regional del Cesar “CORPOCESAR”. Valledupar- Colombia
- Núñez, J., Vontolina, D., Nieves, M., Piña, P., Medina, A., Guerrero, M. (2001) Nitrogen budget in Scenedesmus obliquus cultures with artificial wastewater. Bioresource Technology, 78, 161-164.
- Orozco, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño. Colombia, Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - ACODAL. Bogotá Colombia
- Quiros, Z., y Castro J. (2008). Evaluación ambiental del vertimiento de las aguas tratadas en el STAR “El Salguero - Valledupar” sobre el río Cesar mediante el uso de diatomeas y macro invertebrados como bioindicadores. Corporación Autónoma Regional del Cesar “CORPOCESAR”.Valledupar-Colombia.

- Quintana, R. Cómo tratar el agua. Documento técnico. Coca Cola de Colombia, Bogotá D.C., 2000.
- Rivera, M., (2010). Identificación de cianobacterias potencialmente productoras de cianotoxinas en la curva de salguero del río Cesar. Tesis de grado Microbiología. Universidad Popular del Cesar. Valledupar (Colombia)
- Romero, J.(1999). Acuitratamiento por las lagunas de estabilización. Santa fe de Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería, 1, 175-176.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1998.). American Public Health Association/American water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, USA, 20th ed.
- Semmens, M & field, T.(1980). Coagulation: Experiences in Organic Removal.AWWA. Usa,72(8) .476-483.
- Torres I, Perez V y Escobar, J. (2005) Optimización del Tratamiento Primario Avanzado con Diagramas Coagulación-Floculación del Afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Zhao, W.,Ting,Y.,Chen., Xing, C & Shi, S(2000) Advanced primary treatment of wastewater using a bio-flocculation–adsorption sedimentation process, *actabiotechnol. Rev Engineering in Life Sciences* .Vol 20 .53–64p