
Clarificación de agua del arroyo el Hueleque de Poza Rica, Ver., utilizando cal, sulfato de aluminio e hidroxicloriguro de aluminio.

I. Hernández Romero*, R. O. González Paredes, M. de la L. Arriaga Gaona, J. E. Aranda Perlestrain., G. Barra González

Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Prolongación de la Av. Venustiano Carranza S/N, Col. Revolución, C.P. 93390, Zona Poza Rica-Tuxpan, México.

Clarification of the creek water Hueleque of Poza Rica, Veracruz, using Lime, Aluminum Sulfate and Aluminum Chlorohydrate.

Abstract

This paper deals with the clarification of the stream water Hueleque city of Poza Rica de Hidalgo, Veracruz by lime, aluminum sulfate and aluminum chlorohydrate, the first two are the most commonly used to treat wastewater and to date are still used in treatment plants and the second is a new generation of polymeric clarifiers; parameters such as: pH, temperature, turbidity, salinity, total dissolved solids, conductivity, as well as dissolved oxygen (OD), biochemical oxygen demand (DBO₅), chemical oxygen demand (DQO) and fecal coliforms. For CaO as coagulant was observed that the lower turbidity was at a concentration of 3.000 ppm and clarification is not yet complete, the recorded value is of 9.31 NTU with a pH of 9.61, temperature 26 °C, conductivity 562 μS cm⁻¹, 0.3% salinity, total dissolved solids of 272 ppm. The Al₂(SO₄)₃ the optimal concentration of the waste water is 400 ppm with a pH of 6.99, temperature 26 °C, conductivity 874 μS cm⁻¹, 0.4% salinity, total dissolved solids of 456 ppm, OD of 1.82 ppm, 15 ppm DBO₅, DQO of 33 ppm, 9000 CFU/100 ml for total coliforms, which shows that it is an expensive process. The concentration of flocculation with Al₂(OH)₅Cl₂*5H₂O is very small (1 ppm), very effective and efficient achievement as remove all the matter present in wastewater obtained a turbidity of 0 NTU in less time, with pH of 7.24, temperature 26 °C, conductivity 958 μS cm⁻¹, 0.5% salinity, total dissolved solids of 456 ppm, OD of 2.22 ppm, 8 ppm DBO₅, DQO of 18 ppm and 1800 CFU/100 ml of coliforms total. CaO flocculant has very low activity with a very high amount thereof. In the case of Al₂(SO₄)₃, it was observed that the flocculating activity is good, but large quantities are required. For Al₂(OH)₅Cl₂*5H₂O showed to have a very good flocculating activity because the optimal amounts for treatment are very low.

Key words: clarification, waste water, lime, aluminum sulphate, aluminum chlorohydrate.

Resumen

El presente trabajo trata de la clarificación de agua del arroyo el Hueleque de la ciudad de Poza Rica de Hidalgo, Veracruz, mediante la cal, sulfato de aluminio e hidroxicloriguro de aluminio; los dos primeros son los más usuales para el tratamiento de aguas residuales y hasta la fecha se siguen utilizando en las plantas de tratamiento y el segundo es una nueva generación de clarificantes poliméricos; se determinaron parámetros como: pH, temperatura, turbidez, salinidad, sólidos disueltos totales, conductividad, además del oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y coliformes fecales. Para el CaO como coagulante se pudo observar que la menor turbidez fue a una concentración de 3,000 ppm y la clarificación aún no es total, el valor registrado es de 9.31 NTU, con un pH de 9.61, temperatura de 26 °C, conductividad de 562 μS cm⁻¹, salinidad de 0.3%, sólidos disueltos totales de 272 ppm. El Al₂(SO₄)₃ la concentración óptima sobre el agua residual es de 400 ppm, con un pH de 6.99, temperatura de 26 °C, conductividad de 874 μS cm⁻¹, salinidad de 0.4%, sólidos disueltos totales de 456 ppm, OD de 1.82

*Autores de correspondencia
Email: huejutal@hotmail.com

ppm, DBO₅ de 15 ppm, DQO de 33 ppm, 9000 UFC/100 ml de coliformes totales, lo cual demuestra que es un proceso caro. La concentración de floculación con el Al₂(OH)₅Cl₂*5H₂O es muy pequeña (1 ppm), muy eficaz y eficiente, ya que logró remover toda la materia presente en el agua residual obteniéndose una turbidez de 0 NTU en menor tiempo, con pH de 7.24, temperatura de 26 °C, conductividad de 958 μS cm⁻¹, salinidad de 0.5%, sólidos disueltos totales de 456 ppm, OD de 2.22 ppm, DBO₅ de 8 ppm, DQO de 18 ppm y 1800 UFC/100 ml de coliformes totales. El CaO presenta muy baja actividad floculante, con una cantidad muy elevada del mismo. En el caso del Al₂(SO₄)₃, se pudo observar que su actividad floculante es buena, sin embargo se requieren de cantidades elevadas. Para el Al₂(OH)₅Cl₂*5H₂O mostró tener una actividad floculante muy buena debido a que las cantidades óptimas para su tratamiento son muy bajas.

Palabras clave: clarificación, agua residual, cal, sulfato de aluminio, hidroxidocloruro de aluminio.

Introducción

La preservación del medio ambiente representa uno de los mayores desafíos para la humanidad, pues el acelerado desarrollo tecnológico en respuesta a las crecientes demandas y expectativas del hombre, junto al acelerado crecimiento de la población, producen una enorme presión sobre el ecosistema del planeta, que a su vez se traduce en niveles cada vez mayores de contaminación (Campos *et al.*, 2003). El tratamiento del agua es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda con el fin de remover o reducir sus contaminantes y lograr que sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas cumplan las especificaciones contenidas en las normas que regulan la materia, de acuerdo a su uso (Cartwright, 2009). El agua debe ser tratada debido a la presencia de impurezas como sólidos suspendidos, materiales colorantes, microorganismos, materia orgánica, gases disueltos, minerales y otros. La utilización de los coagulantes más comunes como, por ejemplo, el sulfato de aluminio, se ha venido cuestionando en los últimos tiempos debido, entre otras causas, a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación y su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas (Becaria *et al.*, 2006, Nordberg, 1990). Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y puede solubilizarse el aluminio ocasionando problemas de altas variaciones en los valores de turbiedad, pH, alcalinidad, dureza, y aluminio residual del agua clarificada.

Para encontrar el proceso adecuado, es necesario realizar estudios de tratabilidad de aguas residuales, que se diseñan con el objetivo de conocer la

capacidad de eliminación de contaminantes por medio de uno o varios procesos de tratamiento y, a la vez, acondicionar el efluente a los valores permisibles de carga orgánica y otros elementos contaminantes, para su vertido a los cursos receptores de agua. Esto que parece tan lógico, raramente es realizado y es causa de innumerables fracasos en los sistemas de tratamiento (Bejar *et al.*, 2005).

Cogollo (2010), estudió la clarificación de aguas industriales por medio de coagulantes polimerizados (hidroxidocloruro de aluminio y sulfato de aluminio), obteniendo un 73.5% y 59.7% de turbiedad respectivamente.

Díaz Mejía *et al.*, 2007, realizó la determinación del coagulante que permita la máxima remoción de fosfatos en agua cruda del río Otún, obteniendo un 90% de remoción a pH de 6 al trabajar con cal hidratada y cloruro férrico, el mejor coagulante fue el cloruro férrico a concentraciones de 18 y 22 ppm. Morante G. (2002) trabajó una muestra de 1.0 l de agua residual, mediante electrocoagulación, obteniendo un pH de 13.06, una turbiedad de 125 NTU, conductividad de 1.78 mhos y una DQO de 931.2 mg l⁻¹; con un voltaje de 2.7 V.

Materiales y método

Localización de las tomas de muestra

Las muestras de agua residual fueron tomadas del arroyo del Hueleque en la ubicación y los puntos de coordenadas mencionadas en la tabla 1 de la ciudad de Poza Rica de Hgo., Veracruz.

Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de acuerdo a lo establecido en la NMX-AA-003-1980 "Aguas Residuales.-Muestreo".

Tabla 1. Ubicación de los puntos de toma de muestra del agua residual del arroyo Hueque.

Punto de muestra	Ubicación (latitud Norte, longitud Oeste)
Adolfo Ruiz Cortínez N° 600. Col. Obras Sociales.	20° 32' 10.38", 97° 27' 27.45"
Puebla N° 310. Col. México	20° 32' 38.48", 97° 27' 26.53"
Central Oriente N° 3. Col. Laredo	20° 31' 28.01", 97° 27' 28.88"

Análisis de muestras

Para determinar la cantidad óptima de cada coagulante se realizó una curva de coagulación y después se realizó la operación completa de clarificación.

Evaluación de los floculantes (CaO, Al₂(SO₄)₃ y Al₂(OH)₅Cl₂*5H₂O).

Para evaluar la eficiencia del floculante se determinaron parámetros como: pH, temperatura, turbidez, salinidad, sólidos disueltos totales y conductividad. Los parámetros pH y temperatura se realizaron con el equipo de sonda HANNA modelo HI 9828, el parámetro de turbidez en el equipo HANNA modelo HI 93703 y los parámetros restantes se efectuaron con el equipo de sonda HACH modelo CO150. Con la finalidad de tener una caracterización más completa del agua tratada

con los tres coagulantes se realizó además de los parámetros anteriores, el oxígeno disuelto (OD) analizada con el método de azida de sodio, la demanda química de oxígeno (DQO) analizada con el método digestión con reactor en el espectrofotómetro HACH modelo DR/2010, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), y coliformes totales y fecales por MILLIPORE, estas determinaciones se realizaron al agua obtenida después de la floculación en los puntos óptimos de clarificación.

Resultados y discusión

Las muestras del agua residual del arroyo el Hueque, se recolectaron en los puntos marcados en la figura 1.

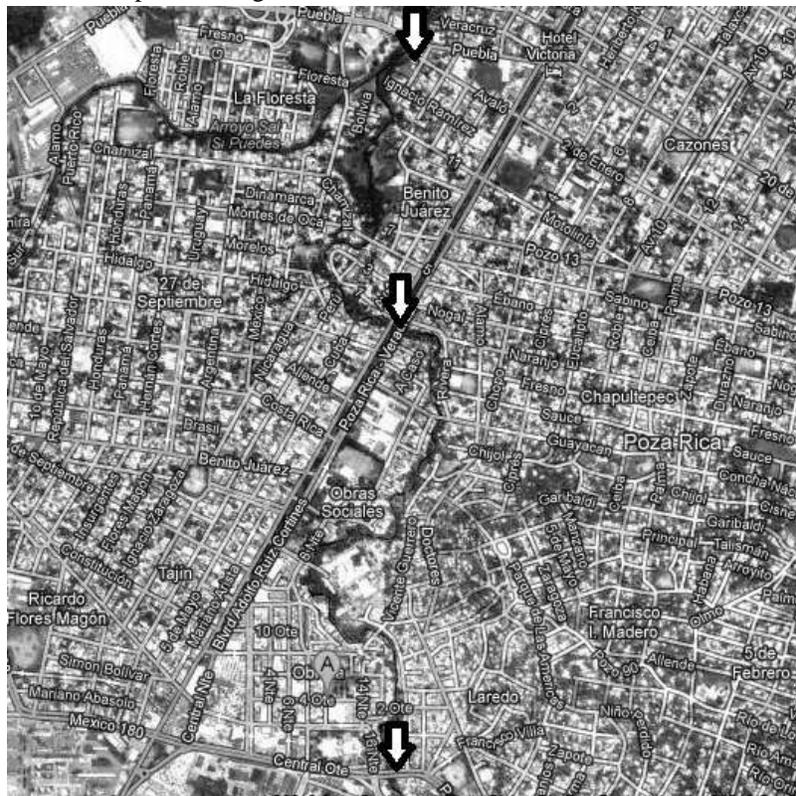


Figura1. Puntos de recolección de toma de muestras de agua residual.

Caracterización del agua residual

Con la finalidad de conocer la composición básica del agua residual del arroyo Hueleque se realizó la caracterización fisicoquímica del agua muestreada, la cual se presenta en la tabla 2.

Para llevar a cabo el tratamiento del agua residual, se trabajó con tres diferentes coagulantes: cal (CaO), sulfato de aluminio [Al₂(SO₄)₃] e hidroxiclorigenato de aluminio [Al₂(OH)₅Cl₂*5H₂O]; con los cuales a través de la prueba de jarras se determinó la cantidad óptima necesaria para la clarificación, utilizando los parámetros de turbidez, pH, conductividad, salinidad, sólidos disueltos totales y la temperatura como medida de clarificación, estos resultados se muestran en las tablas siguientes.

Como se puede observar en la tabla 3, la cal no presenta una actividad floculante eficiente, ya que la menor turbidez registrada fue a una concentración de 3000 ppm y sin embargo la clarificación aún no

es total puesto que el valor registrado es de 9.31 NTU.

En la figura 2 se muestra gráficamente la variación de la turbidez que se presenta con las diferentes dosificaciones de este coagulante.

De acuerdo con los resultados observados en la figura 2 se deduce que la cal es poco eficiente en el tratamiento de floculación, ya que ésta no es propiamente un coagulante, pues no llega a remover el total de la materia suspendida que está presente. Lo que reafirma lo encontrado por Díaz Mejía *et al.*, (2007), que la cal no ayuda para remover materia orgánica y además es muy tardado.

La coagulación con el sulfato de aluminio se presentan en la tabla 4, la cual muestra que la concentración óptima del coagulante sulfato de aluminio sobre el agua residual es de 400 ppm, y el pH disminuye (Rayner, 2003); lo cual demuestra que es un proceso caro y tardado ya que para efectuarse requiere prácticamente casi una hora, en

Tabla 2. Caracterización del agua residual del arroyo Hueleque.

Parámetro	Unidades	Agua Residual
Turbidez	NTU	21.92
pH	-----	7.8
Temperatura	°C	26
Conductividad	µS/cm	818
Salinidad	%	0.4
SDT	ppm	393
SST	ppm	0.05
Oxígeno disuelto	mg/l	1.11
DBO ₅	mg/l	38
DQO	mg/l	80
Coliformes totales	UFC/100 ml	184,000
Coliformes fecales	UFC/100 ml	63,000

Tabla 3. Resultados de la prueba de jarras del agua residual del arroyo Hueleque utilizando CaO como coagulante.

Concentración CaO (ppm)	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad (µS cm ⁻¹)	Salinidad (%)	SDT (ppm)	Temperatura (°C)
250	36.48	8.67	1103	0.5	537	26
500	32.3	8.94	956	0.5	461	26
750	31.93	8.96	833	0.4	401	26
1000	30.84	9.11	791	0.4	381	26
1250	26.98	9.19	790	0.4	380	26
1500	25.6	9.2	790	0.4	377	26
1750	24.61	9.24	780	0.4	375	26
2000	23.27	9.28	737	0.4	354	26
2250	16.22	9.4	720	0.3	347	26
2500	12.78	9.44	697	0.3	334	26
2750	10.07	9.47	678	0.3	325	26
3000	9.31	9.61	562	0.3	272	26
3250	23.05	9.88	552	0.3	269	26
3500	23.81	10.45	499	0.2	196	26
3750	28.85	10.91	409	0.2	173	26
4000	37.11	11.35	351	0.2	166	26

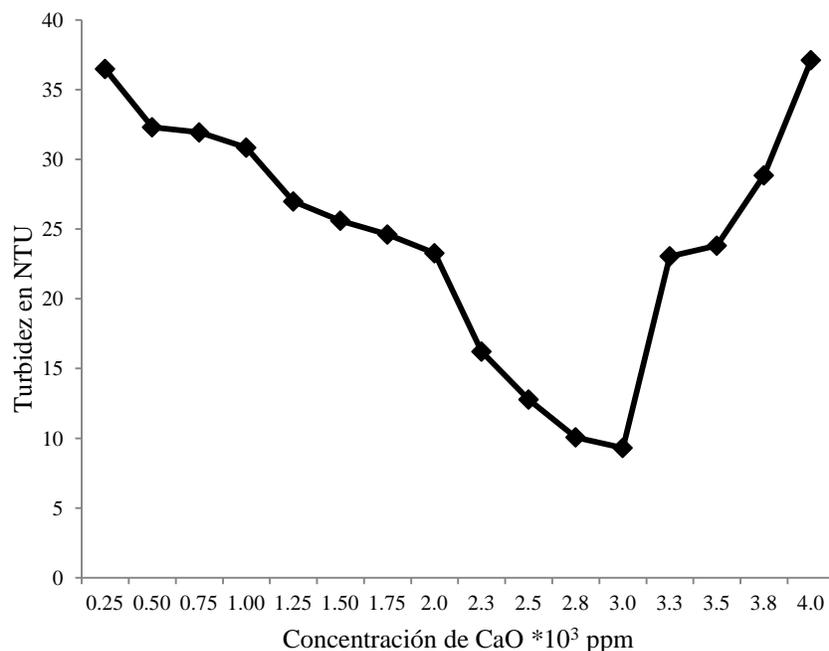


Figura 2. Comportamiento de la turbidez del agua residual con cal.

Tabla 4. Resultados de la prueba de jarras del agua residual tratada con $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante.

Concentración $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad ($\mu S\ cm^{-1}$)	Salinidad (%)	SDT (ppm)	Temperatura ($^{\circ}C$)
50	4.52	7.89	821	0.4	395	26
100	2.66	7.69	839	0.4	403	26
150	2.00	7.52	840	0.4	405	26
200	1.90	7.39	848	0.4	408	26
250	1.75	7.23	852	0.4	408	26
300	1.57	7.10	869	0.4	419	26
350	1.54	7.04	874	0.4	420	26
400	0.92	6.99	874	0.4	421	26
450	1.96	6.88	878	0.4	423	26
500	3.3	6.84	887	0.4	425	26
550	3.67	6.81	893	0.4	427	26
600	4.47	6.15	898	0.4	430	26
650	5.93	6.01	901	0.4	434	26
700	7.50	5.98	925	0.5	446	26
750	7.82	5.77	927	0.5	447	26
800	8.17	5.63	931	0.5	449	26
850	8.64	5.46	933	0.5	450	26
900	9.63	5.34	935	0.5	451	26
950	11.23	4.02	949	0.5	458	26
1000	11.78	4.98	958	0.5	462	26

la figura 3 se presenta el gráfico respectivo. Como se puede apreciar en este gráfico (Figura 3) la eficiencia del coagulante es mucho mayor que la mostrada por la cal (figura 2), lo cual ha favorecido que durante mucho tiempo sea éste uno de los coagulantes más usados a pesar de que la cantidad

óptima sea alta. Confirmando lo establecido por Cogollo (2010), que se necesita aumentar la dosis del sulfato de aluminio para obtener valores más bajos de turbiedad y al mismo tiempo hace que se obtenga valores menores de concentración de sólidos disueltos totales (Cogollo, J. and Rhenals,

A., 2003; Mccurdy et al., 2004).

Como una forma de medir la eficiencia del coagulante en cuanto a la calidad del agua clarificada, se determinaron los parámetros que más inciden en la calidad de la misma como son: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), coliformes totales y coliformes fecales, los resultados se presentan en la tabla 5.

De los resultados mostrados en la tabla 5, se deduce que la calidad del agua con respecto a lo que marca la norma (NOM-001-ECOL-1996), aún no cumple las especificaciones requeridas, pero ha mejorado mucho en comparación a los datos iniciales de este estudio.

Como se puede observar en la tabla 5, el parámetro del oxígeno disuelto que inicialmente era de 1.11 mg l⁻¹ aumentó a 1.82 mg l⁻¹, y con referencia a los otros parámetros determinados hubo disminución en ellos, como en la DQO que inicialmente presenta un valor de 80 mg l⁻¹ disminuyó a 33 mg l⁻¹, que representa una reducción del 58.75% , en la DBO₅ varió de 38 mg l⁻¹ a 15 mg l⁻¹, que equivale a un 60.5% y con respecto a el crecimiento bacteriano,

los coliformes totales de 184,000 a 9,000 UFC/100 ml, equivalente a un 95.1% de disminución y una completa eliminación de coliformes fecales.

Por último, para demostrar el potencial floculante que presenta el hidroxicloriguro de aluminio, se analizó el comportamiento de éste y se determinó su concentración óptima en cuanto a su actividad floculante tanto en el agua residual como en el lixiviado. Para esto se realizó la prueba de jarras primero en el agua residual y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

Como se muestra en la tabla 6, la concentración óptima de floculación con el hidroxicloriguro de aluminio es muy pequeña (1 ppm), muy eficaz y eficiente, ya que logró remover toda la materia presente en el agua residual obteniéndose una turbidez de 0 NTU, en un tiempo menor de floculación, lo que ninguno de los anteriores coagulantes analizados habían logrado, lo cual, desde el punto de vista económico es rentable, aunque éste floculante es costoso, la cantidad requerida a usar lo compensa, además de que se comprobó que puede ser reutilizable y esto a su vez aumenta el interés de su uso para las plantas de

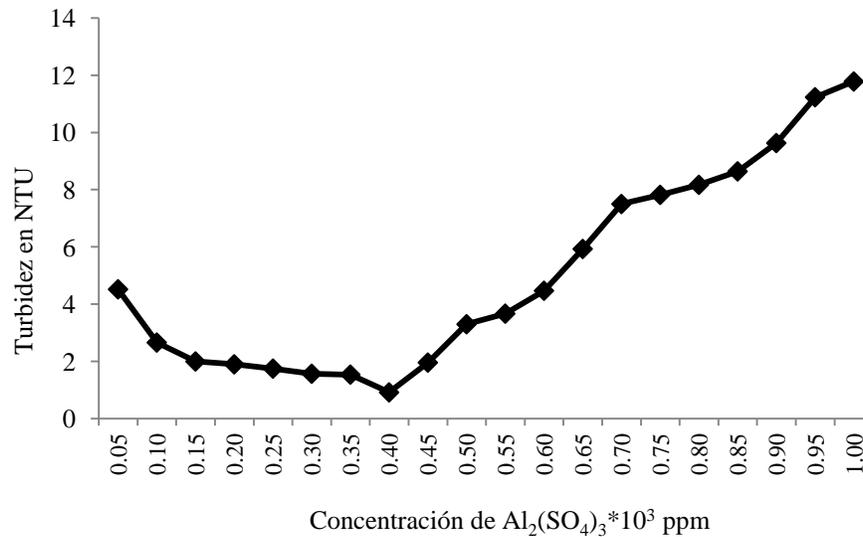


Figura 3. Comportamiento de la turbidez en el agua residual con sulfato de aluminio.

Tabla 5. Caracterización del agua residual tratada con la concentración óptima de Al₂(SO₄)₃.

Concentración óptima Al ₂ (SO ₄) ₃ (ppm)	Oxígeno disuelto (mg l ⁻¹)	DBO ₅ (mg l ⁻¹)	DQO (mg l ⁻¹)	Coliformes totales (UFC 100ml ⁻¹)	Coliformes fecales (UFC 100ml ⁻¹)
400	1.82	15	33	9,000	0

tratamiento de aguas residuales que de un tiempo a la fecha únicamente trabajan con el sulfato de aluminio. En la figura 4, se muestra el comportamiento de la turbidez en el agua residual tratada con este coagulante.

Como se observa en la figura 4, el punto óptimo de floculación se alcanzó a una concentración de 1 ppm, con una turbidez de 0 NTU y el pH de 7.24, disminuyendo éste del valor inicial en 0.56 unidades, lo que indica que hubo separación de compuestos iónicos probablemente complejos, estos resultados se ven corroborados por el incremento

ligero tanto en la salinidad, como en la conductividad que varía de 818 a 958 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posiblemente debido a estos cambios en la química del agua los SDT aumentan de 393 a 456 ppm. En base a estos resultados se caracterizó el agua clarificada de este proceso obteniéndose los resultados presentados en la tabla 7. El proceso de clarificación con hidroxiclорuro de aluminio es más rápido, debido a la mayor cantidad de flóculos y la naturaleza líquida del floculante, logrando una reacción más completa, lo que confirma lo estudiado por Cogollo (2010).

Tabla 6. Resultados de la prueba de jarras del agua residual tratada con $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ como coagulante.

Concentración $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ppm)	Turbidez (NTU)	pH	Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Salinidad (%)	SDT (ppm)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
0.25	0.69	7.63	878	0.4	423	26
0.50	0.10	7.51	891	0.4	430	26
0.75	0.03	7.31	897	0.4	342	26
1.0	0	7.24	958	0.5	456	26
1.25	0.09	7.08	971	0.5	466	26
1.50	1.68	6.93	981	0.5	474	26
1.75	28.27	6.84	1006	0.5	486	26
2.0	30.56	6.55	1022	0.5	496	26

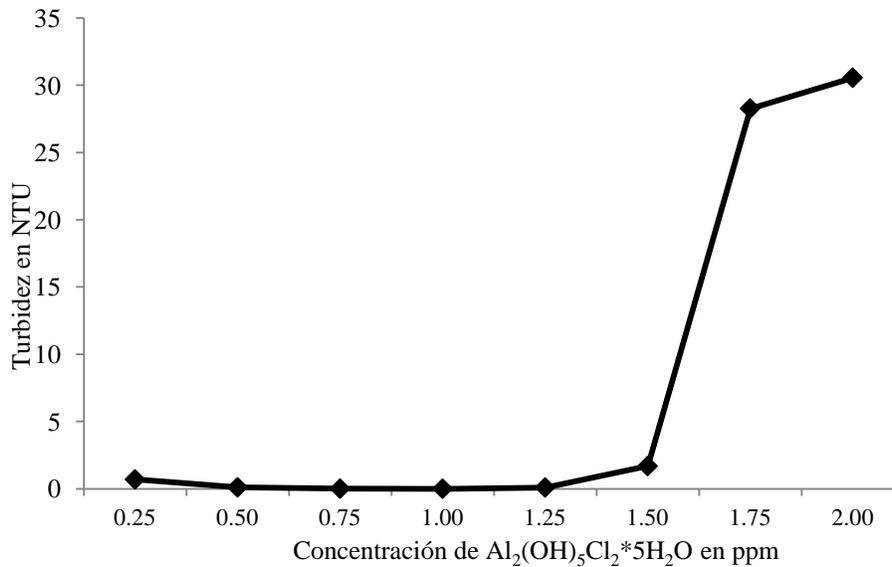


Figura 4. Comportamiento de la turbidez en el agua residual con hidroxiclорuro de aluminio.

Tabla 7. Caracterización del agua residual tratada con la dosis óptima de hidroxiclорuro de aluminio.

Concentración óptima $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ppm)	Oxígeno disuelto (mg l^{-1})	DBO_5 (mg l^{-1})	DQO (mg l^{-1})	Coliformes totales (UFC 100 ml^{-1})	Coliformes fecales (UFC 100 ml^{-1})
1.0	2.22	8	18	1,800	0

En la tabla anterior podemos observar que en el parámetro del OD, hubo una recuperación de 1.11 a 2.22 mg l⁻¹, y disminución en otros, como en la DQO que de presentar un valor de 80 mg l⁻¹ a 18 mg l⁻¹, lo que refiere a 77.5% de disminución, la DBO₅ reduce de 38 mg l⁻¹ a 8 mg l⁻¹, que equivale a un 78.9% que presentaba inicialmente, y referente al crecimiento bacteriano, en los coliformes totales disminuyo de 184,000 a 1,800 UFC/100 ml, equivalente a un 99% menos y de coliformes fecales de 63,000a 0 UFC/100 ml.

Análisis comparativo de las variables fisicoquímicas del agua residual con la adición de la cantidad óptima del coagulante.

Para validar la eficiencia del mejor coagulante se realizó una comparación de los resultados del proceso de coagulación con los tres floculantes, los resultados obtenidos con el agua residual se presentan en la tabla 8.

De la tabla 8 se puede ver que de entrada la concentración óptima de los coagulantes es muy dispar, ya que para la cal es de 3000 ppm, mientras que para el hidroxicloruro de aluminio es de apenas 1 ppm.

En algunos parámetros hay significativas diferencias como el pH que con la cal se incrementa en más de una unidad en tanto que para el sulfato de aluminio disminuye en casi la misma cantidad, la turbidez para la cal es de 9.31 NTU mientras que

para el hidroxicloruro de aluminio es de 0 NTU, en cuanto a los sólidos disueltos totales con la cal disminuyen y con el hidroxicloruro de aluminio se incrementan, la DQO, DBO₅ y los coliformes totales y fecales disminuyen sustancialmente con ambas sales de aluminio.

En cuanto corresponde a la prueba de la DBO₅ y la DQO, estos y los siguientes parámetros no se realizaron al agua residual con la cal como coagulante en virtud de su escasa eficiencia en la floculación, los resultados de los floculantes de aluminio se presentan en la figura 5.

Como se puede observar en la figura 5 la DQO y la DBO₅ mantienen cierta relación constante, la DQO siempre por arriba de la DBO en ambos tratamientos, sin embargo los valores más pequeños se alcanzaron con el coagulante hidroxicloruro de aluminio.

Un comportamiento similar se puede observar en la figura 6 con los coliformes totales y fecales.

Dado que los coliformes totales están constituidos por un grupo de microorganismos muy disímolo, su cantidad presente en el agua residual generalmente es muy alto lo cual se comprueba en este caso, mientras que los coliformes fecales que proceden de manera específica de heces pueden estar presentes en menor cantidad pero la interacción con el floculo formado con el hidroxicloruro de aluminio es mayor por lo que este es un mejor coagulante.

Tabla 8. Comparación del comportamiento de las variables fisicoquímicas del agua residual con la adición de la cantidad óptima del coagulante.

Variable	Agua residual sin tratar	Agua residual tratada con		
		CaO (3000 ppm)	Al ₂ (SO ₄) ₃ (400 ppm)	Al ₂ (OH) ₅ Cl ₂ *5H ₂ O (1 ppm)
pH	7.8	9.61	6.99	7.24
Turbidez NTU	21.92	9.31	0.92	0.0
Conductividad (μS cm ⁻¹)	818	562	874	958
Salinidad (%)	0.4	0.3	0.4	0.5
SDT (ppm)	393	272	421	456
Oxígeno disuelto (mg l ⁻¹)	1.11	-----	1.82	2.22
DBO ₅ (mg l ⁻¹)	38	-----	15	8
DQO (mg l ⁻¹)	80	-----	33	18
Coliformes totales (UFC 100 ml ⁻¹)	184,000	-----	9,000	1,800
Coliformes fecales (UFC 100 ml ⁻¹)	63,000	-----	0	0

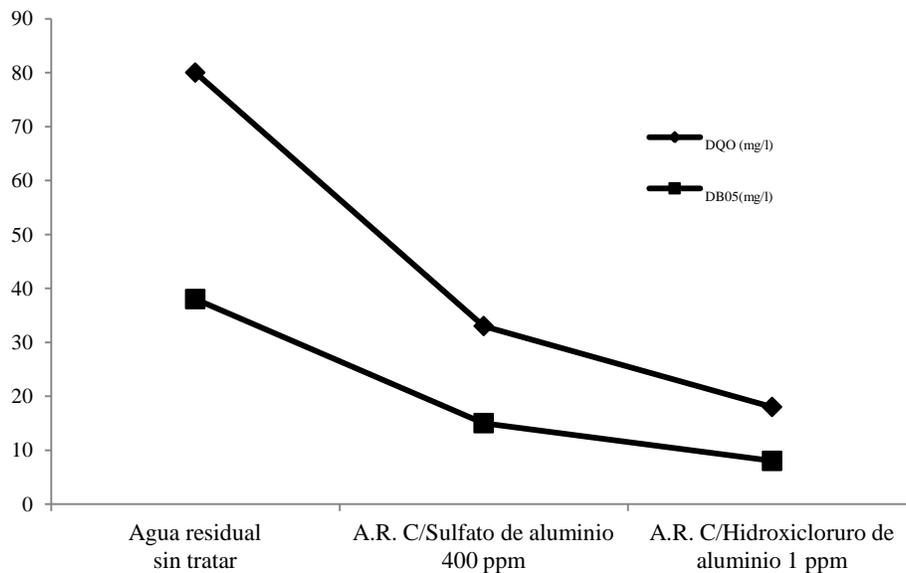


Figura 5. Comparación del comportamiento de la DQO y la DBO₅ con los coagulantes.

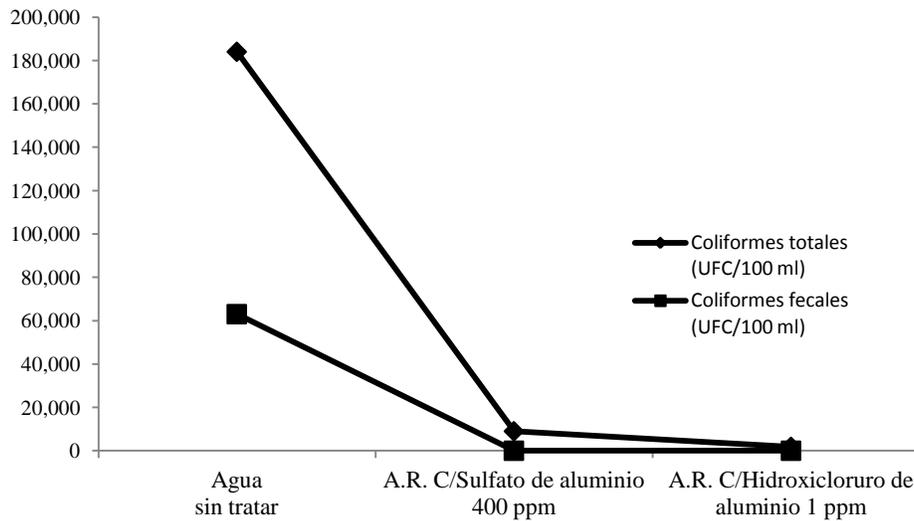


Figura 6. Comparación del comportamiento de los coliformes totales y fecales con los coagulantes.

Conclusiones

Se puede concluir que el agua del arroyo Hueleque, muestra que los parámetros de turbidez, pH, salinidad, conductividad, SDT, OD, DBO₅, DQO, coliformes totales y coliformes fecales del agua residual, no todos presentaron la misma eficiencia,

para la cal (CaO) presenta una muy baja actividad floculante, ya que logro su mínima turbidez con una cantidad muy elevada del mismo, por tal motivo es costoso. En el caso del $(Al_2(SO_4)_3)$, se observa que su actividad floculante es buena, sin embargo se requieren de cantidades elevadas para lograr llegar a su punto óptimo, y esto hace que el tratamiento sea

costoso. El hidroxiclورو de aluminio $[Al_2(OH)_5Cl_2 \cdot 5H_2O]$ mostro tener una actividad floculante muy buena debido a que las cantidades optimas para su tratamiento son muy bajas y por lo tanto resulta ser más barato.

Bibliografía

- Becaria A., Lahiri D., Bondy S., Chen D., Hamadeh A., Li H., Taylor R., Cambell A. 2006. Aluminum and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain. *Journal of Neuroimmunology*, 176: 16 – 23.
- Béjar I. M.I., Varas A. P., Ahumada A. M., Baeza S. X., Pinto S. M. 2005. Ingeniería de proceso, medioambiente y servicios. Ed. AASS y RILES. México, D. F. pp. 2 – 15.
- Campos G. J.L, Carrera M. J, Chamy M. R, Jeison N. D, Oyanedel B. V, Poirrier G. P, Roca B. E, Ruiz F. G, Szanton N. M, Zuñiga H. M.V. (2003). Avances en biotecnología ambiental: Tratamiento de residuos líquidos y sólidos; Archivos de ingeniería bioquímica 2: 1 – 9.
- Cartwright, P. 2009. Tratamiento y reuso del agua en aplicaciones comerciales e industriales. *Agua Latinoamérica*, 9 (1): 20 –24.
- Cogollo F. J. M. (2010), Clarificación de aguas usando clarificantes polimerizados: Caso Hidroxiclورو de aluminio. *Dyna*, 78(165): 18-27.
- Cogollo, J. and Rhenals, A. 2003. Optimización del proceso de clarificación en la planta de tratamiento de aguas de una embotelladora de bebidas. Montería [Trabajo de grado Ingeniero de Alimentos]. Montería: Universidad de Córdoba.
- Díaz-Mejía, W.H., Linares-Balmes, G., Contreras-Coronel N. 2007. Scientia et Technica, Universidad Tecnológica de Pereira. Determinación del coagulante que permita la máxima remoción de fosfatos en agua cruda del río Otún, Año XIII, No. 34: 607 – 612.
- McCurdy, K., Carlson, K. and Gregory, D. 2004. Floc morphology and cyclic shearing recovery: comparison of alum and polyaluminum chloride coagulants. *Water Research*, 38: 486 – 494.
- Morante, G. G. 2002. Electrocoagulación de aguas residuales. *Revista colombiana de física*, 34(2): 484 – 487.
- NMX-AA-003-1980. Norma Oficial Mexicana para la toma de muestras de aguas residuales. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-003-1980.pdf>. 2012.
- NOM-001-ECOL-1996. Norma Oficial Mexicana, que especifica la calidad del agua. http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080098300/1080098300_06.pdf. 2012.
- Nordberg G. F. 1990. Human health of metals in drinking water: relationship to cultural acidification. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 9(7): 887 – 894.
- Rayner-Canham, G. and Overton, T. 2003. *Descriptive Inorganic Chemistry*. 3ra Edición, W. H. Freeman and company, New York. 47 – 62.