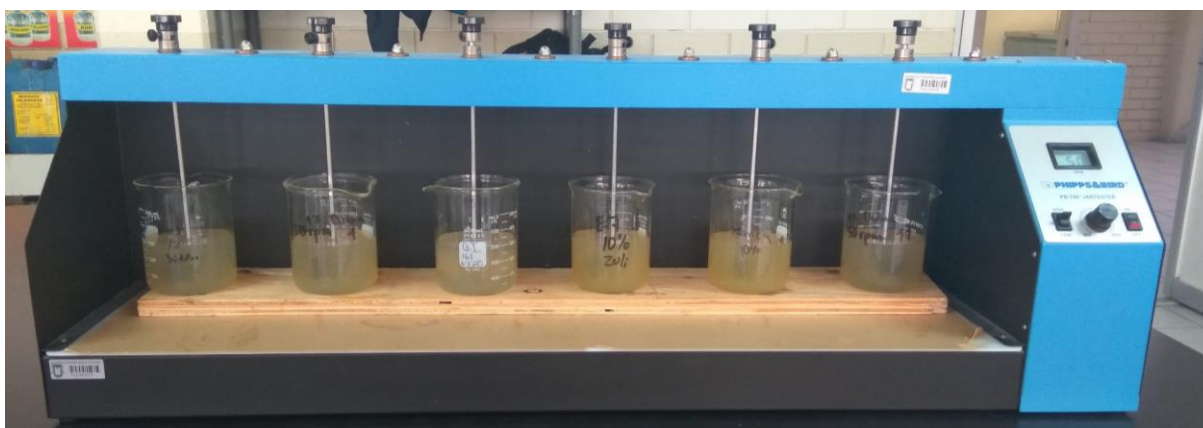


Coagulación de agua residual doméstica con policloruro de aluminio

Coagulation of domestic wastewater with aluminum polychloride



Fuente: Prueba de Jarras, Laboratorio de Análisis de Agua de la FCQI, UABC.

Eugenia Gabriela Carrillo Cedillo*, José Manuel Cornejo Bravo,
María del Pilar Haro Vázquez

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Calzada Universidad No.14418 Parque Industrial Internacional
C.P 22390, Tijuana B.C. México.

*Correspondencia para autor: Eugenia Gabriela Carrillo Cedillo
Universidad Autónoma de Baja California
Correo electrónico: gaby@uabc.edu.mx

Resumen

Se evaluó el desempeño del policloruro de aluminio (PAC), electrolito catiónico utilizado como coagulante, para dar tratamiento a muestras de agua residual doméstica de la ciudad de Tijuana provenientes de la alcantarilla municipal, midiendo parámetros como son: turbiedad, pH, color y sólidos suspendidos, con el fin de reducirlos utilizando la prueba de jarras y un diseño experimental con cuatro factores: Factor A: % PAC, Factor B: Velocidad de agitación en rpm, Factor C:Tiempo de agitación en min y Factor D: Tiempo de sedimentación en min. Entre las ventajas de utilizar PAC es que no requiere ajustar el pH, su manejo se considera sencillo, el producto se puede obtener de forma sólida o líquida.

Palabras clave: coagulante, agua residual doméstica, prueba de jarras, policloruro de aluminio, diseño de experimentos

Abstract

We evaluated the performance of aluminum polychloride (PAC), cationic electrolyte used as a coagulant, to treat samples of domestic wastewater from the city of Tijuana from the municipal sewer; measuring parameters such as: turbidity, pH, color and suspended solids, in order to reduce them using the jar test and an experimental design with four factors: Factor A: PAC%, Factor B: Stirring Speed in rpm, Factor C: Stirring Time in min and Factor D: Settling Time in min. Among the advantages of using PAC is that it does not require adjusting the pH, its handling is considered simple, the product can be obtained in solid or liquid form.

Key words: coagulant, domestic wastewater, test of jars, aluminum polychloride, Design of Experiments (DOE)

Introducción

En la actualidad, el crecimiento de la población ha traído el incremento de la generación de agua residual, la cual tiene composición fisicoquímica y microbiológica diversa; por tanto, los procesos de tratamiento de agua residual doméstica son cada vez más complejos y menos efectivos. Uno de los procesos que coadyuvan al tratamiento es la coagulación; este proceso es muy efectivo para eliminar sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, materiales orgánicos y color.

La coagulación es el proceso de desestabilización de partículas reduciendo la carga, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables (Andía Cárdenas, 2000), mientras que el coagulante es el material utilizado para lograr la coagulación (Hameed y col., 2016). El policloruro de aluminio (PAC) es un coagulante inorgánico de tipo catiónico, de acuerdo al proveedor (PAC, 2014). El PAC es una mezcla de Al^{+3} y de cationes poliméricos incluyendo al $[Al_2(OH)_2]^{+4}$, $[Al_8(OH)_{20}]^{+4}$, $[AlO_4Al_{12}(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{+7}$ y otras especies (Wang y col., 2015).

El objetivo de este trabajo es determinar la cantidad de policloruro de aluminio necesario para dar tratamiento al agua residual doméstica de la ciudad de Tijuana de las alcantarillas municipales, midiendo parámetros como son: turbiedad, pH, color y sólidos suspendidos, con el fin de reducirlos utilizando la prueba de jarras.

Materiales y Métodos

Equipo: Equipo para prueba de jarras PB-700 Jartester PhippS&Bird, potenciómetro VWR provisto con electrodo de vidrio para pH, medidor de turbidez modelo 2100P Hach con celdas de vidrio redondas de 10 mL, espectrofotómetro DR5000 Hach con celdas de vidrio redondas de 25 mL, micropipetas eppendorf de volumen variable de 100 a 1000 μ L.

Reactivos: Policloruro de aluminio, estándar de formacina, estándar de Pt-Co.

Equipo para toma de muestra: Cucharón de mango largo de polietileno de alta densidad con extensión.

Muestras: Agua residual doméstica de la alcantarilla de la Ciudad de Tijuana colectada el día del experimento.

Software: Statgraphics Centurion XVI.I.

Materiales: Vasos de precipitado de 600 mL, probetas de vidrio de 500 mL.

Metodología: Primeramente, se establecieron los factores a estudiar con sus respectivos niveles para cada variable estudiada; en la **Tabla 1** se muestran los factores:

Se realizó un diseño factorial 2^4 con dos puntos centrales, con 7 grados de libertad y resolución V_+ , en la **Tabla 2** se muestran las variables estudiadas a muestras de agua residual doméstica.

Tabla 1. Factores y variables.

Factor: Variable	Nivel	
	Bajo	Alto
Factor A: % PAC	1	10
Factor B: Velocidad de agitación	20	50
Factor C: Tiempo de agitación	10	30
Factor D: Tiempo de sedimentación	10	30

Tabla 2. Experimentos realizados.

E	PAC	Velocidad agitación	Tiempo agitación	Tiempo sedimentación	E	PAC	Velocidad agitación	Tiempo agitación	Tiempo sedimentación
	%	rpm	min	min		%	rpm	min	min
E1	1	20	10	10	E10	1	50	10	30
E2	1	50	30	10	E11	10	50	30	30
E3	1	50	10	10	E12	1	20	30	10
E4	1	50	30	30	E13	5.5	35	20	20
E5	10	20	10	10	E14	10	20	30	30
E6	10	50	10	10	E15	1	20	30	30
E7	10	50	30	10	E16	10	50	10	30
E8	5.5	35	20	20	E17	1	20	10	30
E9	10	20	30	10	E18	10	20	10	30

Para obtener las respuestas de la **Tabla 3**, se colocaron vasos de precipitado con 300 mL de agua residual doméstica, y a cada uno se le agregó el % PAC y se fijaron las condiciones experimentales de acuerdo con diseño factorial 2^4 .

Tabla 3. Respuestas para el diseño 2^4 .

Respuestas	Unidades
Turbiedad	UTN
Color	Unidades Pt-Co
Sólidos suspendidos	mg/L
pH	Unidades de pH

Resultados y Discusión

Se realizó el análisis de los datos obtenidos del diseño y en la **Tabla 4** se muestran los resultados del análisis de varianza para el parámetro de sólidos suspendidos, en el que se observa significancia estadística en los factores A: % PAC, el C: Tiempo de agitación y la interacción entre el % PAC-Velocidad de agitación.

Tabla 4. Análisis de varianza para sólidos suspendidos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-p
Factor A: %PAC	50422.7	1	50422.7	68.53	0.0001
Factor B: Velocidad de agitación	1676.9	1	1676.9	2.28	0.1749
Factor C: Tiempo de agitación	5249.0	1	5249.0	7.13	0.0320
Factor D: Tiempo de sedimentación	170.302	1	170.302	0.23	0.6451
AB	6798.0	1	6798.0	9.24	0.0189
AC	1517.1	1	1517.1	2.06	0.1942
AD	89.3025	1	89.3025	0.12	0.7378
BC	3300.5	1	3300.5	4.49	0.0719
BD	49.7025	1	49.7025	0.07	0.8024
CD	211.703	1	211.703	0.29	0.6083
Error total	5150.68	7	735.811		
Total (corr.)	74635.9	17			

En la **Figura 1** se muestra el gráfico de interacciones para el parámetro de sólidos suspendidos, donde se observa la interacción que existe entre el % PAC- Velocidad de Agitación.

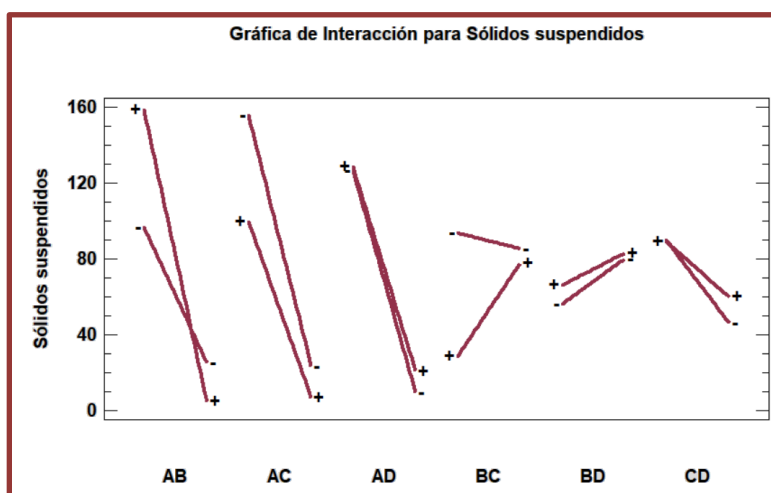


Figura 1. Gráfico de interacciones para sólidos suspendidos.

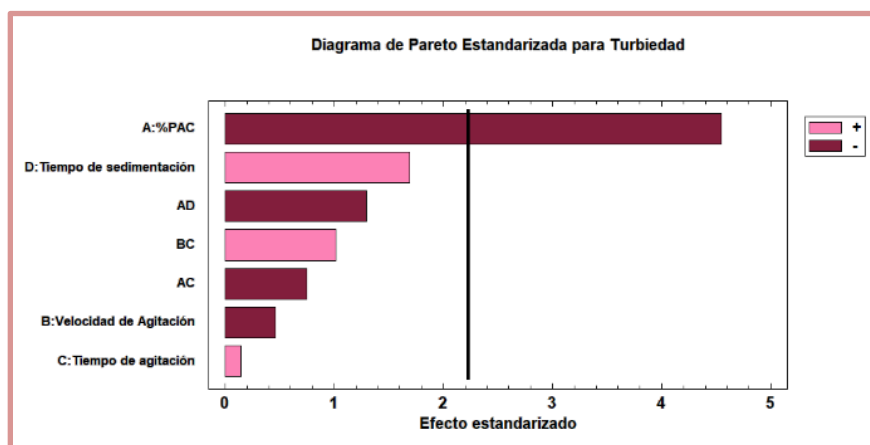


Figura 2. Diagrama de Pareto para turbiedad.

En el diagrama de Pareto para turbiedad (ver **Figura 2**) se observa nuevamente que el factor estadísticamente significativo es el % PAC.

En la **Imagen 1** se muestra el experimento número 15 después de esperar el tiempo sedimentación, en el que se ve claramente la coagulación obtenida.

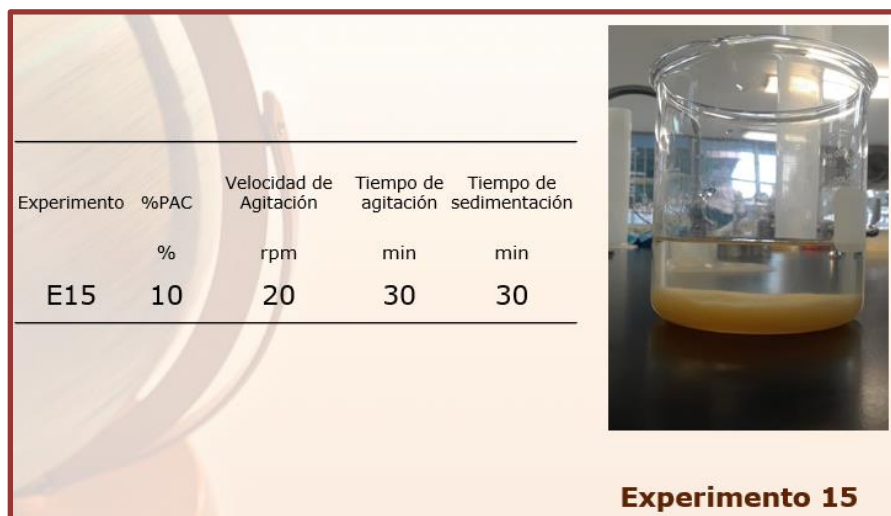


Imagen 1. Experimento 15.

El gráfico de contornos de la superficie de respuesta para color indica que, cuando se incrementa el % PAC, la coloración disminuye en el agua residual (ver **Figura 3**).

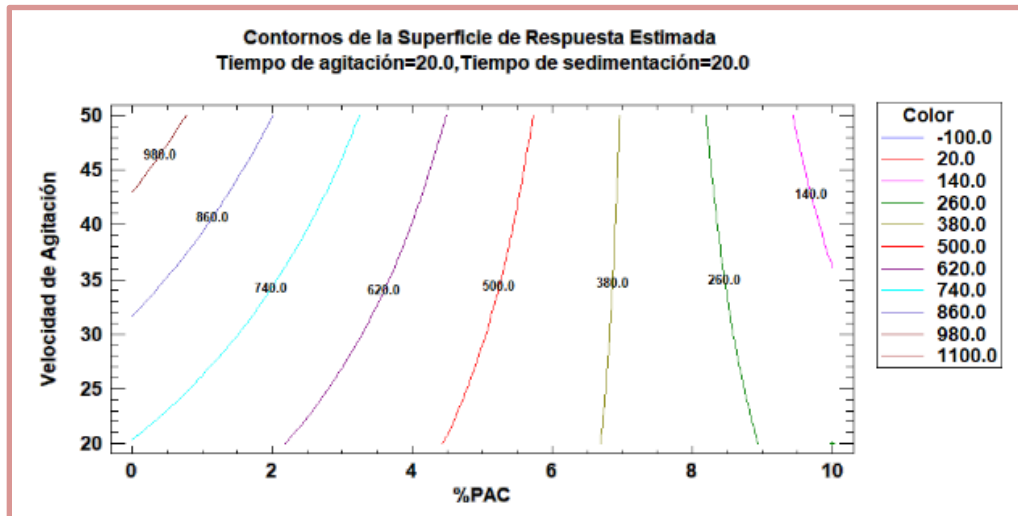


Figura 3. Gráfico de contornos de superficie de respuesta para color

En el caso de pH (ver **Figura 4**), se observa que al agregar 10 % PAC los valores se concentran entre 6.5 y 6.7 unidades de pH, lo que indica que no se modifica en gran medida este parámetro.

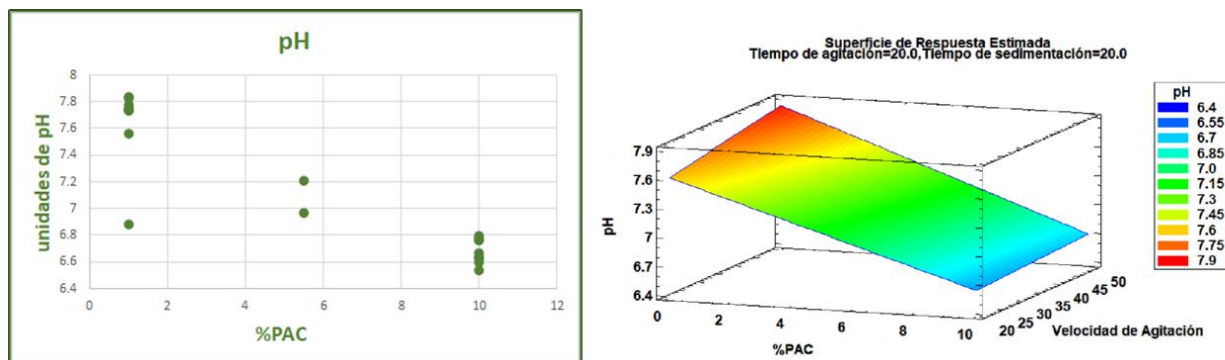


Figura 4. Gráfico de dispersión y superficie de respuesta para pH.

En la **Imagen 2** se observan los experimentos aplicando los tiempos de agitación y sedimentación de acuerdo con la **Tabla 2**, fijando la velocidad de agitación a 20 rpm; posteriormente, se realiza una decantación cuidadosa para proceder con las mediciones de los diferentes parámetros.

Conclusiones

La aplicación del electrolito catiónico PAC utilizado como coagulante, para dar tratamiento a muestras de agua residual domestica de la ciudad de Tijuana provenientes de la alcantarilla municipal, después de aplicar el diseño factorial 2^4 , mostró que las variables estadísticamente significativas son el % PAC, el tiempo de agitación y la interacción entre % PAC- Velocidad de Agitación. Las mejores condiciones para minimizar la turbiedad, el pH, el color y los sólidos

suspendidos son utilizar 10 % PAC, 20 rpm como velocidad de agitación, 30 minutos de tiempo de agitación y 10 minutos de tiempo de sedimentación.



Imagen 2. Experimentos con una velocidad de agitación de 20 rpm.
Fuente: Elaboración propia.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.
Al Cuerpo Académico de Biofarmacia con registro UABC-CA-287 del PRODEP.

Referencias

Andía Cárdenas, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación, SEDAPAL Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico [En línea]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf> Fecha de consulta: 25 de marzo de 2021.

Hameed, Y.T., Idris, A., Hussain, S.A& Abdullah, N. (2016). A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: Chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum chloride, and application in a pilot plant. *Journal of Environmental Management*. 184:494-503. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.10.033.

PAC (policloruro de aluminio). (2014). Aldar Química S.A de C.V [En línea]. Disponible en: [https://aniq.org.mx/pqta/pdf/POLICLORURO%20DE%20ALUMINIO%20PAC%20\(HT\).pdf](https://aniq.org.mx/pqta/pdf/POLICLORURO%20DE%20ALUMINIO%20PAC%20(HT).pdf) Fecha de consulta: 18 de febrero de 2021.

Wang, C., Alpatova, A., McPhedran, K.N& Gamal, El-Din. M. (2015). Coagulation/flocculation process with polyaluminum chloride for the remediation of oil sands process-affected water: Performance and mechanism study. *J Environ Manage*. 160: 254-262.
DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.06.025.