

## ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS FÍSICOQUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE LA FABRICACIÓN DE DETERGENTES.

L. Roa<sup>1</sup>, C. J. Seijas<sup>1,2</sup>, G. L. Bianchi<sup>1,3</sup>

1. Grupo Innovación Energética y Ambiental, Instituto Malvinas, Facultad de Ingeniería UNLP, Diagonal 80 N° 372, La Plata (1900), Bs. As., Argentina. E-mail: [lautaro.roa@ing.unlp.edu.ar](mailto:lautaro.roa@ing.unlp.edu.ar)
2. WET Argentina S.A. Av. Sucre 2477, Béccar (1643), Bs. As., Argentina.
3. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

### INTRODUCCION

Tanto las aguas potables como residuales contienen material, sólidos que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Gran parte de estos sólidos que no sedimentan, pueden ser coloides. En los coloides, cada partícula presenta cargas superficiales electrostáticas del mismo signo, haciendo que existan fuerzas de repulsión entre ellas. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que se aglomeren para formar masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Los procedimientos de coagulación y floculación, tienen la finalidad de desestabilizar los coloides, consiguiendo su sedimentación. Esto se logra mediante la adición de ciertos agentes químicos y la aplicación de energía de mezclado.

Dicho tratamiento físicoquímico comprende tres etapas: coagulación, floculación y decantación o flotación posterior. La coagulación consiste en la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas y así promover su aglomeración. Por lo tanto, en la primera mediante el agregado de un producto químico (electrolito) llamado coagulante se produce la eliminación de las capas eléctricas (neutralización) que rodean a todas las partículas coloidales dando lugar a la formación de núcleos microscópicos de precipitación; en la segunda, las partículas desestabilizadas se aglomeran primero en microfloculos, y más tarde en aglomerados de mayor volumen y peso llamados flóculos, de forma que puedan decantar. Finalmente, la decantación o flotación permitirá separar los agregados formados del seno del agua.

Los coagulantes más empleados son las sales de hierro y aluminio. En el caso de la floculación hay dos mecanismos por el cual las partículas se ponen en contacto, su propio movimiento y por agitación del fluido que las contiene, que luego inducirá al movimiento de éstas. No obstante, existen además productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso. También conocidos como ayudantes de coagulación, son productos cuya acción afecta a la velocidad de reacción (floculación más rápida) o a la calidad del flóculo (más pesado, más voluminoso y más coherente). El tipo de floculante es uno de los factores que influye en dicha etapa. Pueden clasificarse por su naturaleza (mineral u orgánica), su origen (sintético o natural) o el signo de su carga eléctrica (aniónico, catiónico o no iónico). Según el carácter iónico del grupo activo, los polímeros sintéticos comprenden:

- polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas;
- polielectrolitos aniónicos: con grupos (carboxílicos) ionizados negativamente;
- polielectrolitos catiónicos: en sus cadenas tienen una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amina, imina y amonio cuaternario.

En este contexto, el pH es un factor crítico en el proceso de coagulación, ya que conduce a la mínima solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado, como también lo será la selección del polielectrolito adecuado, para lograr un correcto tratamiento del agua.

## Objetivo

El objetivo de este trabajo fue desarrollar y optimizar el tratamiento físicoquímico (coagulación-floculación) de las aguas residuales provenientes de una empresa que se dedica a la fabricación de productos de limpieza e higiene personal como detergentes, suavizantes y champú, las cuales contienen una elevada carga orgánica. En total se estudiaron 6 muestras correspondiente a distintos procesos de elaboración de la planta (no se cuenta con la información de a qué producto pertenece cada uno de esos efluentes).

## Estudio de casos

El trabajo se basó en aplicar tratamientos físicoquímicos (coagulación- floculación) a las aguas residuales de una planta de fabricación de productos como detergentes, suavizantes y champú mediante el agregado de coagulante a base de policloruro de aluminio (PAC) W901<sup>®</sup> y un floculante aniónico W943<sup>®1</sup>.

El PAC es un coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas, ampliamente utilizado en un sinfín de procesos industriales como, por ejemplo, para remover color y materia coloidal en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, clarificación de efluentes industriales.

Las distintas muestras analizadas fueron trabajadas diluyéndolas en agua posteriormente se les adicionó a cada una diferentes concentraciones de coagulante con el objetivo de optimizar su agregado. El mezclado se realizó empleando un equipo de jarras marca Parsec modelo Aries VII, a una velocidad constante de 250 rpm, durante 120 segundos. Luego a cada muestra se le adicionó el floculante manteniendo la agitación durante 30 segundos, y una vez formado el floc, se dejaron en reposo durante 24 horas para observar si se lograba una separación (obteniéndose 2 fases, una con flóculos que flotan o sedimentan y la otra con líquido clarificado) o si no se separaban (se observa una única fase turbia). En las muestras que se obtuvo 2 fases, se procedió a determinar parámetros característicos del líquido clarificado como pH, conductividad,  $Al^{+3}$ , DQO y turbidez para luego comparar con las muestras originales.

En la Tabla 1 se presentan las características de las muestras previas al tratamiento.

Tabla 1. Características iniciales de las 6 muestras sin tratar.

Muestra	1	2	3	4	5	6
Dilución crudo	(1:5)	(1:5)	(1:5)	(1:5)	(1:5)	(1:10)
pH inicial	8,05	7,80	7,35	7,31	7,34	7,41
Turbidez inicial (FAU)	142	259	135	100	100	50
DQO inicial (mg/L)	18773	18369	8000	4916	4916	1929
Conductividad ( $\mu S/cm$ )	1563	1594	1023	897	874	671

## RESULTADOS Y DISCUSION

En las Tablas 2 – 6, se presentan los resultados obtenidos aplicando los tratamientos físicoquímicos a las Muestras 1 – 6.

<sup>1</sup> W901 y W943 son marcas comerciales pertenecientes a WET Argentina S.A.

Tabla 2. Resultados de los ensayos en la Muestra 1.

Ensayo	1	2	3
Dosis coagulante WC 901 (mg/L)	10000	7500	7000
Dosis floculante W943(mg/L)	50	50	50
Aluminio final (mg/L)	0,680	0,767	No hubo formación de floc.
Turbidez final (FAU)	37	6	
DQO final (mg/L)	401,2	501,6	
pH final (UpH)	4,11	4,31	
Conductividad final ( $\mu$ S/cm)	2260	2460	

Tabla 3. Resultados de los ensayos en la Muestra 2.

Ensayo	1	2	3	4
Dosis coagulante WC 901 (mg/L)	10000	7500	7000	5000
Dosis floculante W943(mg/L)	50	50	50	50
Aluminio final (mg/L)	0,784	0,666	0,882	No hubo formación de floc.
Turbidez final (FAU)	50	7	17	
DQO final (mg/L)	707,0	712,2	814,9	
pH final (UpH)	4,15	4,35	4,58	
Conductividad final ( $\mu$ S/cm)	2120	1766	1675	

Tabla 4. Resultados de los ensayos en la Muestra 3.

Ensayo	1	2	3	4
Dosis coagulante WC 901 (mg/L)	10000	5000	3500	3000
Dosis floculante W943(mg/L)	50	50	50	50
Aluminio final (mg/L)	No hubo formación de floc.	No hubo formación de floc.	0,792	No hubo formación de floc.
Turbidez final (FAU)			27	
DQO final (mg/L)			366,4	
pH final (UpH)			4,75	
Conductividad final ( $\mu$ S/cm)			1367	

Tabla 5. Resultados de los ensayos en la Muestra 4.

Ensayo	1	2	3	4
Dosis coagulante WC 901 (mg/L)	10000	5000	2500	2000
Dosis floculante W943(mg/L)	50	50	50	50
Aluminio final (mg/L)	No hubo formación de floc.	No hubo formación de floc.	0,537	No hubo formación de floc.
Turbidez final (FAU)			13	
DQO final (mg/L)			287,8	
pH final (UpH)			4,55	
Conductividad final ( $\mu$ S/cm)			1361	

Tabla 6. Resultados de los ensayos en la Muestra 5.

Ensayo	1	2	3	4	5
Dosis coagulante WC 901 (mg/L)	10000	5000	3000	2000	1000
Dosis floculante W943(mg/L)	50	50	50	50	50
Aluminio final (mg/L)	No hubo formación de floc.	No hubo formación de floc.	No hubo formación de floc.	0,535	0,707
Turbidez final (FAU)				16	28
DQO final (mg/L)				359,9	382,8
pH final (UpH)				6,27	4,79
Conductividad final ( $\mu$ S/cm)				1111	1357

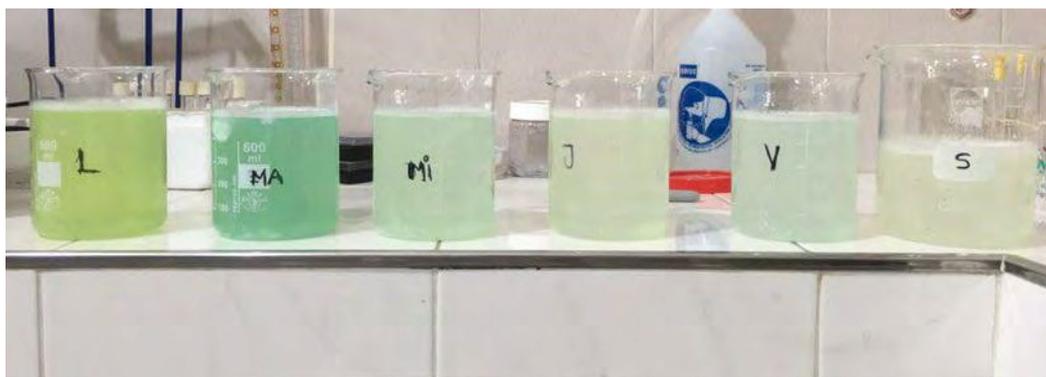
Tabla 7. Resultados de los ensayos en la Muestra 6.

Ensayo	1	2	3	4	5	6	7
Dosis coagulante WC 901 (mg/L)	10000	5000	2500	5000	2500	1000	750
Dosis floculante W943(mg/L)	50	50	50	50	50	50	50
Aluminio final (mg/L)	No hubo formación de floc.	0,95	0,091	No hubo formación de floc.			
Turbidez final (FAU)					13	17	
DQO final (mg/L)					189,3	178,8	
pH final (UpH)					9,35	7,14	
Conductividad final ( $\mu$ S/cm)					1680	1083	

Se puede observar que en todos los casos se encontraron rangos de concentración de coagulante agregado donde el método presentó buenos resultados. Por debajo de ese rango óptimo, no se observó formación de floc. Esto hace suponer que el agregado de coagulante no fue suficiente para lograr la desestabilización de la suspensión coloidal. Por encima del rango óptimo, tampoco se logra formación de floc. En este caso se debe a que el exceso de coagulante desestabiliza al floc formado y lo vuelve a disolver en el medio.

En las Figura 1 se puede observar la turbidez y coloración de las muestras antes del tratamiento.

**Figura 1.** Muestras diluidas, previo al tratamiento fisicoquímico. De izquierda a derecha, Muestras 1-6, respectivamente.



En la Figura 2 se observan las muestras de la Figura 1, luego de un ensayo de coagulación y floculación.

Figura2. Resultados de los ensayos en distintas muestras.. De izquierda a derecha, Muestras 1-6, respectivamente.



Las muestras identificadas con L y MA, que se corresponden con las Muestra 1 y 2 respectivamente, presentan el líquido clarificado y los flocs formados en una condición óptima del tratamiento. Las identificadas con Mi y V, correspondientes a las Muestras 3 y 5 respectivamente, representan a los casos de exceso de floculante. Las indicadas como J y S, que se corresponden a las muestras 4 y 6 respectivamente, presentan la situación de cantidad de coagulante insuficiente.

En la Tabla 8 se presentan los porcentajes de reducción promedio de DQO y turbidez.

Tabla 8. Resultados del análisis del líquido clarificado en cada una de las muestras tratadas.

Ensayo	1	2	3	4	5	6
%Reducción DQO promedio	97,6	95,9	95,4	94,1	93,1	90,5
%Reducción Turbidez promedio	84,9	90,5	80,0	87,00	76,6	70,00

Se puede observar en todos los casos porcentajes de reducción de DQO mayores al 90%, y reducciones de turbidez entre 70-90%.

## CONCLUSIONES

Por medio de los ensayos realizados se encontró que las condiciones óptimas del proceso varían entre 2000 – 7500 mg/L de coagulante y 50 mg/L de floculante. Con estas condiciones operativas, los resultados finales observados en los sobrenadantes de las muestras tratadas, fueron de 200 - 400 mg/L de DQO final, lo que representa una reducción de la DQO de 90 – 95 % de los valores iniciales, y una turbidez final de 10 – 20 FAU lo que representa una reducción del 70 – 90 %.

Se demostró que los métodos de coagulación-floculación química son efectivos en el tratamiento de efluentes provenientes de la fabricación de detergentes, obteniéndose muy altos porcentajes de reducción de DQO y turbidez en las muestras tratadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Metcalf y Eddy, Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, Vol. 1, 3ª Ed., McGraw-Hill.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition, E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, L.S. Clesceri, APA, AWWA, Edition: 2012.

- S. L. Maldonado Páez. Estudio de la remoción de detergentes aniónicos tipo sulfato con carbón activado. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito, 2008.