



POLIMEROS INORGANICOS COMO COAGULANTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A. Quiroga-Almaguer^a, H. Rodriguez-Badillo^a, P. Rangel-Rivera^a, G. Rangel-Porras^a.

^a Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Química. Noria Alta s/n Col. Noria Alta. C.P. 36050, Guanajuato, Gto., México., q.adanquiroya@gmail.com, rodr._hector@hotmail.com, ranriv@hotmail.com, gporras@ugto.mx

RESUMEN

La gestión integral y el tratamiento de la manera más completa de aguas residuales, cuyas fuentes sean tanto domésticas como industriales, es una de las principales preocupaciones a nivel mundial en años recientes. Una de las sustancias más utilizadas en estos procesos son los coagulantes, cuya función es desestabilizar las partículas coloidales en suspensión, favoreciendo su aglomeración y de esta manera eliminar la turbiedad y la concentración de materia orgánica y microorganismos en aguas tratadas. Por lo general se utilizan como coagulantes sales tales como sulfatos o cloruros metálicos, sin embargo el empleo de productos poliméricos coagulantes se ha visto incrementado de manera sustancial conforme se desarrollan nuevas metodologías de la gestión de aguas residuales. Dichos materiales se conforman por unidades moleculares que se repiten periódicamente, de manera que se unen mediante enlaces químicos, para finalmente formar cadenas de moléculas de características coloidales. Dichos materiales poliméricos cuentan con uno o más grupos ionizables que proveen cargas de características específicas. Estos coagulantes son caracterizados mediante técnicas tales como espectroscopía infrarroja, difracción de rayos X de polvos, adsorción de N₂ a 77 K y espectroscopía Raman. Este trabajo muestra un resumen general de los coagulantes híbridos usados en tratamientos de aguas residuales.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento para aguas residuales, consiste principalmente en tres tratamientos, el tratamiento primario, consiste en la filtración de partículas grandes y eliminación de sólidos, posteriormente en el tratamiento secundario, se realizan procesos de eliminación de contenido biológico y moléculas orgánicas a través del uso de microorganismos, y finalmente, en el tratamiento terciario se eliminan partículas muy estables en agua, además de iones tóxicos y se desinfecta o purifica para su posterior utilización. En el tratamiento terciario, es en el cual es más complicado realizar una eliminación de los contaminantes presentes en el agua, debido a que existen moléculas complejas o partículas que poseen una gran estabilidad en suspensión. La gran estabilidad de las moléculas es generada por la dimensión de los agregados, solo pueden ser observadas a través de un microscopio, porque su tamaño está entre 1 nm hasta 1 µm, además, estas partículas poseen cargas en su superficie que impide su aglomeración. Estas partículas son denominadas, partículas coloidales. Los procesos utilizados, como lo es la cloración la ozonización, solo son utilizados para desinfectar evitar el crecimiento de microorganismos y no son capaces de eliminar estas moléculas o partículas, tampoco los procesos comunes de filtración aplicados en pasos anteriores son eficientes para retener estas partículas con tamaños nanométricas. El tratamiento adecuado de partículas coloidales consiste principalmente en la desestabilización de las cargas presentes en la superficie.



Para lograr la eliminación de las cargas superficiales, y además conseguir la aglomeración de partículas para una eliminación más eficaz, se utilizan diferentes técnicas, en las cuales se aplican voltajes altos, se usan materiales catalíticos e incluso tratamientos con irradiación de luz. Sin embargo, lo que dificulta su adecuación de las técnicas mencionadas a los procesos actuales es su elevado costo, ya sea por la síntesis del material catalítico, la misma toxicidad o se requieren de plantas para tratamiento de aguas con equipamiento más especializado. Por otro lado, la técnica más simple para tratamiento de partículas coloidales, es el cambio de pH, que neutraliza cargas superficiales y disminuye la estabilidad de los coloides, pero con la desventaja de que difícilmente logran que las partículas puedan formar aglomerados y en mejor de los casos, en periodos de tiempo muy prolongados. Sin embargo, existe otra técnica muy utilizada a nivel mundial en la actualidad en las plantas de tratamiento de aguas residuales, que se complementa con los cambios de pH, para una mayor eficiencia. Esta técnica consiste principalmente, en la adición de agentes coagulantes – floculantes.

La coagulación consiste en la neutralización de la carga de las partículas suspendidas en el agua y el proceso de floculación consiste en la aglomeración de las partículas en suspensión, ambos procesos, favorecen la agregación y posterior eliminación de partículas. Como se muestra en la figura 1, a una suspensión de partículas coloidales, se le adiciona un agente coagulante que neutraliza las cargas de las partículas suspendidas, posteriormente, se adiciona un agente floculante que promueva la interacción entre las partículas coaguladas y como consecuencia, una precipitación de los compuestos anteriormente suspendidos para su eliminación, ya sea por medio de filtración o simple decantación.

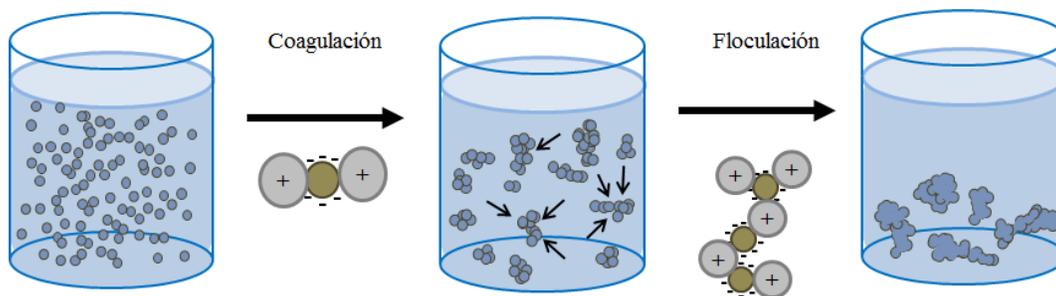


Figura 1. Proceso de coagulación – floculación, mediado a través de la adición de un agente desestabilizante de partículas coloidales.

Existe un gran número de compuestos químicos capaces de modificar la estabilidad de una partícula suspendida y promover su eliminación, estos compuestos son conocidos como agentes coagulantes o floculantes. En la rama de la química inorgánica, las sales de metales como el hierro y el aluminio, son utilizados como agentes coagulantes, por otro lado, en la rama de la química orgánica, se prefieren generalmente moléculas poliméricas para la floculación de partículas [1].

2. MATERIALES HIBRIDOS

Los compuestos inorgánicos utilizados como agentes desestabilizantes son sales metálicas como $Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ y $FeCl_3$, por mencionar las más utilizadas. Por otro lado, los compuestos orgánicos utilizados en los mismos procesos, son moléculas de alto peso y de alta solubilidad en agua, como la poliacrilamida y el cloruro de polidimetildialilamonio. Existen también compuestos más complejos que poseen la mezcla de las propiedades o que poseen nuevas características, y por ello, mayor eficiencia en los procesos de tratamiento de aguas. Los investigadores pretenden



optimizar los procesos por medio de la combinación de moléculas, con el objetivo de generar nuevas propiedades aglutinantes o la optimización de las ya existentes, estos materiales se componen por dos o más tipos diferentes de componentes en una matriz polimérica. La clasificación para estos materiales híbridos depende del tipo de interacciones entre componentes, existen tres grupos principales:

- Material híbrido por estructura: Sintetizado a través de la mezcla de componentes a nivel macroscópico, combinando las propiedades de sus precursores.
- Material híbrido por enlaces químicos: materiales que poseen una combinación y mezcla de átomos y moléculas que optimiza las propiedades del material.
- Material híbrido funcionalizado: Son aquellos que a través de la combinación de sus componentes, pueden realizar más de una función, sin la necesidad de complementos.

Y a su vez, estos grupos se describen como la combinación de materiales inorgánicos, moléculas orgánicas, polímeros naturales y biopolímeros. Principalmente se utilizan los materiales híbridos compuestos por la combinación de materiales inorgánico-inorgánico e inorgánico-orgánico para los procesos de tratamiento de aguas.

Existen materiales híbridos compuestos por moléculas inorgánico-inorgánico, conocidos como coagulantes poliméricos inorgánicos (IPC), son coagulantes pre-hidrolizados como el policloruro de aluminio, policloruro férrico y polisulfato férrico. La relevancia de estos compuestos es debida a la capacidad para soportar las temperaturas y pH utilizados en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Los materiales híbridos inorgánicos-inorgánicos son mejores en los procesos de coagulación-floculación que los coagulantes convencionales basados en aluminio o en hierro, pero poseen una menor capacidad comparados con los coagulantes poliméricos orgánicos, debido a que estos poseen un bajo peso y tamaño molecular, resultando en una baja capacidad de agregación. Por otro lado, los compuestos híbridos inorgánico-orgánico más utilizados son la poliacrilamida y el cloruro de polidimetildialilamonio por su alto peso molecular y su alta solubilidad en agua. La poliacrilamida es uno de los compuestos orgánicos más utilizado en los materiales híbridos, ya que posee alto peso molecular, alta solubilidad, bajo costo y puede ser modificada químicamente. Los coagulantes inorgánicos y los IPC pueden ser modificados con poliacrilamida para generar componentes híbridos inorgánicos-orgánicos y mejorar sus propiedades de agregación [2 - 5].

Los materiales híbridos se utilizan en diversas áreas, por ejemplo, los IPCs de aluminio e IPCs de hierro son utilizados en la coagulación-floculación de colorantes en la industria textil [6]. Sin embargo, su uso no se limita a la coagulación o floculación en procesos de purificación de agua, ya que también se han realizado estudios de compuestos pre-hidrolizados de hierro y aluminio modificados con poliacrilamida y acrilato de sodio, aplicados sobre modelos de suspensiones de caolín y ácidos húmicos [7] debido a que poseen propiedades como agentes adsorbentes. Los materiales híbridos al contar con diversas aplicaciones, existe un gran interés por parte de los investigadores para generar materiales más eficientes, como lo son los materiales híbridos funcionalizados, los cuales permitan realizar funciones de coagulación – floculación, además de la eliminación por medio de otros procesos, como por ejemplo, estudios de purificación de iones metálicos tóxicos en agua por medio de procesos de coagulación-floculación [9]. Por mencionar un ejemplo de suma importancia, existen materiales híbridos que pretenden la adsorción de metales como el arsénico. La remoción de arsénico por medio de materiales híbridos es llevada a cabo a través de varias metodologías utilizando materiales híbridos, entre las cuales se han reportado su tratamiento por medio de la adsorción sobre óxido de zirconio modificado con poliacrilamida [10] y



sobre materiales híbridos de nanotubos de carbono con zirconia [11] en los procesos de potabilización del agua.

3. CARACTERIZACION DE MATERIALES

Existen diversos métodos para la caracterización de los materiales híbridos, pero los que se utilizan principalmente para la determinación de la estructura de estos materiales híbridos, son aquellos que permiten ver la estructura y los grupos funcionales que permiten diversas funciones, como las que permiten llevar a cabo fenómenos de coagulación, de floculación, adsorción, oxidación, etc. Uno de las técnicas que permite ver la estructura de un compuesto es la difracción de rayos-X (DRX), esta técnica aplicada en los materiales híbridos ayuda a determinar la estructura cristalina de los componentes inorgánicos y determinar si alguna fase cristalina favorece las interacciones o en el caso de materiales arcillosos, el espacio interlaminar y si es posible la interacción de moléculas en este espacio. En la figura 2, se puede observar un difractograma de rayos-X, que muestra la señal del espacio interlaminar de una arcilla, la cual puede retener moléculas en sus superficie, como en su espacio interlaminar.

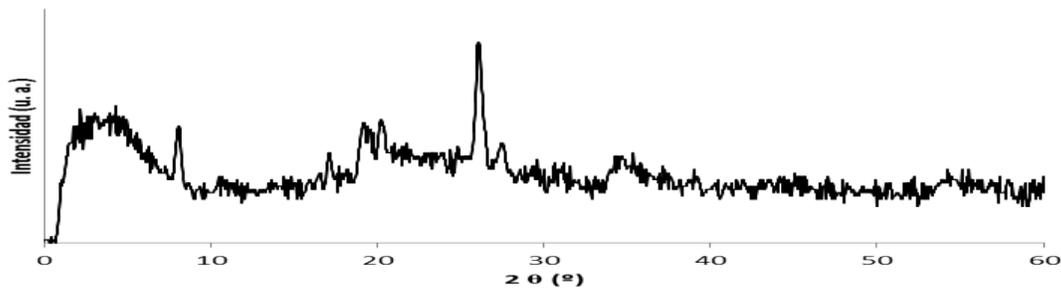


Figura 2. Difractograma de rayos-X, en el que se muestra las señales características de una arcilla tipo montmorillonita.

Otra técnica auxiliar en la determinación de las propiedades de los coagulantes híbridos es la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). Esta técnica permite observar los grupos funcionales principales de las moléculas híbridas. Al analizar estos grupos, se puede determinar las diferentes interacciones por las cuales se pueden desestabilizar partículas coloidales. Por otro lado, La Tabla 1 presenta valores del área superficial obtenidos mediante la adsorción de N₂ a 77° K, ya que se utiliza para la caracterización textural de los compuestos híbridos, por medio de esta técnica además se puede obtener el tamaño de los poros, que complementado con el tipo de sitios ácidos, proporciona información es fundamental para proponer un mecanismo de interacción de coagulante y partículas suspendidas a través de la interacción entre la superficie y la difusión en los poros.

Tabla 1. Características superficiales de algunos sólidos inorgánicos.

Material	Área superficial (m ² g ⁻¹)	Sitios ácidos en sus superficie	Capacidad de intercambio iónico
Al ₂ O ₃	300	Brønsted	Bajo
Arcilla montmorillonita 1	250	Lewis	Medio
Arcilla montmorillonita 2	10	Brønsted	Alto



Las técnicas de caracterización mostradas solo son un ejemplo para obtener información estructural de un material, ya que a partir de esta información se pueden proponer mecanismo de reacción, que a su vez, son esenciales para el entendimiento de los fenómenos de coagulación – floculación funcionalizados con otros procesos de tratamiento de partículas.

4. CONCLUSIONES

Existen diferentes compuestos que pueden ayudar a la eliminación de partículas coloidales en el tratamiento de aguas, sin embargo se busca optimizar el agente coagulante o floculante por medio de la mezcla de compuestos y optimizar sus propiedades originales, esto se logra a través de la hibridación de materiales, de los cuales, los materiales híbridos funcionalizados, combinan propiedades que pueden llevar a cabo diferentes fenómenos con una misma estructura. No se requieren una modificación en los métodos convencionales de tratamiento de aguas para separar los sólidos adsorbentes, porque los cambios se llevan a cabo sobre los materiales. El método de coagulación-floculación puede ser complementado con otras técnicas de eliminación, como la adsorción, ya que la coagulación-floculación es uno de los métodos de purificación menos costosos y no es necesario un gran cambio en las plantas de tratamiento de aguas.

BIBLIOGRAFÍA

1. P. Bhattacharya, A.H. Welch, K.G. Stollenwerk, M.J. McLaughlin, J. Bundschuh, G. Panaullah; Arsenic in the environment: Biology and Chemistry; Science of the Total Environment; 379, 2007, pp. 109–120.
2. K.E. Lee, N. Morad, T.T. Teng, B.T. Poh; Development, characterization and the application of hybrid materials in coagulation/flocculation of wastewater: A review; Chemical Engineering Journal; 203 (2012) 370–386.
3. P.A. Moussas, A.I. Zouboulis; A new inorganic–organic composite coagulant, consisting of polyferric sulphate (PFS) and polyacrylamide (PAA); Water Res.; 43 (2009) 3511–3524.
4. P.A. Moussas, A.I. Zouboulis; A study on the properties and coagulation behaviour of modified inorganic polymeric coagulant-polyferric silicate sulphate (PFSiS); Sep. Purif. Technol.; 63 (2008) 475–483.
5. K.E. Lee, B.T. Poh, N. Morad, T.T. Teng; Synthesis and characterization of hydrophobically modified cationic polyacrylamide with low concentration of cationic monomer; J. Macromol. Sci. Pure; 46 (2009) 240–249.
6. A.K. Verma, R.R. Dash, P. Bhunia ; A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters; Journal of Environmental Management; 93 (2012) 154-168.
7. P.A. Moussas, N.D. Tzoupanos, A.I. Zouboulis; Advances in coagulation/flocculation field: Al- and Fe-based composite coagulation reagents; Desalination and Water Treatment; 33 (2011) 140–146.
8. T. Tshukudu, H. Zheng, X. Hua, J. Yang, M. Tan, J. Ma, Y. Sun, G. Zhu; Response surface methodology approach to optimize coagulation-flocculation process using composite coagulants; Korean J. Chem. Eng.; 30(3) (2013) 649-657.
9. X. Du, F. Qu, H. Liang, K. Li, H. Yu, L. Bai, G. Li; Removal of antimony (III) from polluted surface water using a hybrid coagulation–flocculation–ultrafiltration (CF–UF) process; Chemical Engineering Journal; 254 (2014) 293–301.
10. S. Mandal, M.K. Sahu, R.K. Patel; Adsorption studies of arsenic(III) removal from water by zirconium polyacrylamide hybrid material (ZrPACM-43); Water Resources and Industry; 4 (2013) 51–67.