

REMOCIÓN DE METALES PESADOS MEDIANTE PARTÍCULAS COLOIDALES COMO AUXILIARES EN UN PROCESO DE COAGULACIÓN

Cabrera Hernández Lilliana (1), Rangel Porras Gustavo (2)

1 [Licenciatura en Química, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [l.cabrerahernandez@ugto.mx]

2 [Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [gporras@ugto.mx]

Resumen

Las sales de aluminio para la eliminación de partículas coloidales durante el proceso Coagulación-Floculación son comúnmente empleadas. Sin embargo, se necesitan altas concentraciones, provocando la presencia de Al^{3+} residual en solución, representando factores negativos en la salud a grandes cantidades. En este trabajo se sintetizan 2 materiales híbridos a base de Bentonita a manera de desarrollar compuestos que puedan servir como alternativas para los procesos de coagulación en el tratamiento de aguas. Por medio de pruebas de jarras se seleccionó el más eficiente, así como se estableció su dosis apropiada, siendo el de Bentonita con almidón oxidado el que mostro mejores resultados en cuanto a la reducción de turbidez, % Remoción, características y velocidad de formación de floculos, representando ser un coagulante sustituto potencial en este tipo de procesos.

Abstract

Aluminum salts for the elimination of colloidal particles during the Coagulation-Flocculation process are widely used. However, the high concentrations of this salt require in the process have in consequence the presence of remnant aluminum in solution, which represent a risk for the human health factors in high quantities. In this work, two hybrid clay-based materials were synthesized for the purpose to develop additives that serve as alternatives in the coagulation processes for the water treatment. The most efficient coagulant was select by jar test and the appropriate dosage is also established. Bentonite with oxidized starch showed better turbidity reduction, %Reduction and type of floccules, representing a potential substitute coagulant in this type of process.

Palabras Clave

Coagulación; Floculación; Híbridos; Bentonita; Turbidez.

INTRODUCCIÓN

El proceso de coagulación-floculación consiste en la adición de sustancias químicas con el fin de desestabilizar y favorecer la coalescencia de las partículas coloidales suspendidas, que son causantes de la turbidez del agua, formándose los llamados floculós para su posterior eliminación. La determinación de la dosificación óptima del coagulante se realiza por medio de ensayos de jarras, que simulan las condiciones de este proceso a nivel laboratorio [1 y 2], a manera de reducir la turbidez, color aparente, entre otras cosas.

Para dicho proceso se emplean muy comúnmente sales de aluminio, siendo el policloruro de aluminio (PCA) el más utilizado durante las últimas décadas para el tratamiento del agua debido a su bajo costo y eficacia [3]. Sin embargo este tipo de sales tienden a aumentar la presencia de iones Al^{3+} en solución, ocasionando efectos negativos en la salud a grandes concentraciones [4].

La Bentonita es un mineral arcilloso (aluminosilicato hidratado) de fórmula general $Al(Mg)(Si_8O_{20})(OH)_4 \cdot XH_2O^*$, perteneciente al grupo de los minerales conocidos como esmectitas dioctaédricas. Su estructura consiste en dos láminas tetraédricas que intercalan una lámina octaédrica [5].

Una de sus importantes aplicaciones es usarla como adsorbente de contaminantes inorgánicos, que están disponibles en el agua [6]. El modificar su superficie permite mejorar sus propiedades de adsorción así como ampliar su aplicación [7]. Debido a esto, lo que se pretende con este trabajo es desarrollar materiales híbridos a base de arcillas y polisacáridos como auxiliares en procesos de coagulación, para su posterior aplicación en la remoción de iones metálicos presentes en el agua.

Para ello se utiliza un sistema de prueba de jarras en presencia de partículas de caolín, obteniendo de esta manera las condiciones y dosificación óptima del material durante el proceso Coagulación-Floculación y así lograr una mayor eficiencia en la remoción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Síntesis

Se agitó 10g de Bentonita con .570 mL de H_2SO_4 0.1 M por 24 Hrs, después se separó mediante centrifugación (3000 rpm a 10 min) se lavó tres veces con agua desionizada y posteriormente se secó.

Para la impregnación con almidón se calentó a 60 °C durante 30 min 2 g de Almidón de maíz con 70 mL de H_2O destilada, adicionándose 4 g de Bentonita en agitación por 1 Hr. Se ajustó pH=6 con NaOH 1M. Posteriormente se agito por 24 Hrs, separó, lavo y secó nuevamente. Posteriormente, parte del material obtenido fue sometido a un proceso de oxidación utilizando peróxido de hidrógeno.

Preparación de las Suspensiones de caolín

Se adicionaron 0.3 g de caolín y 0.584 g de NaCl para 1L de agua, agitándose durante 4 Hrs, posteriormente se dejó reposar por 2 Hrs y se eliminó el material sedimentado. Se ajustó el pH=6 utilizando HCl concentrado e NaOH 1M.

Prueba de Jarras

Se empleó un Turbidímetro HACH 2100Q con el fin de monitorear el proceso de coagulación-floculación, reportándose en unidades nefelométrías (NTU). Para la prueba de jarras se utilizó un equipo de Flocculation tester marca VELP SCIENTIFICA modelo FC4S ocupando 1L de alícuota (Suspensión de caolín y Agua de presa) para c/u Jarra. Se adicionó el coagulante (BAO, BA y Albumina) aplicándose una agitación de 120 rpm durante 3 min, posteriormente, se adiciono el Floculante (PAM) ajustándose la agitación a 45 rpm durante 30 min. Finalmente se interrumpió la agitación a manera de sedimentación de los floculós por 20 min.

Caracterización

Los materiales sintetizados se analizaron mediante diferentes técnicas espectroscópicas: Para la espectroscopia infrarroja se utilizó un espectrofotómetro de transformada de Fourier infrarroja (FT-IR) Spectrum 100 de Perkin Elmer, en un rango de número de onda 4000 a 400 cm^{-1} con una resolución de 4 scans/seg. y 8 scans por muestra. Se llevaron a cabo pruebas de microscopía electrónica de barrido (SEM) y Fisorción de nitrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización

-Espectroscopia Infrarroja

Los espectros infrarrojos que se muestran en la imagen1, indican la presencia de bandas alrededor de (3700, 3400 y 1640) cm^{-1} correspondientes a grupos -OH referentes a Al-OH, Al-OH-Mg así como H_2O que pudiera estar adsorbida sobre la superficie del sólido. Los cambios observados de esta señal puede deberse a la adición de estos grupos correspondientes a la adición de almidón. Las señales a (2926, 2860, 1460 y 1370) cm^{-1} están relacionadas con la vibración C-H de la cadena ramificada del anillo de piranosa del almidón. La aparición de la señal a 1708 cm^{-1} podría deberse a la presencia de C=O, correspondiente al proceso de oxidación. Las bandas características referentes a la bentonita dioctaédrica son las observadas a (1050, 917, 800, 620 y 525) cm^{-1} correspondientes a enlaces SiO_4 , Al-O, Si-O-Mg, Al-O-Si y Si-O-Si, mientras que para el grupo $(\text{SO}_4)^{2-}$ se encuentra en (980 y 1050) cm^{-1} .

-Fisorción de Nitrógeno

En la figura1 se muestran las isothermas de adsorción-desorción para los materiales sintetizados. Se ajustan a una tipo IV, según la clasificación de la IUPAC, donde se aprecia un lazo de histéresis característico de los materiales mesoporosos (2-50 nm), debido al fenómeno de condensación capilar. Dichos lazos son del tipo H3, que indica un material compuesto por partículas laminares, propio de las arcillas. La disminución de este lazo está relacionado con el tipo y tamaño de poro, siendo para los más pequeños como la Bentonita con almidón oxidado un bucle de histéresis menor comportándose más como un material microporoso o casi no poroso (Figura 1b y c). A medida que el

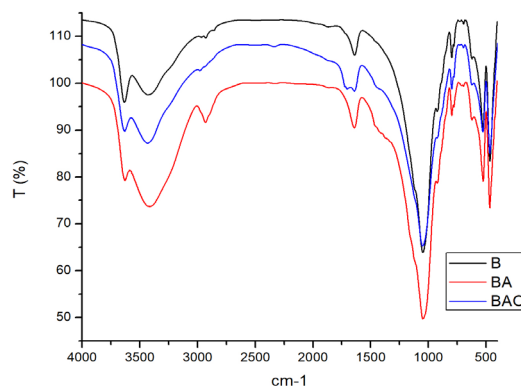


Imagen 1. Espectro infrarrojo con KBr de Bentonita (B), Bentonita con almidón (BA) y Bentonita con almidón oxidado (BAO).

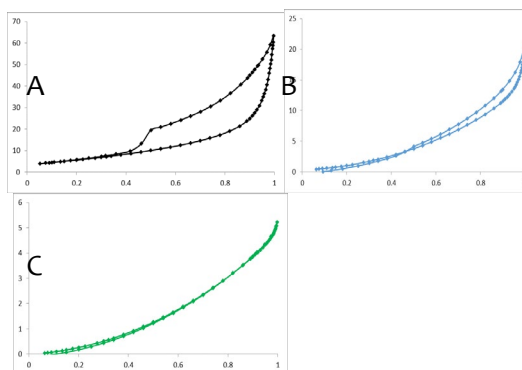


Figura 1: Isothermas de adsorción-desorción por fisorción de N_2 . A) Bentonita, B) Bentonita con Almidón, C) Bentonita con almidón oxidado.

tamaño de los poros disminuye, el área superficial por unidad de masa aumenta (Tabla1). La figura 2 muestra las isotermas de desorción determinada con el modelo BJH para la determinación de distribución del tamaño del poro en el material, observándose que la Bentonita tiene una distribución mayormente homogénea, siendo el caso contrario (heterogénea) la bentonita con almidón oxidado.

Tabla 1: Propiedades texturales de los materiales sintetizados obtenidos por fisiorción de N₂.

Material	Bentonita	Bentonita con Almidón	Bentonita con Almidón oxidado
Área superficial BET (m ² /g)	8.47	21.98	52.16
Promedio diámetro poro; Desorción BET (nm)		9.89	0.46

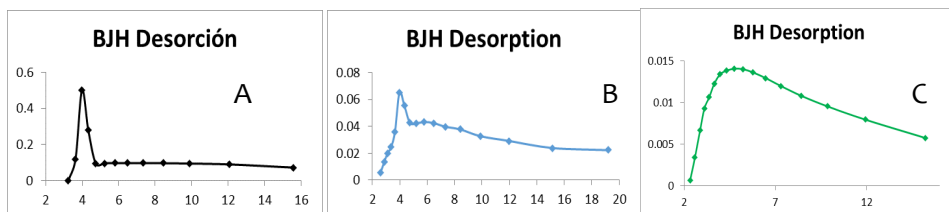


Figura 2: Isotermas de desorción por fisiorción de N₂. A) Bentonita, B) Bentonita con Almidón, C) Bentonita con almidón oxidado.

-Microscopía electrónica de barrido

En la imágenes obtenidas por SEM se observa que la adición del almidón al momento de la síntesis de la bentonita modifico la manera en la aglomeración de la misma (Imagen 2). En el caso de la bentonita con almidón y almidón oxidado se aprecia la presencia de partículas incrustadas en su superficie partículas esféricas con un poco de material amorfo, lo cual se asocia con la evidencia de la impregnación de las partículas del almidón sobre la bentonita.

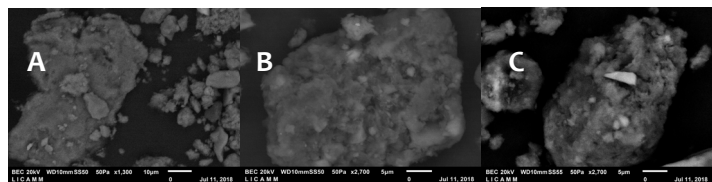


Imagen 2: Microscopías electrónicas de barrido (SEM). A) Bentonita, B) Bentonita con Almidón, C) Bentonita con almidón oxidado.

Pruebas de Coagulación-Floculación

En la Tabla 2 y 3 se reportan los valores de turbidez residual obtenidos al final del proceso, en donde se aprecia una mejor eficacia por parte del material a base de almidón oxidado, en cuanto a la turbidez final y %Remoción. Lo anterior se ve reflejado en la morfología y características de los floculós generados. En la Imagen3 se aprecia que la bentonita con almidón oxidado es la que logra la formación de agregados un poco más grandes, compactos y uniformes a comparación de la bentonita con almidón, presentando una velocidad

más rápida de aparición de flóculos y reducción de partículas coloidales, obteniendo una calidad más transparente del sobrenadante y por ende menor turbidez.

Aunado a esto es importante resaltar la dosificación empleada para este material, ya que se logró una disminución considerable de la dosis (más de la mitad) a comparación de la usada en los otros materiales, además de manejar una baja concentración de la poliacrilamida, siendo lo idealmente recomendable. En el caso del agua de presa hubo una pequeña disminución en la turbidez final, lo cual podría explicarse con la presencia de grupos carbonato en la muestra (122 ppm), esto debido a su influencia en el favorecimiento del proceso de coagulación.

Tabla 2: Prueba de jarras en suspensión de caolín a pH=6.

Tabla 3: Prueba de jarras en Agua presa de Gto a pH=7.1.

Material	Bentonita con Almidón	Bentonita con Almidón oxidado	Albumina	Material	Bentonita con Almidón	Bentonita con Almidón oxidado
	Dosificación ideal (ppm)				Dosificación ideal (ppm)	
Coagulante (Arcilla)	5	12	50	Coagulante (Arcilla)	30	5
Floculante (Poliacrilamida)	3	0.5	0.5	Floculante (Poliacrilamida)	3	3
Turbidez final (NTU)	20.1	14.4	11.7	Turbidez final (NTU)	18.7	13.6
% Remoción	94.34	96.45	97.77	% Remoción	91.46	93.40

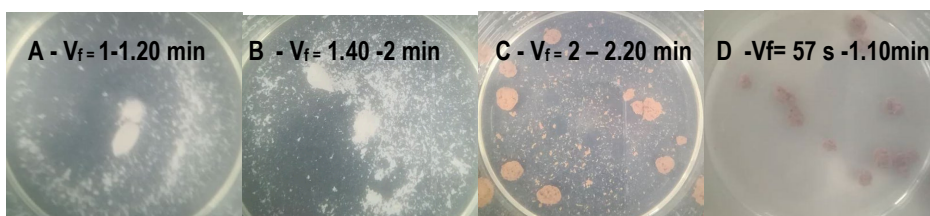


Imagen 3: Flóculos generados mediante proceso de Coagulación-Floculación, donde A y B son de las suspensiones de caolín mientras que C y D son de agua de presa. (A y D) Bentonita con almidón oxidado y (B y C) Bentonita con almidón. V_f=Velocidad de formación de flóculo.

CONCLUSIONES

La modificación de la bentonita con la incorporación de moléculas orgánicas favoreció el incremento en su capacidad y eficiencia en los procesos de coagulación, siendo la bentonita con almidón oxidado el material que presenta una mayor remoción y tamaño de agregados en un menor tiempo de floculación, representando un coagulante potencial para emplearse como una alternativa al uso del policloruro de aluminio en el proceso de tratamiento del agua.

Su mejor actividad como coagulante probablemente es debida al aumento de grupos orgánicos mediante la oxidación de la molécula de almidón, provocando mayores sitios y maneras de interacción con las partículas coloidales, siendo esto último una ventaja para la remoción de metales pesados en solución como lo es el plomo, ya que este puede tener una interacción con grupos que funcionen como bases de Lewis como lo son los -OH.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca proporcionada durante la estancia del verano de investigación a través de la modalidad Veranos UG 2018.

Al Dr. Gustavo Rangel Porras por la dirección del proyecto, así como a Q. Adán Ulises Quiroga Almaguer por el asesoramiento y apoyo.

Al Q. Fernando Amézquita López por su apoyo en la caracterización por medio de la espectroscopia FT-IR.

REFERENCIAS

- [1] Lorenzo Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. ISSN: 0138-6204. Vol. XL(2), pp. 10-17.
- [2]Chulluncuy-Camacho,N.(2011).Tratamiento de agua para consumo humano. Ingeniería Industrial, 0(029),pp.153-170. doi:<http://dx.doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>.
- [3] Rodríguez Badillo, H. H. (2015). Estudio de la posibilidad de utilizar partículas de alúmina modificadas dentro de un proceso de coagulación-floculación para tratamiento de aguas subterráneas (Tesis de Licenciatura). Universidad de Guanajuato, División de ciencias naturales y exactas, Guanajuato. Gto.
- [4] Quiroga Alaguer, A. U. (2016). Síntesis de materiales híbridos de alúmina para su aplicación en los procesos de coagulación en el tratamiento de aguas (Tesis de Maestría). Universidad de Guanajuato, División de ciencias naturales y exactas, Guanajuato. Gto.
- [5] Paluszkiwicz , C., Holtzer , M. & Bobrowski , A. (2008). FTIR analysis of bentonite in moulding sands. Journal of Molecular Structure. Vol 88, Issues 1-3, pp. 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.01.028>.
- [6] Pinzón Bello, J. A. (1997). Superficie específica de una bentonita mediante la adsorción de azul de metileno. Revista colombiana. Volumen 26(1), pp 1-14. ISSN electrónico 2357-3791. ISSN impreso 0120-2804.
- [7] Bergaya, F. & Lagaly, G. (2001).Surface modification of clay minerals. Appl. Clay Sci. Vol 19, pp 1-3. [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(01\)00063-1](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(01)00063-1)