

Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica

Maricruz Vargas Camareno¹
Luis Guillermo Romero Esquivel²

El proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales se basa en un tratamiento químico inicial a base de coagulantes y floculantes para remover la mayoría de contaminantes. Estas sustancias químicas utilizadas son, principalmente, sulfato de aluminio y otros polímeros industriales importados de países desarrollados.

Palabras clave

Tratamiento de aguas, coagulantes, floculantes.

Resumen

El proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales se basa en un tratamiento químico inicial a base de coagulantes y floculantes para remover la mayoría de contaminantes. Estas sustancias químicas utilizadas son, principalmente, sulfato de aluminio y otros polímeros industriales importados de países desarrollados. Por otra parte, el país cuenta con residuos industriales y otros productos naturales que poseen cualidades similares a los productos importados utilizados actualmente en el país. El Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), a través del Centro de Investigación en Protección Ambiental, pretende encontrar materiales alternativos

y de bajo costo para utilizarlos como coagulantes y floculantes.

Introducción

En los países en desarrollo, los procesos de coagulación y floculación para el tratamiento de agua se realiza utilizando materias primas importadas. Por ejemplo, Costa Rica ha importado alrededor de 3.000 toneladas anuales de sulfato de aluminio, equivalentes a medio millón de dólares por año (costo en aduanas) durante los últimos 5 años (PROCOMER, 2005).

Por otro lado, en Costa Rica se identificó un total de 43.800 toneladas anuales de lodos industriales (Araya, 2002) y toneladas de desechos agroindustriales, la mayoría de los cuales no son reutilizados ni dispuestos adecuadamente, provocando esto contaminación en nuestros suelos. Se podría esperar que algunos de estos materiales, como lodos de aluminio y

- 1 Profesora e Investigadora del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Correo electrónico: mvargas@itcr.ac.cr
- 2 Profesor e Investigador del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Correo electrónico: lromero@itcr.ac.cr

hierro, desechos de camarón (quitosano) podrían tener un uso alternativo en el tratamiento de aguas como coagulantes o floculantes.

También nuestro país presenta una gran diversidad biológica y geológica que podría proporcionar nuevas fuentes de materiales alternativos para el tratamiento de aguas.

Por lo tanto, se debe mencionar que el país cuenta con una gran gama de recursos subutilizados, y mediante esta investigación, se podría contribuir al desarrollo de una tecnología propia en el tratamiento de aguas.

Sustancias contaminantes presentes en el agua

El agua absolutamente pura no existe en la naturaleza. El agua de lluvia, por ejemplo, al estar en contacto con el aire, absorbe del mismo oxígeno, nitrógeno, gotas de aceite, partículas de humo, etc. Posteriormente, al entrar en contacto con el suelo, el agua superficial disuelve o dispersa otras sustancias, lo mismo sucede con el agua que se infiltra hacia los mantos acuíferos. A lo anterior, se debe agregar la contaminación del agua por parte de la introducción de impurezas generadas por las actividades del ser humano y las industrias, lo que produce una calidad de agua lejana a lo que sería agua absolutamente pura (van Bremen, 2001).

El agua es utilizada para muchos fines, entre ellos; consumo humano, irrigación, recreación, procesos industriales, etc. Para cada uso, es importante conocer cuáles sustancias están presentes en la fuente de agua, porque estas influyen en la disponibilidad del agua para dicho propósito (van Bremen, 2001).

Las sustancias presentes en el agua se pueden clasificar en tres categorías, según el tamaño de estas (van Bremen, 2001; Degremont, 1991):

- Sólidos suspendidos (mayor a 10^{-6} m): estos pueden ser de origen mineral (arena, arcillas, etc.) u orgánico (productos de la descomposición de plantas y animales, por ejemplo ácidos húmicos o fúlvicos). Además, de estos compuestos también se encuentran microorganismos como bacterias, plancton, algas y virus. Los sólidos suspendidos son los responsables de la turbidez y el color del agua.
- Partículas coloidales (entre 10^{-6} m y 10^{-9} m): estas son sólidos suspendidos originadas, de igual manera que los anteriores, pero con un tamaño inferior y una velocidad de sedimentación muy lenta. También son responsables de turbidez y color.
- Sustancias disueltas (menor a 10^{-9} m): estas son usualmente sustancias inorgánicas (como cationes y aniones) y sustancias orgánicas (como ácidos, alcoholes, aldehídos, etc.). También puede haber gases presentes (oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, etc.).

El Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales y el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Compendio de cuatro reglamentos, 1999) limita la cantidad de turbidez, color y el contenido de sólidos suspendidos en el agua, ya sea para descarga o consumo humano. La materia suspendida puede ser removida por filtración o sedimentación; filtración especialmente cuando es mayor de 5 a 10 μ m. Los coloides se pueden remover por filtración lenta si el agua no está altamente contaminada. Pero en caso de aguas con muy baja calidad, se presentan dificultades, donde la materia coloidal y otras impurezas no se pueden remover por filtración rápida o lenta (van Bremen, 2001). En este momento se deben aplicar los procesos de coagulación-floculación para remover las partículas coloidales y los sólidos suspendidos.

El agua absolutamente pura no existe en la naturaleza. El agua de lluvia, por ejemplo, al estar en contacto con el aire, absorbe del mismo oxígeno, nitrógeno, gotas de aceite, partículas de humo, etc. Posteriormente, al entrar en contacto con el suelo, el agua superficial disuelve o dispersa otras sustancias, lo mismo sucede con el agua que se infiltra hacia los mantos acuíferos.

Coagulación-floculación

La coagulación es el método más importante para la remoción de partículas coloidales y suspendidas (80 a 90% de remoción), (Metcalf, 1979) del agua en su potabilización. Además de reducir la turbidez del agua, la coagulación parcialmente remueve el color, bacterias (80 a 90%), (Metcalf, 1979) y virus (Kelderman & Kruis, 2001).

Las partículas coloidales en el agua están por lo general cargadas negativamente, debido a la presencia de grupos COO^- y OH^- , reemplazo de iones Si^{4+} por iones Al^{3+} o por la absorción en la superficie de iones por fuerzas de van der Waals (Van Bremen, 2001; Kelderman & Kruis, 2001). La carga negativa en la superficie causa repulsión entre las partículas, evitando la aglomeración y formación de partículas más grandes que sedimentarían más fácilmente. Debido a la combinación de factores de tamaño de partícula pequeño y superficie cargada negativamente, las suspensiones coloidales son muy estables (Kelderman & Kruis, 2001).

Para remover estas partículas cargadas negativamente, las suspensiones coloidales deben ser desestabilizadas, mediante la adición de iones cargados positivamente como Al^{3+} o Fe^{3+} . Entonces, se rompe la repulsión electrostática entre las partículas coloidales y se produce la aglomeración mediante fuerzas de van der Waals (Kelderman & Kruis, 2001). Este proceso de desestabilización de partículas coloidales se llama coagulación y es llevada a cabo por la adición de un agente químico conocido como coagulante (Degremont, 1991).

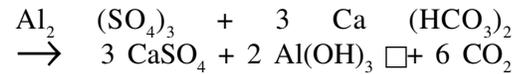
Una vez desestabilizadas las partículas, estas experimentan el proceso de floculación, al aglomerarse para formar microfloculos y más tarde flóculos, que pueden sedimentarse fácilmente. En este punto, también se puede agregar otro agente químico (polímeros inorgánicos, sintéticos o naturales), llamado floculante,

que promueve la formación de flóculos (Degremont, 1991).

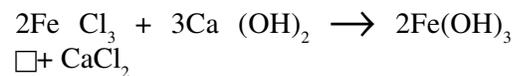
Coagulantes

Los coagulantes más ampliamente usados están hechos a base de sales de hierro y aluminio. Los más ampliamente usados son sulfato de aluminio, cloruro de hierro (II) y sulfato de hierro (II) (Kelderman & Kruis, 2001).

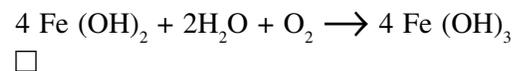
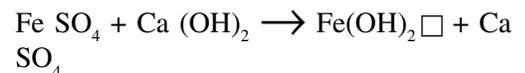
Cuando el sulfato de aluminio es agregado al agua, los iones Al^{3+} desestabilizan las cargas negativas de los coloides, como se mencionó anteriormente. También, dependiendo de la alcalinidad presente en el agua, se puede llevar a cabo la reacción siguiente, donde el precipitado de hidróxido de aluminio formado arrastra las impurezas suspendidas o disueltas presentes en el agua (www.eurowater.20m.com):



De manera similar, al adicionar cloruro de hierro (III) en presencia de suficiente hidróxido de calcio, se forma el hidróxido de hierro (III) que también arrastra las impurezas (Degremont, 1991):



Finalmente, en el caso de utilizar sulfato de hierro (II) se debe llevar a cabo la oxidación del hierro (II) a hierro (III) para obtener el hidróxido de hierro (III) (www.eurowater.20m.com):



Floculantes sintéticos

Estos consisten en macromoléculas (masa molar 10^6 - 10^7) de cadenas largas obtenidas de la asociación de monómeros sintéticos, algunos de los cuales tienen

El Instituto Tecnológico de Costa Rica, mediante el Centro en Protección Ambiental, pretende, a través de un proyecto, determinar, caracterizar y evaluar las posibilidades técnicas, ambientales y económicas de utilizar algunos materiales de origen nacional como coagulantes y/o floculantes en el tratamiento de aguas. Esto, con la finalidad de tratar de encontrar procesos que generen menos gasto, y en algunos casos minimizar el impacto ambiental al utilizar residuos que generalmente son desechados.

grupos ionizables y cargas eléctricas. Los floculantes se clasifican en aniónicos (usualmente acrilamidas y copolímeros de ácido acrílico), neutros (básicamente poli(acrilamidas) y catiónicos (copolímeros de acrilamida y monómeros catiónicos) (Degremont, 1991). Para este tipo de polielectrolitos, se debe considerar la toxicidad del producto, por ejemplo, los monómeros acrílicos son tóxicos al sistema nervioso y pueden estar presentes en los productos comerciales (van Bremen, 2001).

Coagulantes y floculantes naturales

Entre los coagulantes naturales están los de origen orgánico que se encuentran en ciertas plantas. Los extractos de las semillas de la planta *Moringa oleifera* son bastante efectivas en el caso de aguas con alta turbidez y al utilizar su ingrediente activo (un polielectrolito orgánico) se puede purificar agua con baja turbidez (Okuda *et al.*, 2001). Por tanto, los extractos de *Moringa oleifera* se recomiendan como una excelente alternativa para el tratamiento de agua en países en desarrollo (Folkard).

También existen los floculantes orgánicos como el alginato de sodio, originado del ácido alginico extraído de algas marinas, que se puede utilizar para mejorar el tratamiento con cloruro de hierro y sulfato de aluminio. Otros floculantes orgánicos son los almidones extraídos de la papa, yuca y extractos de semillas de plantas (Degremond, 1991).

Existen otros muchos floculantes orgánicos naturales (polisacáridos, taninos, derivados de celulosa) principalmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales de procesos industriales específicos como hidrometalurgia, papel, tenería, textiles, etc. (Degremond, 1991; Mishra *et al.*, 2004; Ozacar, 2003).

Coagulantes y floculantes derivados de desechos industriales o agroindustrial

En varios procesos agroindustriales o industriales, se deriva una serie de desechos

que se podría utilizar como floculantes o coagulantes.

El sulfato de hierro (II), desecho de la fabricación de acero es ampliamente utilizado a escala mundial (Kelderman & Kruis, 2001).

También el quitosano y otros derivados de este, originados en la producción de camarón, han demostrado efectividad en el tratamiento de agua con altos contenidos de ácidos húmicos (Bratskaya, 2004).

Se ha identificado que en la manufactura de aluminio para uso arquitectónico genera un residuo rico en hidróxido de aluminio (alrededor del 48%). La empresa Extralum S.A. produce alrededor de 90 toneladas mensuales del residuo, al cual se le debe evaluar su capacidad de coagulación (Vargas, 2006).

Otro residuo generado por la industria metalmeccánica en el decapado de los metales de hierro genera un residuo rico en cloruro de hierro (III). Dicho residuo se debe caracterizar y evaluar también su potencial uso como coagulante (Romero, 2001).

El Instituto Tecnológico de Costa Rica, mediante el Centro en Protección Ambiental, pretende, a través de un proyecto, determinar, caracterizar y evaluar las posibilidades técnicas, ambientales y económicas de utilizar algunos materiales de origen nacional como coagulantes y/o floculantes en el tratamiento de aguas. Esto, con la finalidad de tratar de encontrar procesos que generen menos gasto, y en algunos casos minimizar el impacto ambiental al utilizar residuos que generalmente son desechados.

Bibliografía

- Araya, W. 2002. *Reporte Nacional de Manejo de Materiales*. PROARCA USAID CNP+L. Costa Rica.
- Bratskaya S., Schwarz S. y Chervonetsky D. (2004). "Comparative study of humic acids flocculation with

- chitosan hydrochloride and chitosan glutamate.” *Wat. Res.* 38 2955–2961.
- Compendio de Cuatro Reglamentos 1999.* Ministerio de Salud y Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS), Costa Rica.
- Degrémont. *Water Treatment Handbook.* 1991. 6.ª edición, vol.1, Francia.
- Folkard G, Sutherland J. y Shaw R. *Water and Clarification Using Moringa Oleifera Seed Coagulant.* <http://www.Iboro.ac.uk/well/>
- Kelderman, P. y Kruis, G.F. 2001. *Laboratory Course Aquatic Chemistry and its Applications in Environmental Engineering.* International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Holanda.
- Metcalf & Eddy Inc. 1979. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse* 2nd ed. McGraw-Hill International Editions. New York.
- Mishra A., Yadav A., Agarwal A., Bajpai M. (2004). “Fenugreek mucilage for solid removal from tannery effluent.” *Reactive & Functional Polymers* 59, 99-104.
- Okuda T., Baes A., Nishijima W. y Okada M. (2001). “Isolation and Characterization of Coagulant Extracted from Moringa Oleifera Seed by Salt Solution.” *Wat. Res.* Vol. 35, N.º 2, pp. 405-410.
- Özacar M. y Sengil A. (2003). “Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles Colloids and Surfaces A.” *Physicochem. Eng. Aspects*, 229, 85-96.
- Romero L. G. (2001). *Informe final de Tratamiento de aguas en la Empresa Metálica Imperio.*
- Sapporo City. *Institute of Public Health. 2003. Jar Test Procedure.* Japón.
- Van Breemen, A. N. 2001. *Water Treatment 1 Conventional and advance Treatment Methods.* International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Holanda.
- Vargas M. 2006. *Informe final de proyecto: Estudio del uso del lodo residual de la empresa Extralum. S. A., como material alternativo en la fabricación de cementos especiales.* Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- www.procomer.com/est/mercados/