

Polielectrolitos Orgánicos Naturales en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano

Natural Organic Polyelectrolytes in Water Treatment for Human Consumption

Valeriano Mamani, Jappsem¹; Matos Chamorro, Rodrigo Alfredo²

^{1,2}Universidad Peruana Unión (UPeU), Perú

Recibido 2 de abril 2013 – Aceptado el 15 de setiembre de 2013

Resumen

El objetivo de este artículo es revisar el uso de los polímeros naturales en el tratamiento de agua para consumo humano, así como los mecanismos de coagulación y floculación, y los compuestos naturales más utilizados. Las fuentes de agua pueden estar contaminadas con materiales inorgánicos, en forma natural o en combinación con otros (sales disueltas, materiales suspendidos como las arcillas, silicio) y materiales orgánicos (células o algas microbianas, zooplancton, fitoplancton, bacterias, virus, arcillas complejas de ácidos húmicos, ácidos húmicos, proteínas, polisacáridos, ácidos fúlvicos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos). Para eliminar la mayor cantidad de turbidez y de microorganismos, se utilizan coagulantes químicos y polímeros sintéticos, entre los más usados por su eficiencia las sales de hierro y aluminio entre otros polímeros sintéticos, sin embargo, es necesario importar, encareciendo el coste del tratamiento de agua, por lo que es necesario buscar alternativas más económicas y amigables con el ambiente para el proceso de tratamiento del agua. Los polielectrolitos naturales, en los últimos años, han sido estudiados y probados, encontrándose en muchos de ellos alta eficiencia de remoción de turbidez y una reducción de los costos hasta llegar a un 30%; con la reutilización de sus lodos residuales. El estudio de más polielectrolitos naturales constituye una gran alternativa para poder tratar aguas para consumo humano en el futuro.

Palabras clave: Nitrato Polielectrolitos, Coagulación, Floculación, Polímeros, Turbidez .

Abstract

The aim of this paper is to review the use of natural polymers in treating drinking water as well as the mechanisms of coagulation and flocculation, and most used natural compounds. Water sources may be contaminated with inorganic materials, in natural form or in combination with other (salts dissolved, suspended materials as clay, silica) and organic materials (microbial or algal cells, zooplankton, phytoplankton, bacteria, viruses, clays complex humic acids, humic acids, proteins, polysaccharides, fulvic acids, carbohydrates, amino acids and hydrocarbons). To remove as much of turbidity and microorganisms, chemical coagulants and synthetic polymers are used, between the most widely used, for its efficiency are iron salts and aluminum and other synthetic polymers, however have to be imported, increasing the cost of treatment water, so it is necessary to find alternatives cheaper and environmentally friendly for water treatment process. Natural polyelectrolytes, in recent years, have been studied and tested, found in many high removal efficiency turbidity and lower costs up to 30%, with reuse of waste sludge. The study of more natural polyelectrolytes is an excellent alternative to treat water for human consumption in the future.

Keywords: Polyelectrolytes, coagulation, flocculation, Polymers, Turbidity.

Introducción

Desde épocas muy remotas, la contaminación del agua ha sido el resultado de las actividades humanas a través del vertimiento de aguas residuales domésticas, agrícolas y posteriormente industriales (Crini & Badot, citados por Shahriari et al., 2011); así como procesos naturales que aumentan, principalmente, la turbidez de este elemento vital.

Eman et al. (2009) menciona que la contaminación por turbidez del agua está directamente relacionada a los altos niveles de incidencia de enfermedades gastrointestinales, causadas por la presencia de bacterias y parásitos presentes, a esto añade la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2012), que los niveles máximos de turbidez en el agua para consumo humano no deben exceder los 5 NTU para prevenir la aparición de estos microorganismos.

Con el propósito de eliminar la mayor cantidad de turbidez y de microorganismos, se han utilizado coagulantes químicos y polímeros sintéticos, para contrarrestar este tipo de contaminación en los cuerpos de agua, siendo los más utilizados por su eficiencia las sales de hierro y aluminio, así como polímeros sintéticos. Sin embargo, cabe recalcar que estos son producidos en países desarrollados y, en consecuencia, los costos de adquisición y el proceso de tratamiento del agua son muy altos para los países en vía de desarrollo (Bolto & Gregory, 2007). Además, estudios realizados, con dosis de aluminio y hierro en el organismo, han relacionado la incidencia de estos con la presencia de enfermedades y otros factores, con problemas ambientales. En la salud del ser humano puede ser un factor importante para causar la enfermedad del Alzheimer, y enfermedades cancerígenas (Peder, 2001), por esta razón, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos (ATSDR, 2008) indica que los niveles de aluminio en el agua potable deben estar de los parámetros dados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos que, a su vez, menciona que el aluminio debe estar entre .05 a .2 mg/L en el agua potable (EPA, 2012).

Por otra parte, los problemas ambientales que se generan, a partir de la utilización de coagulantes químicos, se ven reflejados en la generación de grandes volúmenes de lodos residuales inertes (Renault et al., citados por Zemmouri et al., 2011).

A partir de los problemas de la salud y del ambiente, generados por los coagulantes químicos, se estudia-

ron a través de décadas otros tipos de alternativas que cumplieran las expectativas de remoción de turbidez y sean más amigables con la salud humana, como el bienestar del ambiente. De esta forma, se probaron coagulantes obtenidos a partir de polímeros naturales, como el Chitosan, la Moringa Oleifera y otros (polielectrolitos) en aguas crudas y residuales y fueron clasificados como catiónicos, aniónicos y no-iónicos, los cuales poseen las mismas o similares funcionalidades que las sales de aluminio y hierro en cuanto a la floculación de partículas suspendidas en el agua (Bolto & Gregory, 2007).

A nivel de Latinoamérica el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (CEPIS, 1975) inició sus experimentos con coagulantes naturales, empezando a probar con almidones muy solubles en agua como ayudantes de coagulación para los compuestos químicos. Los primeros probados fueron almidones de yuca y del maíz, luego con gelatina común, gelatina y tuna (50:50), goma arábica, goma de tragacanto y carragene, obteniendo eficiencias de remoción de hasta un 98%.

Por esto, ante la necesidad de enfatizar el estudio de compuestos orgánicos, amigables con el medio ambiente para el tratamiento de aguas, el objetivo de esta revisión es evaluar la información acerca de los polielectrolitos naturales y su mecanismo de función dentro del proceso de tratamiento de agua para consumo humano.

Impurezas naturales en el agua

La contaminación en las fuentes de agua puede estar presentes en la forma disuelta y en materia orgánica coloidal natural. Dentro de estos contaminantes se pueden encontrar a las sales disueltas, materiales suspendidos como las arcillas, silicio, células o algas microbianas, etc., que son denominados inorgánicos.

Dentro de los compuestos orgánicos, que originan contaminación en las fuentes de agua, se encuentran el zooplancton, fitoplancton, bacterias, virus, arcillas complejas de ácidos húmicos, ácidos húmicos, proteínas, polisacáridos, ácidos fúlvicos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos (Thurman, citado por Bolto & Gregory, 2007).

Todas las partículas y compuestos orgánicos, mencionados anteriormente, tienen influencias notorias en las características del agua, específicamente en las

características organolépticas, ya que se observa una notoria elevación de la turbidez. A estas partículas se les denomina coloides, los cuales son muchas veces difíciles de remover (Raymond D. et al., 1999).

Los coloides

Las partículas coloidales en el agua presentan un diámetro entre 1 y 1000 milimicrómetros y el comportamiento de estas depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad (Barrenechea A., 2004). La figura 1 muestra el rango de tamaño de los coloides en relación a otras partículas.

Tipos de coloides

Existen dos tipos de coloides: Los hidrofóbicos y los hidrofílicos. Los primeros no repelen completamente el agua, pues una película de esta es absorbida por los mismos; las aguas naturales pueden contener varios tipos de estos, incluidas las arcillas. Los coloides hidrofílicos comprenden soluciones verdaderas, ya sean de gran tamaño o pequeñas. Dentro de esta clasificación se pueden encontrar polímeros sintéticos y naturales como lo son las proteínas, ácidos nucleicos, almidones y otros (Barrenechea A., 2004).

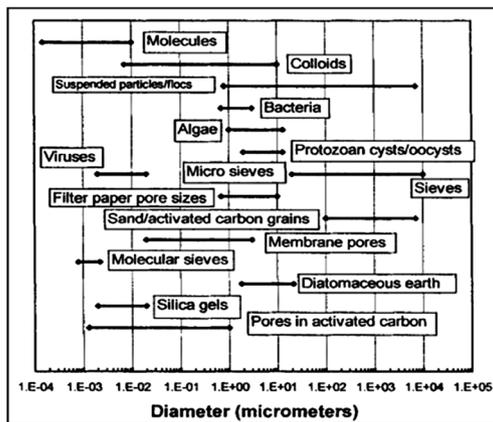


Figura 1. Tamaño espectro de partículas transmitidas por el agua y el filtro poros (Stumm & Morgan, 1981).

Características de las partículas coloidales y sustancias húmicas

Las sustancias húmicas están compuestas por moléculas aromáticas de alto peso molecular que muestran características polianiónicas en soluciones neutras o alcalinas (Raymond D. et al., 1999).

Desde un punto de vista energético, las partículas coloidales son termodinámicamente estables, las cuales se denominan coloides reversibles.

Dentro de esta clasificación se encuentran los detergentes, proteínas, aminos y algunos polímeros de cadena larga. Los coloides termodinámicamente inestables o coloides irreversibles comprenden las arcillas, óxidos metálicos, los microorganismos, etc.

Los términos estables e inestables se aplican a los coloides irreversibles; siendo la cinética de coagulación la estudiada y no las características termodinámicas y energéticas. Entonces en un sistema coloidal inestable la coagulación debe ser significativa (Barrenechea A., 2004).

Como se mencionó anteriormente, entre los coloides más importantes se encuentra la arcilla. La figura 2 representa el esquema de una partícula de arcilla, la cual es clasificada como un sistema coloidal irreversible. Cabe resaltar que para temas de prueba en laboratorios, la arcilla puede ser utilizada para probar coagulantes, ya que su composición y su carga negativa, por la presencia de tetraedros de silicio (SiO₄) y octaedros de aluminio (AlO₈), representan en cierta parte las características de un cuerpo de agua a tratarse con presencia de turbidez natural (Muñoz R., 2007).

Las arcillas más comunes existentes con las que se pueden hacer pruebas de laboratorio se muestran en la Tabla 1.

Propiedades de los coloides

Las propiedades de los coloides son cinéticas, ópticas, de superficie y magnéticas. Dentro de las propiedades cinéticas de los coloides se encuentra la ley de la difusión, que representa el comportamiento de un conjunto de moléculas sometidas a una agitación térmica; de esta ley se deriva otra propiedad cinética; el movimiento browniano que, a partir de la agitación térmica del agua, los coloides presentan un movimiento constante e irregular, que no permite que se agreguen para formar partículas más grandes.

En cuanto a las propiedades ópticas, la turbidez es materia de estudio a través del efecto Tyndall Faraday. Finalmente, una parte muy importante es la carga que tiene un coloide, ya sea positivo o negativo, será motivo de estudio para removerlo (Salager J, 2007).

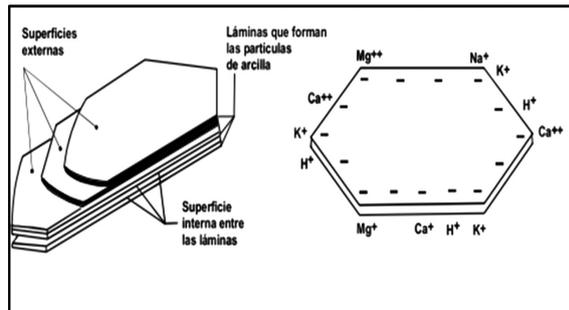


Figura 2. Esquema de una partícula de arcilla

Tabla 1

Arcillas comúnmente usadas y su composición

Caolinita	$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8 + Al_4(Si_4O_6)(OH)_6$
Montmorillonita (bentonita)	$Al(Mg)(Si_8O_{20})(OH)_4 \cdot XH_2O^*$
Ilita	$K_yAl_4(Fe_4Mg_4Mg_{16})(Si_8 - YAl)_O_{20}^*$
Muscovita	$K_yAl_4(Al_2Si_6O_{20})(OH)_4$

Fuente: Barrenechea (2005)

Ante la necesidad de solucionar los problemas de turbidez en el agua, generado por partículas coloidales, se estudian y utilizan compuestos químicos como las sales de hierro y aluminio, pero en esta revisión no se tomarán estos últimos, sin embargo, se mencionarán algunos coagulantes orgánicos naturales como los polímeros naturales.

Polímeros naturales

Los polímeros naturales han sido utilizados en los procesos de coagulación y floculación desde hace más de 4 décadas (Kawamura, citado por Bolto & Gregory, 2007 p. 2302.). A esto añaden Rout et al., (1999) y Noziac et al. (Citados por Bolto & Gregory, 2007, p, 2302) que, en comparación con los coagulantes conformados por aluminio, requieren bajas dosis de coagulante por su alto peso molecular; forman volúmenes bajos de lodos al utilizar bajas dosis; incrementan en niveles muy bajos la carga iónica del agua tratada, ya que su carga iónica no es muy elevada; reducen los niveles de aluminio y el costo tiene un ahorro de un 25 a 30%, en comparación con la utilización de compuestos químicos.

Características de los polímeros

Los polímeros naturales, al igual que los compuestos inorgánicos, están clasificados en tres tipos: Los polielectrolitos catiónicos, los aniónicos y los polímeros no iónicos (Bolto & Gregory, 2007).

Polielectrolitos catiónicos

Los polielectrolitos catiónicos, al igual que los coagulantes inorgánicos catiónicos, poseen una carga fuerte positiva. Bolto (Citado por Bolto & Gregory, 2007) menciona que los polielectrolitos usualmente, pero no siempre, poseen grupos amoniocuaternarios que le dan la carga positiva.

Los polielectrolitos catiónicos naturales son muy conocidos en la actualidad y son estudiados frecuentemente. El más conocido es el Chitosan, que es extraído del Chitín, encontrado en el caparazón de los moluscos marinos.

La figura 3 muestra este polielectrolito natural que tiene como estructura, N-acetil- α -D- glucosamina y α -D-glucosamina. Como se observa, hay presencia del grupo amino que le da la carga positiva a este polímero (Chen et al., citados por Zemmuri et al., 2001).

Asimismo, los almidones, compuestos de unidades α -D-glucosa, pueden ser convertidos en polielectrolitos catiónicos a partir de la reacción primaria del grupo OH en almidón tratado con álcali N-(3-chloro-2-hidroxipropil) trimetilamonio (Harrington & Endelhardt, citados por Bolto & Gregory, 2007).

Polielectrolitos aniónicos

Los polímeros floculentos generalmente son aniónicos y no iónicos y son añadidos a veces luego del proceso de floculación para incrementar el tamaño y peso de los flocs formados, ya que por su elevado peso molecular y longitud forman puentes de polímeros que se interconectan entre ellos formando aglomerados que son fáciles de sedimentar (Raymond D. et al., 1999).

Muchos polisacáridos sulfatados están disponibles como biopolímeros naturales o sus derivados, siendo algunos ejemplos:

Heparina, sulfato de dextrano, sulfato de condroitina y manano sulfato; pero las aplicaciones son principalmente médicas (Voycheck & Tan, citados por Bolto & Gregory, 2007).

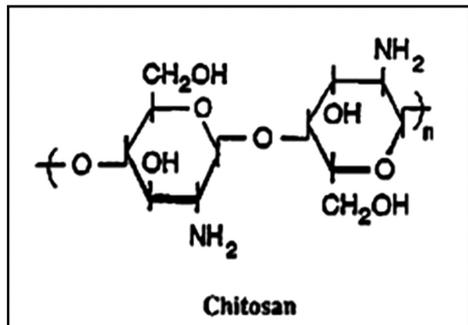


Figura 3. Estructura del polielectrolito Chitosan (Bolto y Gregory, 2007).

Polímeros no-iónicos

Según Bolto & Gregory (2007, P. 2037), las gomas (que tienen gran porcentaje de galactomananos), los derivados de celulosa y las gelatinas son utilizados como floculantes para ayudar a separar los sólidos de los líquidos, variar su estructura, su peso molecular, la biodegradabilidad y facilitar la disolución.

Mecanismos de acción de los polielectrolitos

Los mecanismos de acción de los polímeros naturales así como los coagulantes químicos incluyen el agotamiento de floculante y la absorción. El primero es un mecanismo poco útil y eficiente para el tratamiento de aguas. Sin embargo, el segundo y más importante es muy utilizado. De este se desprenden algunos mecanismos.

Puentes de polímeros

Largas cadenas de polímeros son adheridas a las partículas coloidales, logrando el aumento de tamaño de estas. Un requerimiento esencial para llevar a cabo este tipo de floculación es que debe haber suficiente superficie no ocupada alrededor de una partícula. De esto se deduce que la cantidad absorbida no debe ser demasiado alta, de lo contrario, se cubrirá la superficie total de la partícula no dejando suficientes sitios de absorción disponible. Para lograr esto se requiere hacer pruebas de dosis óptima. Es en este, proceso donde se dice que las partículas coloidales están estabilizadas, como se muestra en la figura 4 (Bolto & Gregory, 2007).

Este mecanismo es el que reina en el funcionamiento de los polielectrolitos y polímeros (Raymond et. al., 1999).

A esto añade Bolto & Gregory (2007), que de la estabilización de las partículas coloidales se forman fuer-

tes y pesados agregados, también llamados flocs, que en procesos siguientes en el tratamiento de agua serán eliminados en forma de lodos.

Puede presentar algunas ventajas a considerar:

- Aumento del peso molecular de los flocs, siendo los polímeros lineales los más efectivos.
- Solamente cantidades limitadas de polímeros adsorbidos son utilizados y niveles excesivos de este generan reestabilización.
- La adicción de compuestos metálicos podrían mejorar la eficiencia del proceso.
- Se forman flóculos fuertes y de gran tamaño. Sin embargo, si estos llegan a romperse no se regenerarán fácilmente.

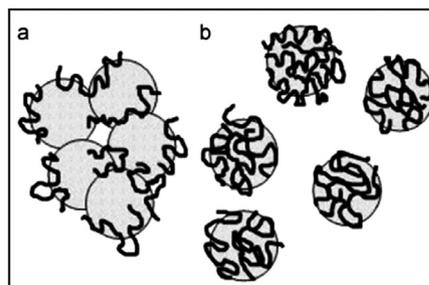


Figura 4. Esquema de (a) puentes de floculación con polímeros y (b) reestabilización por los polímeros absorbidos (Bolto & Gregory, 2007).

Neutralización de carga

Se da por un proceso de interacción de cargas electrostáticas que presentan tanto el agente coagulante como las partículas coloidales; generalmente estas últimas tienen una carga negativa, lo que hace que los polielectrolitos catiónicos sean los más efectivos (Barrenechea A., 2004).

El mecanismo de neutralización de cargas estabiliza a la partícula coloidal negativa, al añadirle un coagulante con carga positiva (Figura 5).

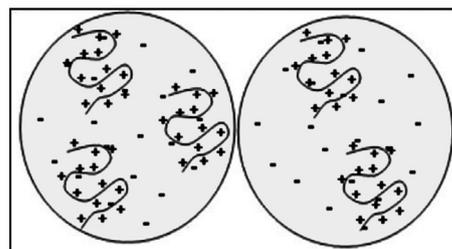


Figura 5. Estabilización de cargas entre un polielectrolito catiónico y partículas coloidales negativas (Bolto & Gregory, 2007).

Propuesta

El estudio de más polielectrolitos naturales constituye una gran alternativa para poder tratar agua de consumo humano en el futuro y no depender de los compuestos químicos utilizados actualmente, buscando siempre la sostenibilidad de los procesos en el tratamiento de agua para consumo humano. El Perú, como país mega diverso, ofrece la posibilidad de investigar y probar nuevos compuestos orgánicos naturales.

Conclusiones

Los mecanismos de acción de los polielectrolitos naturales son básicamente los mismos que los compuestos químicos, siendo menos eficientes en compa-

ración a estos últimos en el mecanismo de neutralización de carga, ya que no poseen alta carga positiva o negativa; sin embargo, por el mecanismo de puentes de polímeros, al tener alto peso molecular, se adhieren a la superficie del coloide, haciendo aumentar su densidad y entrelazándose entre sí formando flóculos más grandes, que luego serán sedimentados y eliminados o tratados.

La eficiencia obtenida por la utilización de estos polielectrolitos en el tratamiento de agua para consumo humano, en muchos de los estudios, ha llegado a ser de hasta un 98%. Los polielectrolitos catiónicos y aniónicos han sido estudiados en muchos países, sin embargo, existen pocas investigaciones para los polímeros no-iónicos.

REFERENCIAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR, 2008). *Resúmenes de Salud Pública. Aluminio (Aluminum)*. Estados Unidos de América. [Consultado el 12 de Agosto de 2012]. Información en línea. Disponibilidad libre en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs22.html
- Barrenechea, A. (2004). *Coagulación*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Organización Panamericana de la Salud.
- Bolto, B., & Gregory, J. (2007). *Organic polyelectrolytes in water treatment. CSIRO Manufacturing and Materials Technology, Private Bag 33, Clayton South, Vic 3169, Australia*. Department of Civil and Environmental Engineering, University College London, Gower Street, London, WC1E 6BT, UK.
- Eman N. Ali, Suleyman A. Muyibi, Hamzah M. Salleh, Md Zahangir Alam, Mohd Ramlan M. Salleh. (2009). *Production Of Natural Coagulant From Moringa Oleifera Seed For Application In Treatment Of Low Turbidity Water*. Biotechnology Engineering Department, Faculty of Engineering, Intenational Islamic University Malaysia, Kuala Lumpur-Malaysia.
- Environmental Protection Agency (EPA, 2012). *Secondary Drinking Water Regulations: Guidance for Nuisance Chemicals*. Estados Unidos de América. [Consultado el 20 de setiembre de 2012]. Información en línea. Disponibilidad libre en: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/secondarystandards.cfm>
- Muñoz, R. (2007). *Caracterización Fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi-Costa Pacífica Cauca (Colombia)*. Departamento de Física. Universidad del Cauca. Colombia.
- Peder T. (2001). *Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water*. Department of Chemistry, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Raymond, D., Appiah, A., & Charles R. (1999). *Coagulation and Flocculation. Water Quality and Treatment*. 5th edition. McGraw-Hill Inc., New York. Department of Civil and Environmental Engineering, Syracuse University, Syracuse, New York. School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology. Department of Geography and Environmental Engineering, The Johns. Hopkins University, Baltimore, Maryland. Atlanta, Georgia.
- Salager J. (2007). *Teorías relativas a la estabilidad de coloides liofóbicos*. Laboratorio de Formulación, Interfaces Reología y Procesos. Universidad de los Andes, Venezuela.
- Shahriari, T., Nabi, Bindhemdi, & Shahriari Sh. (2011). *Evaluating The Efficiency Of Plantago Ovata And Starch In Water Turbidity Removal*. Faculty of Environment, University of Tehran-Iran.
- World Health Organization. (OMS, 2012) Drinking-water quality and preventing water-borne infectious disease. *Water Sanitation and Health (WSH)*. [Consultado el 27 de Setiembre de 2012]. Formato hmtl. Disponibilidad libre en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/infectdis/en/index.html
- Zemmouri, H., Kadouche, S., Lounici, H., Hadioui, M., & Mameri N., (2011). *Use Of Chitosan In Coagulation Flocculation Of Raw Water Of Keddara And Beni Amrane*. Ecole Nationale Polytechnique, El Harrach-Algeria.