

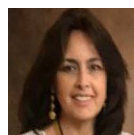
Efecto de la concentración de Quitosano en la disminución de los sólidos suspendidos en el agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista.

Effect of the concentration of chitosan in the decrease of the solids suspended in the water entry of Bellavista treatment plant.

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1330>



Rosero José Augusto
Docente de la Facultad de Ingeniería
Ciencias Físicas y Matemática.
Universidad Central del Ecuador
jarosero@uce.edu.ec



Suárez Heredia Martha Azucena
Docente de la Facultad de Ciencias Químicas.
Universidad Central del Ecuador
masuarez@uce.edu.ec

RESUMEN

Una de las primeras etapas en la potabilización del agua superficial es la coagulación- floculación de sólidos suspendidos. La presencia de sólidos altera las propiedades físico-químicas del agua, pudiendo afectar su color y sabor, generando, en algunos casos, contaminación microbiológica. El coagulante-floculante más utilizado es el sulfato de aluminio; sin embargo, la presencia de aluminio residual en el agua se ha asociado con trastornos en la salud de los consumidores, ya que el aluminio, como sal soluble, llega a ser biodisponible en el metabolismo humano. Por tanto, se plantea la posibilidad de reemplazar el sulfato de aluminio con biopolímeros no tóxicos como el quitosano. Así, se analizó, mediante pruebas de jarras, el agua que llega de diferentes vertientes a los tanques de almacenamiento de la planta de tratamiento de Bellavista en la ciudad de Quito. Se encontró que el quitosano en concentraciones de 8 ppm ocasiona un 19,7% de disminución en la turbidez del agua cruda; a esta misma concentración, el sulfato de aluminio genera el efecto contrario, produce un incremento de turbidez del 19,3%. Debido a este comportamiento, el quitosano puede convertirse en una alternativa viable para clarificar agua para consumo humano, además de su cualidad como polímero natural.

PALABRAS CLAVE: biopolímero; quitosano; tratamiento de agua cruda

ABSTRACT

One of the first stages in the purification of surface water is the coagulation and flocculation of suspended solids. The presence of solids alters the physical-chemical properties of water, which can affect color, taste and in many cases generate microbiological contamination. The most commonly used coagulant-flocculant is aluminum sulphate, however, the presence of residual aluminum in water has been associated with health disorders in consumers, since aluminum as a soluble salt becomes bioavailable in the human metabolism. Therefore, the possibility of replacing aluminum sulphate with non-toxic biopolymers such as chitosan is considered. Thus, the water coming from different slopes to the storage tanks of Bellavista treatment plant in the north of Quito city, was analyzed by jar tests. It was found that chitosan in concentrations of 8 ppm causes a 19.7% decrease in turbidity of raw water; at this same concentration, aluminum sulphate generates the opposite effect, producing an increase in turbidity of 19.3%. Due to this behavior, chitosan can become a viable alternative to clarify water for human consumption, in addition to its quality as a natural polymer.

KEYWORDS: biopolymer; chitosan; raw water treatment

INTRODUCCIÓN

Debido a que las aguas de origen natural contienen contaminantes que son el resultado tanto de la erosión del suelo, como de la disolución de minerales y de la descomposición de la materia orgánica (Tabla 1); éstas deben ser clarificadas durante el tratamiento

de potabilización. Los contaminantes sólidos, afectan las características del agua, principalmente el color y la turbidez. Estos contaminantes están constituidos, en su mayor parte, por minerales calizos de diversos tamaños, los más pequeños –menores de 100 nm– denominados partículas coloidales (Ríos et al., 2006).

Tabla 1. Clases de contaminantes en aguas superficiales

Clase	Ejemplos
Sólidos suspendidos	Materiales coloidales, polvo, óxidos de metales insolubles e hidróxidos
Orgánicos disueltos	Químicos orgánicos sintéticos, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos
Iónicos disueltos (sales)	Metales pesados, sílice, arsénico, nitrato, cloruros, carbonatos
Microorganismos	Bacterias, virus, quistes protozoarios, hongos, algas, células de levadura
Gases	Sulfuro de hidrógeno, metano, radón, dióxido de carbono

Modificado de (Cartwright, 2009).

La coagulación-floculación es el proceso más utilizado en la eliminación de partículas sólidas coloidales que causan turbidez y cambio de coloración en el agua. La eficacia de los procesos de coagulación-floculación, depende de la posibilidad de solvatación y de la carga superficial de los coloides (Ramírez & Padilla, 2015). La coagulación consiste en agregar al agua un coagulante capaz de neutralizar la carga eléctrica superficial del coloide, mientras que la floculación es la agrupación de las partículas descargadas para formar un aglomerado llamado flóculo, cuyo tamaño y densidad permiten su precipitación (Fuentes et al., 2008).

El sulfato de aluminio es el agente coagulante más ampliamente utilizado en las plantas de tratamiento debido a su probada efectividad y bajo costo. Sin embargo, estudios han reportado que el aluminio residual podría inducir enfermedades neurológicas, tales como el Alzheimer, síndromes de demencia y disminución de la capacidad motora y mental (Rodríguez et al., 2015). La dosis letal media (DL50) vía oral del aluminio es superior a 5000 mg/Kg (GTM, 2016) (MERCK, 2018), siendo su uso seguro en la mayor parte de aplicaciones. A pesar de que la clarificación del agua para potabilización utilizaría concentraciones bajas de sulfato de aluminio, que se encuentran muy por debajo del DL50, se deben considerar sus efectos acumulativos. La incidencia del aluminio en enfermedades del sistema nervioso central, específicamente el Alzheimer, fue estudiada por Perl (1985), debido a su hallazgo de la acumulación de aluminio en el cerebro de pacientes con esta enfermedad (Citado en Trejo & Hernández, 2004). Además, Martyn (1989) y Forster (1995) consideran que, siendo la alimentación la fuente de ingesta más importante de aluminio, este metal presenta la forma más biodisponible en el agua y puede ser absorbido fácilmente por el intestino, adicionalmente definen que, el aluminio procedente de otras fuentes, no puede ser absorbido de igual manera.

Debido a estos problemas, se han utilizado algunos coagulantes naturales como almidón de yuca (*Manihot esculenta*) (Solís et al., 2012); extractos de algunas Cactáceas como *Echinopsis pachanoi*, *Neoraimondia arequipensis* y *Opuntia ficus* (Choque

et al., 2013), con resultados interesantes. También se han utilizado biopolímeros como la quitina y el quitosano.

El quitosano es un polímero catiónico lineal, biodegradable, no tóxico, de alto peso molecular, de fácil aplicación y ambientalmente amigable. Se ha demostrado que la presencia de los grupos amino libres en la estructura del quitosano le confieren la capacidad para coagular sustancias coloidales; además su uso permite aumentar la acción de coagulantes orgánicos (Maldonado, 2018) e inorgánicos convencionales (Caldera et al., 2009), por lo que es ampliamente empleado como coagulante primario en el tratamiento de aguas de origen natural y aguas residuales (Caldera et al., 2011).

Químicamente, el quitosano es un biopolímero compuesto por cadenas de β -(1,4)-D-glucosamina, unidad desacetilada (fig. 1 – 100DA) y N-acetil-D-glucosamina como unidad acetilada (fig. 1 – DA), que se encuentran distribuidas aleatoriamente. Se obtiene como el principal derivado de hidrólisis alcalina de la quitina y puede ser caracterizado por el porcentaje de unidades de β -(1,4)-D-glucosamina existentes en la cadena polimérica –porcentaje de desacetilación– Comercialmente la hidrólisis alcalina produce quitosano con un 75–80% de desacetilación. La desacetilación completa de la quitina provee un compuesto totalmente soluble en medio ácido llamado quitano (Nieto & Orellana, 2011).

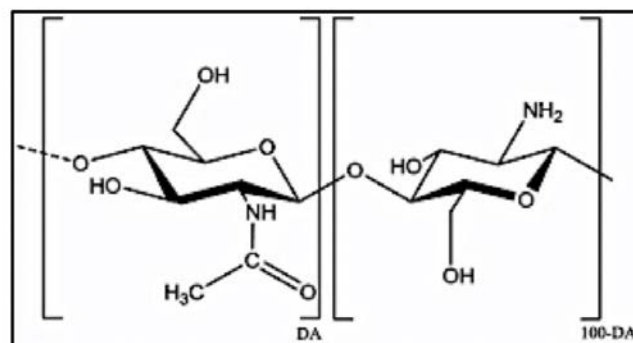


Figura 1. Estructura química de las unidades repetitivas de quitosano

Por ser un polímero no tóxico y biodegradable, es utilizado en numerosas aplicaciones industriales, algunas de las cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Aplicaciones industriales del quitosano.

Sector industrial	Tipo de aplicación
Cosméticos	Hidratante, emulsificante, emoliente, formación de películas.
Agricultura	Fungicida, inductor de resistencia antimicrobiana, bioestimulante, nematocida, biocida, tratamiento de semillas
Alimentos	Clarificante, nutracéutico, gelificante, espesante
Industria textil	Componente de textiles higiénicos, repelente, fibras, decolorante de efluentes
Biotecnología	Inmovilizador de enzimas, encapsulante, filtro, excipiente, gel en polvo
Fabricación de papel	Tratamiento de superficies, papel fotográfico
Medicina	Control del colesterol, liberación de drogas, prótesis dentales, suturas, biomateriales, vendas, agente antibacterial, anticongelante, elaboración de membranas, cicatrizante, inhibidor tumoral, fabricación de lentes de contacto
Tratamiento de aguas	Agente floculante, quelante y decolorante

Modificado de (Chitosanlab, 2016)

En las soluciones ácidas de quitosano, los grupos amino ($-NH_2$) libres de la β -(1,4)-D-glucosamina, son capaces de captar protones utilizando los electrones libres del nitrógeno en un equilibrio ácido-base (fig. 2), que da como resultado la carga parcial positiva de los grupos amonio ($-NH_3^+$) formados. El quitosano, por su carácter catiónico es capaz de solvatar y neutralizar la carga negativa de los sólidos coloidales presentes en el agua, produciendo la coagulación y floculación de éstos.

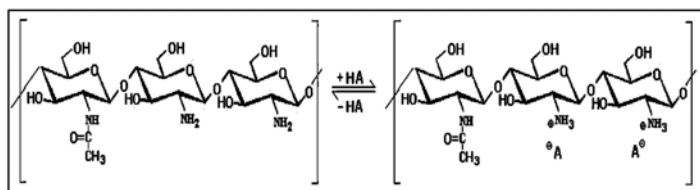


Figura 2. Equilibrio ácido-base de quitosano

Por la importancia del quitosano en los procesos de coagulación-floculación de los sólidos coloidales, presentes en aguas superficiales y, para definir una alternativa para reemplazo del sulfato de aluminio en el tratamiento de aguas crudas, se deben definir los rangos de concentración en los cuales se presente una disminución significativa de la turbidez. Con esta finalidad se ha utilizado en este estudio el agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista, que abastece de agua potable al sector centro norte de la ciudad de Quito. La reserva de agua cruda de la planta de tratamiento de Bellavista, es alimentada por el Sistema Papallacta integrado, que es el más grande con el que cuenta la ciudad de Quito. Este sistema capta agua de varios ríos de la parte oriental de la provincia de Napo, fundamentalmente de los ríos Papallacta, Blanco Chico, Cojancos en la población de Papallacta, adicionalmente en la parte alta de la cordillera Salve Faccha, Mogotes y Sucos y captaciones secundarias adicionales (EPMAPS, 2015).

METODOLOGÍA

Se colectaron muestras del agua de ingreso en la planta de tratamiento de agua potable de Bellavista-Quito y se caracterizó el agua cruda mediante mediciones de pH, turbidez, tamaño de partícula y polidispersión de los sólidos suspendidos.

Las pruebas de jarras se realizaron en equipos de agitación magnética THERMO Scientific. Utilizando un volumen constante de agua, se añadieron volúmenes variables de una solución de 1000 ppm de quitosano SIGMA ALDRICH de 75 – 80% de desacetilación y peso molecular medio, disuelto en ácido acético MERCK grado analítico 0,1% V/V, de acuerdo a los datos presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Concentración experimental de quitosano para las pruebas de jarras

Determinación	A	B
0	0	0
1	2,0	8
2	4,0	16
3	6,0	24
4	8,0	32
5	10,0	40
6	15,0	60
7	20,0	80
8	25,0	100
9	30,0	120
10	35,0	140
11	40,0	160
12	45,0	180
13	50,0	200
14	100,0	400

A= Volumen de solución de quitosano de 1000 ppm
B= Concentración de quitosano (ppm)

Los análisis se realizaron a una temperatura constante de 20°C, agitando el agua con el quitosano, por un minuto, a 360 rpm y por 20 minutos a 60 rpm; las muestras se dejaron en reposo por 30 minutos y se midió la turbidez de las muestras de agua tratadas en un turbidímetro HACH-2100Q. Se consideró la disminución de turbidez del agua, contrastada con el blanco. Igual metodología se utilizó para el tratamiento del agua, con sulfato de aluminio; se utilizó $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ Fisher Scientific, grado analítico.

El tamaño de partícula y la polidispersión de las muestras fueron medidos en un equipo de dispersión dinámica de luz (DLS) Nanopartica SZ-1000 Series y en un pH-metro LAQUA-F-72 Horiba Scientific, respectivamente.

DISCUSIÓN

Caracterización de las muestras analizadas.

El agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista, tuvo un pH experimental de 7,02. Este valor aseguró que no exista influencia sobre el equilibrio ácido-base del quitosano disuelto, en ácido acético 0,1%, favoreciendo la formación del catión amonio que actúa como neutralizador de la carga de los sólidos en suspensión, lo que facilitó la coagulación y posterior floculación de éstos.

Experimentalmente, se determinó que el agua de ingreso a la planta de tratamiento de Bellavista tiene una turbidez de 2,28 NTU. Con este valor no es posible evidenciar, a simple vista, la presencia de sólidos suspendidos, por lo que para verificarlos se midió el tamaño de partícula y la polidispersión. Se obtuvieron valores promedio para el tamaño de partícula de $17.763,0 \pm 72,6$ nm, lo cual indica que, en la muestra de agua analizada, se tienen sólidos suspendidos de tamaño superior a las partículas coloidales que se encuentran entre 1 – 100 nm (Ríos et al., 2006).

Por otro lado, se puede establecer que, a pesar del tamaño medido, los sólidos presentes se encuentran suspendidos en el agua de ingreso a la planta de tratamiento, lo cual puede deberse a la solvatación que producen las moléculas de agua, estabilizando la carga de los sólidos (Maldonado, 2018). El valor inicial de la turbidez del agua, determinado experimentalmente, se encuentra por debajo de la norma ecuatoriana, que especifica una turbidez máxima permitida de 5 NTU (INEN, 2011), para que sea apta para consumo humano.

La polidispersión define la heterogeneidad de un sistema coloidal, referida a la variabilidad de los pesos moleculares de los sólidos presentes, en un sistema dispersante. Este índice varía entre 1 – 50, acercándose a la unidad en un sistema monodisperso y a 50 para un sistema en extremo polidisperso (Romo, 1981). El valor experimental, para el índice de polidispersión de las muestras de agua analizadas fue de $30,9 \pm 6,5$, por lo que la mezcla de agua cruda colectada en la planta de tratamiento de Bellavista, en la ciudad de Quito, puede definirse como un sistema polidisperso, donde la distribución de los pesos moleculares medios de los sólidos, en suspensión, es altamente heterogénea.

Prueba de jarras.

La comparación del comportamiento de quitosano con el del sulfato de aluminio, respecto de la turbidez inicial del agua cruda (2,28 NTU), se define en la fig. 3. En concentraciones altas, en el rango de 100 - 160 ppm de coagulante-floculante, para el caso de quitosano se encontró que los valores menores de turbidez están entre 2,22 - 2,21 NTU. El menor valor de turbidez medido luego de la prueba de jarras, se da a una concentración de 140 ppm de quitosano y corresponde a 2,08 NTU. Este valor indica que el quitosano provoca una reducción en la turbidez inicial del agua correspondiente al 20% (fig. 4).

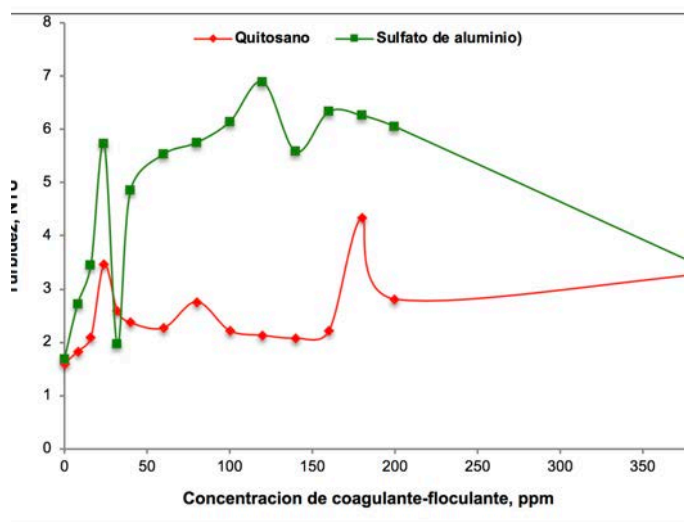


Figura 3. Turbidez vs concentración de coagulante-floculante. Comparación del comportamiento de quitosano vs sulfato de aluminio

En lo que respecta al sulfato de aluminio (fig. 3), en el mismo rango de concentraciones utilizadas para quitosano, se generó un incremento de la turbidez que va desde 6,14 a 6,33 NTU. El valor más bajo de turbidez en el agua analizada se obtiene en la concentración de 140 ppm de sulfato de aluminio

con un valor de 5,58 NTU, lo que corresponde a un incremento de turbidez de 144,7%, respecto del valor inicial del agua analizada.

En concentraciones bajas de sulfato de aluminio (32 ppm), la turbidez de agua tratada baja a 1,96 NTU (fig. 3), que corresponde a 57,9% de reducción respecto del valor inicial. Estos valores son coincidentes con los reportados en la literatura (Barajas & León, 2015). Para el caso de quitosano el descenso se observa, cuando la concentración de biopolímero se encuentra en 8 ppm con una turbidez medida de 1,83 NTU (fig. 3), correspondiente a 19,7% de reducción, respecto del valor inicial medido.

Además, se observó que el incremento gradual de la concentración de quitosano genera descensos significativos de turbidez para las secuencias de concentración entre 0 y 16ppm y de 100 a 160 ppm, como se puede apreciar en la figura 4. En los demás segmentos de la curva, los incrementos de concentración de quitosano generan incrementos de la turbidez del agua y no su disminución.

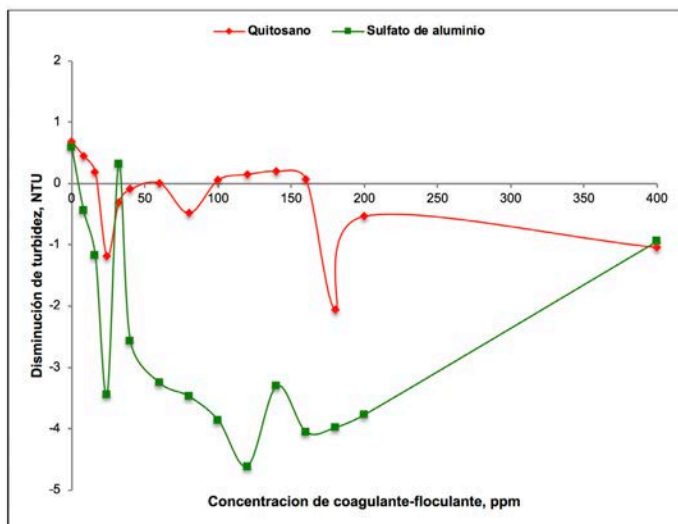


Figura 4. Disminución de Turbidez vs concentración de coagulante-floculante. Comparación del comportamiento de quitosano vs sulfato de aluminio

En lo que respecta al sulfato de aluminio, se observó que los segmentos de concentración en los que se obtiene reducción significativa de la turbidez del agua, son pequeños, puntuales, como se puede apreciar en la figura 4. El primero va de 0 a menos de 8 ppm, mientras que el segundo se compone de un segmento cuyo valor es puntual de 32 ppm, lo que corrobora las observaciones anteriores realizadas en el marco de otras mediciones (Barajas & León, 2015).

Las curvas de la figura 4 muestran, además, como los segmentos significativos del quitosano cubren secciones de curva más amplias, frente a los valores

puntuales del sulfato de aluminio. Por lo cual es más flexible el empleo de quitosano para la clarificación del agua, frente a las restricciones puntuales del sulfato de aluminio, es decir, el manejo del tratamiento del agua cuenta con opciones múltiples, a la hora de decidir estrategias para diferentes calidades de agua superficial.

Finalmente, la contribución significativa del sulfato de aluminio a la disminución de la turbidez del agua, se manifiesta a partir de los 200 ppm, mientras que la del quitosano, a partir de los 100 ppm.

CONCLUSIONES

Se determinó que el quitosano tiene efecto coagulante-floculante en aguas superficiales de baja turbidez, como las que provienen de los ríos que alimentan la Planta de Bellavista, Quito. Para el mismo valor de concentración, el sulfato de aluminio provoca un descenso de turbidez del 57,9%, mientras que, para el quitosano, el descenso de turbidez observado es del 19,7%. Así, considerando que la concentración de quitosano utilizada en la fase de coagulación-floculación corresponde a la cuarta parte de aquella utilizada para el caso de sulfato de aluminio, es evidente que, el empleo de quitosano en el tratamiento del agua cruda es beneficioso. Pero el aspecto más importante es que se puede sustituir el producto químico, con sus potenciales secuelas de daño en la salud, por un producto natural, que se obtiene de los residuos de la producción camaronera nacional. Además, se demuestra que la utilización de quitosano, en la clarificación del agua, se puede dar a partir de 100 ppm, con segmentos de disminución de turbidez en concentraciones de hasta 8 ppm. Para sulfato de aluminio se tienen efectos en la turbidez desde 200 ppm, con su mayor efecto en 32 ppm.

AGRADECIMIENTOS

Los autores dejan constancia de su agradecimiento a las Doctoras Mirely Segovia y Ximena Morales por las facilidades prestadas para la colección de las muestras de agua cruda en la planta de tratamiento de Bellavista, Quito y al Doctor Edgar Pazmiño Docente de la Facultad de Ciencias Químicas.

REFERENCIAS

Barajas, C. & León, A., (2015). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación para tratamiento de agua potable mediante el uso de una red neuronal

artificial. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás.

Caldera, Y. et al., (2011). Eficiencia del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de baja turbidez asociadas a la producción de petróleo. *Revista Tecnocientífica URU*.

Caldera, Y. et al., (2009). Quitosano como coagulante durante el tratamiento de agua de producción de petróleo. *Boletín. Centro de Investigaciones Biológicas*.

Cartwright, P., (2009). Tratamiento y reuso del agua en aplicaciones comerciales/industriales. *Agua Latinoamérica*.

Chitosanlab, (2016.) Chitosanlab. [Online] Disponible en: <https://chitosanlab.com/es/aplicaciones/> [Accessed 4 September 2018].

Choque, D., Choque, Y., Solano, A. & Ramos, B., (2013). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Universidad Nacional José María Arguedas*.

EPMAPS, (2015). Agua: un viaje de 300 Km. *El Quiteño*, enero. p. 7.

Forster, D., Newens, A., Kay, D. & JA, E., (1995). Risk factors in clinically diagnosed presenile dementia of the Alzheimer type: a case control study in northern England. *Journal Epidemiology Community Health*, 49(3), p. 253.

Fuentes, L. et al., (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus Schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*, 8.

GTM, (2016). Ficha de datos de seguridad. Sulfato de Aluminio. [Electrónico] Disponible en: <http://www.gtmchemicals.com/> [Accessed 24 octubre 2018].

INEN, I.E.d.N., (2011). Norma Técnica Ecuatoriana. Agua Potable. Requisitos. [Online] Quito, Ecuador: INEN [Accessed 4 septiembre 2018].

Maldonado, A., (2018). Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo - La Mina, Moyobamba - San Martín. Tesis. Tarapotó: Universidad de San Martín

Tarapotó Universidad de San Martín Tarapotó.

Martyn, C. et al., (1989). Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. *Lancet*, 1(8629), pp. 59 - 62.

MERCK, (2018). Is now MERCK. [Online] Disponible en: <http://www.merckmillipore.com>. [Accessed 24 octubre 2018].

Nieto, C. & Orellana, V., (2011). Aplicación de quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Ramírez, H. & Padilla, J., (2015). Agentes naturales en el tratamiento de aguas. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*.

Ríos, N., Navarro, R., Ávila, M. & Mendizábal, E., (2006). Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales anónicas de caolinita. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3).

Rodríguez, Y. et al., (2015). Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. *INGENIARE*.

Romo, L., (1981). *Coloideofísica, Coloideoquímica, Fenómenos de superficie*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universitaria.

Solís, R., Laines, J. & Hernández, J., (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 28(3).

Trejo, R. & Hernández, V., (2004). Riesgos a la salud por presencia de aluminio en agua potable. *Conciencia Tecnológica*, (25).