

**Ingeniería**

**ingeniería**

**INGENIERÍA**

# Evaluación del Proceso de la Coagulación para el Diseño de una Planta Potabilizadora

Rodríguez M., J. P.<sup>1</sup>, Lugo U., I. P.; Rojas C., A. V.; Malaver C., C.<sup>2</sup>  
Fecha de recepción: Mayo 25 de 2007 Fecha de aceptación: Noviembre 30 de 2007

## RESUMEN

El presente artículo expone el resultado de una investigación de tipo experimental, la cual tuvo como objetivo evaluar el proceso de coagulación de un agua superficial que sirve como fuente de abastecimiento para una planta potabilizadora no convencional (utilizando energías alternativas), mediante la aplicación y valoración del sulfato de aluminio tipo B, polielectrolito, almidón de yuca y almidón de maíz como coagulantes alternativos. Los resultados obtenidos señalan que el almidón de maíz, como alternativa técnica de coagulación es buena, dado que es una opción de tecnología adaptable y flexible, a las condiciones de operación de las plantas de potabilización municipales.

Palabras clave: Coagulación, coagulantes naturales, maíz, yuca

## ABSTRACT

This paper exposes the result of an experimental investigation, this objective was to evaluate of the coagulation process of a superficial water that serves as source of supply for a plant nonconventional water-treatment plant (using alternative energies), by means of the application and valuation of aluminum sulphate B type, polyelectrolito, starch of yucca and maize starch like alternative coagulants. The results indicate that to the maize starch as alternative coagulation technique is good, since it is an option of adaptable and flexible technology to the conditions of operation of the municipal plants of purification.

Key Words: Natural coagulants, maize, yucca, coagulation.

## INTRODUCCIÓN

Para hacer el diseño de una planta de tratamiento de agua para consumo humano utilizando energías alternativas, es necesario realizar una selección de los parámetros óptimos de los procesos y operaciones unitarias que la componen. Para este propósito es necesario realizar ensayos de simulación (Prueba de Jarras) para determinar las características y eficiencia de los procesos de coagulación y floculación en términos de la variación del pH y de la remoción de la turbiedad y el color, manipulando coagulantes tradicionales y naturales o alternativos.

Generalmente las plantas potabilizadoras utilizan como coagulantes las sales de aluminio o de hierro para desestabilizar partículas coloidales, pero desde los años 70 en adelante se propuso la utilización de coagulantes

(1) Msc Ingeniería Ambiental. Docente Investigador. Ingeniería Ambiental. UMB  
(2) Ingenieros Ambientales. UMB.

naturales de cada región, con el propósito de reducir el consumo de reactivos químicos; sin embargo, el desarrollo de estos coagulantes no tuvo un auge significativo debido a la comercialización y utilización de polímeros sintéticos en procesos convencionales de tratamiento como coagulantes primarios o ayudantes de floculación, los cuales pueden ser contaminados durante su proceso de fabricación con monómeros u otras sustancias tóxicas, entre las cuales se encuentra la acrilamida y de ahí pueden reaccionar con las demás sustancias químicas añadidas al agua durante su tratamiento, como tal es el caso del ozono y del cloro, generando sustancias peligrosas para la salud, pudiendo no ser removidas en el tratamiento convencional antes de llegar al usuario y/o consumidor. (PEREZ, 1992)

Por otra parte, los polímeros orgánicos o de origen natural presentan por lo general una mínima o nula toxicidad, dado que en muchos casos se utilizan como comestibles o con el propósito de tratamiento de aguas para consumo. De acuerdo con lo anterior, las alternativas de tratamiento de aguas basadas en la utilización de coagulantes naturales en los procesos de clarificación, se hace más que necesaria, imprescindible teniendo en cuenta las condiciones económicas actuales de muchos países.

Dentro de algunos coagulantes alternativos empleados en América latina, están las semillas de la planta Moringa Oleífera LAM usada como coagulante primario en la clarificación de aguas. Son diversos los coagulantes naturales (papa, cactus, maíz, trigo y yuca) que han sido utilizados en la clarificación de agua, dentro de la extensa gama de productos estudiados hasta la actualidad en el mundo. (CAMPOS, 2000).

Uno de estos coagulantes naturales es el almidón, el cual se encuentra en abundancia en el reino vegetal (Tabla 1) y constituye la mayor reserva de carbohidratos de las plantas, el cual puede ser extraído de su fuente con relativa facilidad. Entre las principales fuentes de almidón en nuestro país se tienen: maíz, yuca, papa, arroz, trigo, sagú, sorgo, araruta, los cuales deben ser sometidos previamente a un proceso inicial para lograr su gelatinización.

<b>Tabla 1. Porcentaje de almidón, proteínas, fibras y ceniza de algunas fuentes de almidón</b>				
<b>COMPONENTE</b>	<b>COMPOSICIÓN (%)</b>			
	Maíz	Trigo	Yuca	Papa
Almidón	55.05	64.0	21.5	20.0
Proteínas	8.2	12.5	1.1	2.1
Fibras	2.4	2.5	1.1	1.1
Ceniza	1.5	1.7	0.5	0.9

**Fuente: CAMPOS, 2000**

En este trabajo se presentan los resultados de una propuesta novedosa en el tratamiento del agua para consumo humano, mediante la utilización de almidón de yuca y maíz como coagulantes alternativos. Los resultados fueron comparados con los coagulantes utilizados convencionalmente (sulfato de aluminio tipo B y polielectrolito).

## MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo de la investigación de tipo experimental, se diseñó una planta potabilizadora, para lo que se tomó como fuente de abastecimiento el agua cruda de la Quebrada Las Delicias en Bogotá D.C., la cual presenta en el 90% del tiempo (anual) una turbiedad < 100 UNT, color < 60 UPC y esporádicamente una turbiedad máxima de < 400 UNT y color máximo < 100 UPC, lo cual indica que la alternativa de tratamiento óptima es del tipo convencional.

Durante los ensayos de simulación (prueba de jarras) que fueron realizados en el mes de Septiembre de 2006, se mantuvo una turbiedad promedio de  $175 \pm 5$  UNT, Color  $70 \pm 5$  UPC y pH de  $5.4 \pm 0.5$ . La determinación de turbiedad, color y pH se realizó según los métodos normalizados del APHA/AWWA/WPCP número 2130, 2120 y 4500 respectivamente.

De otro lado, siguiendo las recomendaciones del CEPIS y AWWA, para el ensayo de jarras, se tienen las siguientes consideraciones técnicas:

- La solución patrón para el sulfato de aluminio tipo B, fue del 1%, la del polielectrolito fue del 0.5% y de los almidones fue del 0.5%.
- Tomando como fundamentos los criterios de diseño de mezcladores rápidos, mediante ensayos previos se demostró que el tiempo óptimo de la mezcla rápida fue de 15 segundos y el gradiente fue de  $> 300 \text{ s}^{-1}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  (condiciones de laboratorio) con jarras (volumen de 2 L) sin deflectores equivalentes a 329 RPM.
- Para la operación de la floculación el tiempo fue de 15 minutos y el gradiente de velocidad fue de  $15 \text{ s}^{-1}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  equivalente en el equipo a 24 RPM.
- En la operación de sedimentación, el tiempo de decantación fue de 10 minutos y con gradiente de  $0 \text{ s}^{-1}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , es decir en reposo.
- El principio para la determinación de la dosis teórica, se tomó como referencia que para el sulfato de aluminio tipo B, por cada 1 mg/L de sulfato, este consume 0.5 mg/L de la alcalinidad total del agua; de ahí se tomó la base para la dosificación del almidón de maíz y de yuca en cantidades similares que el sulfato. Mientras que el polielectrolito, se puede aplicar en dosis con un intervalo de 0.1 mg/L a 1.0 mg/L, según recomendación del fabricante. (ARBOLEDA, 2000)

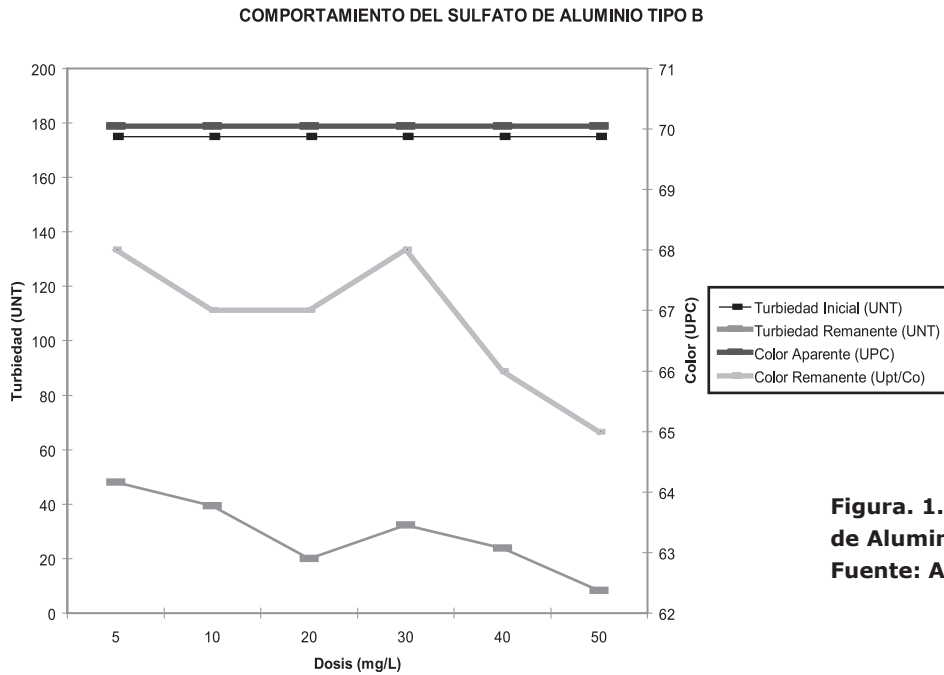
## RESULTADOS Y DISCUSION

En las figuras 1 a 4 se presentan los valores de la turbiedad y el color del agua tratada con los coagulantes estudiados: sulfato de aluminio tipo B (alumbre), polielectrolito, almidón de maíz y de yuca en condiciones de mezcla rápida, lenta y sedimentación.

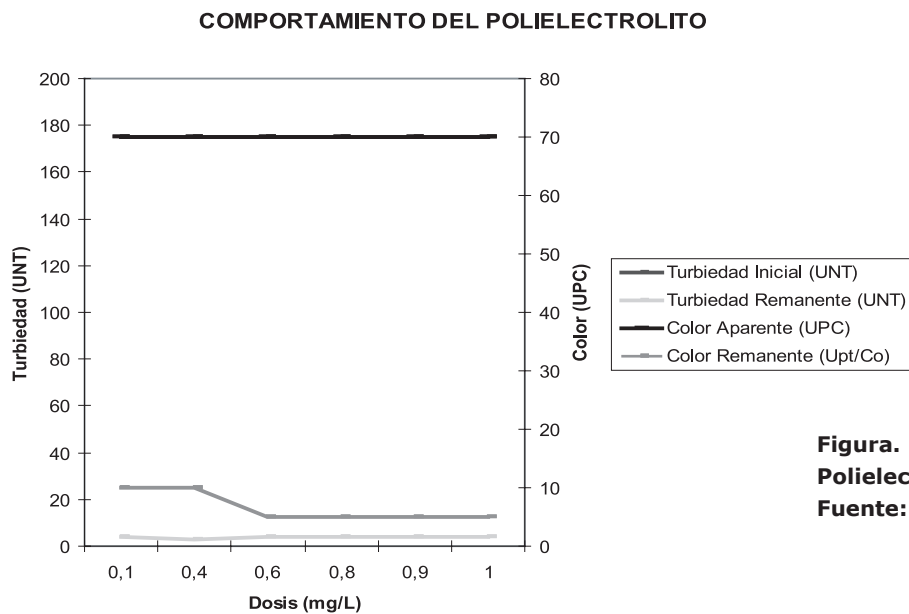
En la figura 1, se observa que el coagulante utilizado tradicionalmente (Sulfato de Aluminio) para una dosis óptima 20mg/L tiene rendimientos de color menores de 67 UPC, turbiedad menor de 20 UNT y pH de 5.30, la

cual indica que la batería de filtros presenta una colmatación más rápida, es decir que la frecuencia entre lavados es más corta.

En la figura 2, en términos de la utilización del polielectrolito, se observa que al aplicar este coagulante primario en una dosis óptima de 0.6 mg/L conduce a apreciables beneficios en la calidad del agua tratada, con valores de turbiedad menores de 1.0 UNT, color menor de 10 UPC y pH 4.2, las cuales son muy favorables para la operación de la batería de filtros, representando carreras de filtración mas largas.



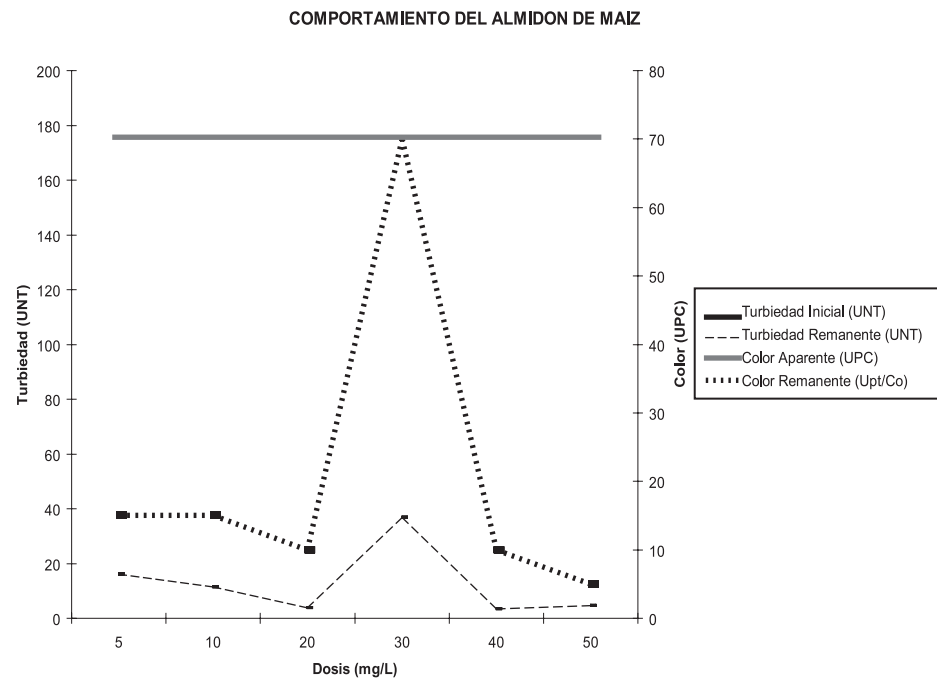
**Figura. 1. Resultados del Sulfato de Aluminio**  
Fuente: Autores



**Figura. 2. Resultados del Polielectrolito**  
Fuente: Autores

En la figura 3, al utilizar el almidón de maíz, se observa que con una dosis óptima de 20 mg/L los resultados de turbiedad, color y pH, se encuentran por debajo de 1.0 UNT, 25 UPC y 5.38 respectivamente, siendo estos valores propicios para las carreras de filtración, debido a que estas serian más largas y por consiguiente los lavados de la unidades de la batería de filtros más extensas.

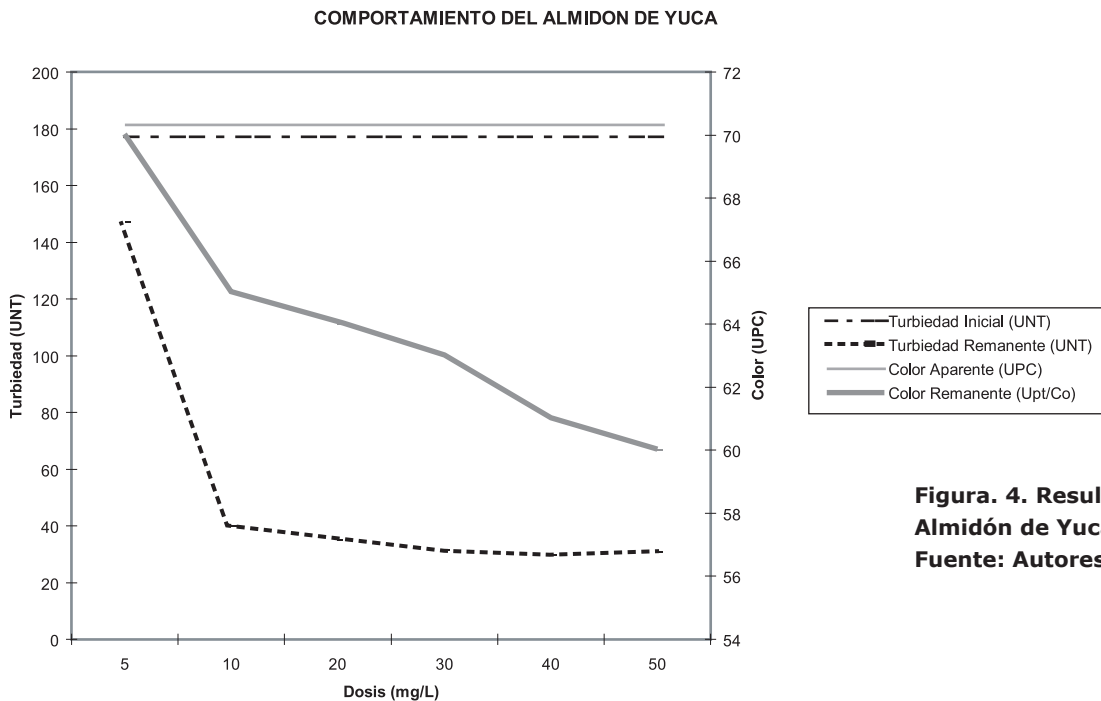
En la figura 4, para el almidón de yuca, se observa que para una dosis óptima de 50 mg/L los valores de turbiedad están en el orden de 30 UNT, color de 60 UPC y pH de 5.43, los cuales le aportarían un efecto secundario de colmatación a las carreras de filtración posteriores en la batería de filtros.



**Figura. 3. Resultados del Almidón de Maíz**  
Fuente: Autores

Según los resultados presentados, en términos de remociones de turbiedad, se observó que el polielectrolito y el almidón de maíz presentaron los mejores resultados al ser utilizados como coagulantes primarios, dado que la relación de remoción de turbiedad es directamente proporcional al área superficial de los coloides al aplicar la dosis optima y por consiguiente genera una aglutinación mejor de las partículas suspendidas.

En el aspecto del color, la remoción de este parámetro al utilizar el polielectrolito y el almidón de maíz, se observan valores benéficos para el cumplimiento del Decreto Colombiano 475 de 1998, debido a que la remoción del color es función del pH del agua



**Figura. 4. Resultados del Almidón de Yuca**  
Fuente: Autores

Generalmente, el uso de polielectrólitos y del almidón de maíz en plantas potabilizadoras mejora la calidad del efluente e incrementa la velocidad de sedimentación; por consiguiente al utilizar el almidón de maíz como coagulante primario natural se reduciría el volumen de lodos depositados, así como las características de ellos facilitando la disposición final, sin dejar de lado la reducción de costos de tratamiento por compra de este insumo.

Al utilizar polielectrólitos en plantas potabilizadoras, se observa que presentan un costo relativamente alto como insumo químico y efectos potenciales en la salud del consumidor del agua potable, debido a las reacciones secundarias que estos presentan con subproductos del tratamiento.

El almidón de maíz, puede ser utilizado como una solución tecnológica flexible, dado que es una materia prima disponible en condiciones tanto rurales como urbanas, de calidad óptima, mínima complejidad de operación, bajo costo y poco riesgo potencial a la salud del consumidor del agua potable.

Convencionalmente al utilizar un coagulante primario en plantas potabilizadoras, se presenta el fenómeno del efecto de barrido en la remoción de turbiedad y color, por la sobresaturación del coagulante, debido a las condiciones dinámicas que tiene las fuentes de agua y desde luego la variación que presentan los valores de los parámetros antes mencionados, lo cual bajo estas condiciones de experimentación en reactor bach (Ensayo de Jarras), se esperaría el efecto de barrido al aplicar cualquiera de los coagulantes evaluados en planta real.

## CONCLUSIONES

Las potabilizadoras convencionales utilizan generalmente sales de aluminio o de hierro, y en algunos casos particulares polielectrólitos como coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua cruda, pero son muy pocas las plantas potabilizadoras que operan con coagulantes naturales en sus procesos y operaciones unitarias, debido esto, que en muchos casos existe un desconocimiento de las ventajas y cualidades de productos naturales para desestabilizar las partículas coloidales en el agua.

Debido a lo anterior, los resultados experimentales establecidos en las condiciones del ensayo, presentaron que el mejor coagulante natural (alternativo) fue el almidón de maíz, para estas condiciones del agua cruda superficial. Por el contrario el almidón de yuca presentó un rendimiento bajo en comparación con los coagulantes convencionales.

Adicional a lo expuesto, se considera que los ensayos experimentales con coagulantes naturales se deben implementar para condiciones de diferentes tipos de aguas ya sean superficiales (quebradas, ríos, embalses, ciénagas y lagos) y subterráneas, con el propósito de verificar la eficiencia y eficacia de estos coagulantes en diferentes condiciones de operación, dinámica y rendimientos de plantas potabilizadoras.

## BIBLIOGRAFIA

AL AZHARIA, Samia. Uso apropiado de coagulantes naturales africanos para el abastecimiento de agua en el medio rural. CEPIS/OPS/OMS. 1989.

ALMENDAREZ, Nabyarina, Comprobación de la efectividad del polímero natural, El nuevo diario de Nicaragua, Domingo 13 Agosto, 2000, Managua, Nicaragua.

ANDIA CARDENAS, Yolanda. Tratamiento del Agua: Coagulación - Flocculación. SEDAPAL. 2000.

APHA, AWWA, WPCP. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 2000.

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Editorial Mc Graw Hill. 2000.

B. SOMMER, A. MARIO, Y. SOLARTE, M. L. SALAS, C. DIEROLF, C. VALIENTE, D. MORA, R. RECHSTEINER, P. SETTER, W. WIROJANAGUD, H. AJARMEH, A. AL-HASSAN, M. WEGELIN (1997) SODIS - an emerging water treatment process (J Water SRT - Aqua, No. 3).

CAMPOS, José Roberto; DI BERNARDO Luís. Uso de polímeros Naturales en el Tratamiento De Agua para abastecimiento, CINARA, Centro Inter.

Regional de abastecimiento y Remoción de Agua, Universidad de Sao Paulo, Escuela de ingeniería de Sao Carlos – Brasil. 2000.

CAMPOS, José Roberto; DI BERNARDO Luís. Uso de polímeros Naturales en el Tratamiento de Agua para abastecimiento, CINARA, Centro Inter. Regional de abastecimiento y Remoción de Agua, Universidad de Sao Paulo, Escuela de ingeniería de Sao Carlos – Brasil.

CANEPA DE VARGAS, L.; PEREZ, José. Coagulación. CEPIS. 1989.

CANEPA, DE VARGAS, Lidia; MALDONADO YACTAYO, Víctor; BARRENECHEA MARTEL, Ada; AURAZO DE ZUMAETA, Margarita. CEPIS. Manual I: Teoría. Tomo I. Lima, CEPIS, 2004, p.226-262 Ilus., tablas (OPS/CEPIS/PUB/04.109).

CASTRO, C., Noelia y CHAIDEZ Q., Cristóbal. Riesgos Microbiológicos del Almacenamiento de Agua Potable en Tinacos, Agua Latinoamericana, Mayo/Junio, 2003.

CEPIS. Manual I. Teoría. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración r CEPIS. Manual II. Diseño de plantas de tecnología apropiada. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. 2004.

CEPIS. Manual III. Evaluación de plantas de tecnología apropiada. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. 2005.

CEPIS. Programa regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. Serie Filtración rápida y lenta. 1992.

CRUZ. Estudio de algunas rutas de separación y purificación de jarabes de glucosa. Año 2001. UNC

CHAVEZ MEJIA, Alma; JIMENEZ CISNEROS, Blanca. Evaluación de las condiciones de mezclado, punto de adición de coagulante y floculante en la eficiencia de un tratamiento primario avanzado. UNAM. 2000.

DI BERNARDO, L.; MENDES C., G. N.; GUIMARÃES, A. F. Coagulação-floculação de águas com turbidez ou cor elevada (Parte I). Revista DAE, v.47, n.150, p.227-231, Dezembro. 1987.

FERREIRA FILHO, Sydney. Aplicação de polímeros catiônicos em conjunto comcoagulantes inorgânicos como auxiliares de coagulação para aotimização de estações de tratamento de água. USP. 2003.

KAWUAMURA, S. (1991). "Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment" *Journal. AWWA*. October: 88-91.

KIRCHMER, Cliff. Aspectos Químicos y Físicos de la Coagulación del Agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. CEPIS.1980

KUNTSCHIK, Ato. Optimazation of surface water treatment. American Water Works Association. J PÉREZ PARRA, Jorge. Manual de Potabilización de Aguas. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. 1988.

LOZANO RIVERAS, William Antonio. Una nueva manera de potabilizar el agua, Fibrofiltración Biológica del agua, filtración lenta en medios fibrosos, revista ACODAL, Agosto, 2004.

LUGO, Ingrid; MALAVER, Carolina; ROJAS, Astrid. Diseño de una planta de potabilización utilizando coagulantes naturales y energías alternativas. Proyecto de investigación (tesis de pregrado). Universidad Manuela Beltrán. 2006.

NAJUL SALDIVINA, Maria; LÓPEZ LEGÓRBURU, Eudoro; SÁNCHEZ DE LOVERA, Reveca; BLANCO SALAS, Henry; RINCONES CELIS, Maria, Metodología para la determinación de parámetros de operación de sistemas de tratamiento para potabilización de aguas con baja turbiedad, Planta experimental de tratamiento de aguas, Universidad Central De Venezuela, apartado postal 47008, los chaguaramos, caracas 1041 – A Venezuela.

PAVANELLI, Jerson. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor elevada e baixa turbidez. UFPR. 2002.

PEREZ CARRION, José. Estado del Arte – Coagulación. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. CEPIS. 1980.

PEREZ CARRION, José. Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano. 1992.

R.J. SMITH, S.C. KEHOE, K.G. MCGUIGAN, M.R. BARER (2000) Effects of simulated solar disinfection on infectivity of Salmonella typhimurium (Lett Appl Microbiol; 31: 4, 284-288)

SINGLEY, J. E. Experiencias en el proceso de coagulación de carbonato de magnesio en Norteamérica. Universidad de Florida. 1972.

SUAREZ, Diana. Guía de Procesos para la Elaboración de Harinas, Almidones, Hojuelas D ACRA, Z. RAFFOUL, Y. KARAHAGOPIAN (1984) Solar Desinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions (UNICEF (extract)).