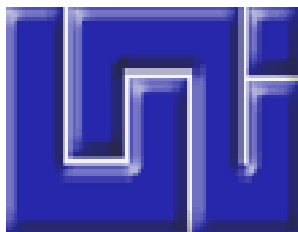


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

Mon
628.1622
P339
2011



Monografía para optar al Título de Ingeniero Químico

**“Estudio del uso de Quitosana como Coagulante en
muestras del Río Fonseca y del Lago Cocibolca”**

”

Autor: Br. Javier Antonio Pavón Gaitán

Tutor: Ph.D. Indiana García

Managua, Nicaragua

Enero 2011

OPINION DEL CATEDRATICO GUIA

Managua, 26 de Enero del 2011.

Ing. Leonardo Chavarría

Decano FIQ

Estimado Ing. Chavarría:

Por este medio quiero hacer constar que he revisado cuidadosamente la tesis del Bachiller Javier Pavón cuyo título es *“Estudio del uso de quitosana como coagulante en el proceso de potabilización”*.

Esta investigación consistió en tomar muestras de agua superficiales de dos fuentes diferentes para estudiar la disminución de la materia orgánica al aplicar los procesos de coagulación-floculación-sedimentación a escala de laboratorio usando dos coagulantes uno sintético como es sulfato de aluminio y un coagulante natural, quitosana; posteriormente se aplicó el proceso de desinfección para determinar cuántos sub-productos de la desinfección como trihalometanos se formaban.

Este estudio es importante debido a que el uso de coagulantes sintéticos está disminuyendo debido a que se le atribuye ser el origen de muchas enfermedades en los seres humanos y porque contribuyen en su deposición en la contaminación de los cuerpos de agua. Por lo que la aplicación de coagulantes naturales como la quitosana en la potabilización de agua debe ser estudiado.

Sin más a que referirme

Ing. Indiana García

Profesor Titular

RESUMEN

El presente trabajo consistió en evaluar la Quitosana como coagulante en aguas crudas naturales y compararla con los resultados obtenidos con sulfato de aluminio. Para tal efecto se realizaron cuatro muestreos, distribuidos uniformemente durante las estaciones climatológicas del año, usando las fuentes que abastecen a las plantas potabilizadoras de Boaco (Río Fonseca) y Juigalpa (Lago de Cocibolca).

Las aguas crudas presentaron característica ligeramente alcalina (7.0-8.4), los parámetros que caracterizan la materia orgánica como absorbancia ultravioleta a 254 nm (UV_{254}), carbón orgánico disuelto (DOC), color y absorbancia específica ultravioleta (SUVA) indican una mayor concentración de la materia orgánica en el río Fonseca, sobretodo en época lluviosa.

Se empleó el equipo de prueba de jarras para simular el proceso coagulación-floculación-sedimentación del tratamiento convencional, variando el tipo y la concentración del coagulante adicionado en cada experimento. Posterior al tratamiento de cada corrida, se seleccionó la jarra con la mayor disminución de contenido aromático medido como UV_{254} . Al aplicar el proceso de coagulación con la quitosana, ésta presentó menores valores de remoción de materia orgánica, (23.3-86.8%) en la fuente de Boaco y del (41.4-68.4%) en la fuente de Juigalpa, en comparación con el sulfato de aluminio, (63.5%-96.4%) y (72.6%-75.8%).

Para el agua procesada de Boaco, los trihalometanos (THMs) sobrepasaron los 80 $\mu\text{g/L}$ estipulados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), no así el máximo admisible establecido por el Comité Regional para la institución del agua potable y saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE) de 460 $\mu\text{g/L}$. En cambio para el agua de Juigalpa los valores estuvieron por debajo de los valores especificados por ambas normativas. Siempre la cantidad de trihalometanos fue mayor en las muestras que coaguladas con quitosana.

Aunque se obtuvo mejores resultados con el sulfato de aluminio, ninguna de las aguas tratadas cumplen con los valores normados para aguas de consumo humano, debido a que excedieron varias veces los valores admisibles.

DEDICATORIA

Dedicado a la memoria de María López, Julio, Jerónima, Mew-ráh y Jannier.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a esa fuerza natural, que hace posible que todo suceda y que muchos, por ser incomprensible y abstracta, le llaman DIOS, por tener padre y madre, a través de los cuales tuve la oportunidad de vivir, haber conocido personas y hacer posible este paso en mi vida.

A quienes fueron mis compañeros de clase y profesores, en especial a:
Christian Gómez que me instó a seguir estudiando, aunque él ya se haya ido,
Luz Violeta Molina por encarrilarme hacia mi meta,
Carmen Montenegro por auxiliarme en mi último semestre,
Tyron Walberto por animarme y distraerme,
Indiana García por ser mi tutor y guía,

Al Proyecto UNI-SAREC-FIQ por el apoyo brindado para realizar esta investigación.

A los que me han brindado ayuda incondicional durante estos últimos cinco años y a quienes han caminado, de alguna u otra forma, junto a mí en éste viaje sin retorno llamado vida.

Sin ellos esto no sería posible.

Gracias.

ÍNDICE

PÁGINA

1.	Introducción	1
1.1	Objetivos	4
2.	Marco Teórico	5
2.1	El agua	5
2.2	Calidad del agua	5
2.2.1	Características fisicoquímicas	6
2.2.2	Normas de calidad del agua potable	9
2.3	Materia orgánica presente en el agua	11
2.4	Subproductos de la desinfección	13
2.5	Sistema de tratamiento convencional	15
2.5.1	Coagulación	15
2.5.2	Mezcla rápida	17
2.5.3	Floculación	18
2.5.4	Sedimentación	21
2.5.5	Filtración	21
2.5.6	Desinfección	21
2.6	Coagulantes	22
2.6.1	Quitina y quitosana	23
2.6.1.1	Reacciones	25
2.6.1.2	Aspectos cinéticos	26
2.6.2	Sales de aluminio	27
2.6.2.1	Mecanismos de coagulación por alumbre	28
3.	Diseño Metodológico	31
3.1	Tipo de estudio	31
3.2	Universo	31

3.3	Muestra	31
3.4	Diseño del muestreo	32
3.5	Herramientas de recolección de datos	32
3.6	Simulación del proceso coagulación-floculación-sedimentación y desinfección	33
3.7	Variables estudiadas	34
3.8	Procesamiento y análisis de la información	36
4.	Discusión de Resultados	38
4.1	Caracterización del agua cruda	38
4.2	Proceso de coagulación con quitosana	41
4.3	Proceso de coagulación con sulfato de aluminio	45
4.4	Comparacion de la remocion de materia orgánica por ambos coagulantes	47
4.5	Formacion de trihalometanos	50
4.6	Incidencia de las estaciones climatologicas	52
5.	Conclusiones	53
6.	Recomendaciones	54
7.	Referencias Bibliográficas	55
	Anexos	61

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 2.1	Estructura hipotética del ácido húmico en el suelo	11
Figura 2.2	Modelo esquemático de las etapas del proceso de coagulación	16
Figura 2.3	Modelo de la doble capa difusa de Stern-Gouy	17
Figura 2.4	Esquema de desestabilización debido a coagulantes arrastrados por remolinos a micro-escala	18
Figura 2.5	Mecanismos de transporte de la floculación	19
Figura 2.6	Efecto del período de floculación en la sedimentación	20
Figura 2.7	Estructura molecular de la quitina	24
Figura 2.8	Estructura molecular de la quitosana	24
Figura 2.9	Modelo de arreglo electroestático para la floculación de partículas negativas mediante polielectrólitos catiónicos	26
Figura 2.10	Etapas de la floculación de partículas por adsorción con polímeros	27
Figura 2.11	Mecanismos de coagulación con sulfato de aluminio	30
Figura 3.1	Canales de entrada al sistema de tratamiento, PTAP de Boaco	32
Figura 3.2	Equipo de Prueba de jarras	34
Figura 4.1	Remoción de color con sulfato de aluminio	50
Figura 4.2	Remoción de color con quitosana	50
Figura 4.3	Formación de trihalometanos, Boaco	51
Figura 4.4	Formación de trihalometanos, Juigalpa	52

LISTA DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 2.1	Normas de calidad CAPRE	10
Tabla 2.2	Parámetros para los subproductos de la desinfección	14
Tabla 2.3	Comparación de tipos de coagulantes	23
Tabla 2.4	Comparación de las principales características y aplicaciones de la quitosana	25
Tabla 3.1	Variables y métodos	35
Tabla 4.1	Características del agua cruda, Boaco	38
Tabla 4.2	Características del agua cruda, Juigalpa	39
Tabla 4.3	Características del agua coagulada con quitosana, Boaco	42
Tabla 4.4	Características del agua coagulada con quitosana, Juigalpa	43
Tabla 4.5	Características del agua coagulada con sulfato de aluminio, Boaco	45
Tabla 4.6	Características del agua coagulada con sulfato de aluminio, Juigalpa	46
Tabla 4.7	Porcentajes de variación de materia orgánica, Boaco	48
Tabla 4.8	Porcentajes de variación de materia orgánica, Boaco	48

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el principal compuesto esencial para la vida en la Tierra, y en particular para el ser humano. Sin embargo, el desarrollo económico y el crecimiento de la población están restringiendo la cantidad y calidad del agua disponible (Frank y Drinan, 2004). Es por ello que surge la necesidad de consumir agua limpia, esto es, agua libre de cualquier compuesto o sustancia que pueda resultar perjudicial para la salud de las personas.

El desarrollo en el último siglo de sistemas de potabilización permitió a las ciudades de los países desarrollados estar libres de enfermedades transmitidas por el agua (Obregón, 2005). No obstante la tecnología convencional de esos sistemas emplean hasta la fecha, coagulantes inorgánicos como el sulfato de aluminio principalmente, debido a su efectividad, bajo costo, fácil manejo y disponibilidad (Ahmad et al., 2006). Pero la utilización de éstos se ha visto limitado por los riesgos que puede representar a la salud humana a causa de que el aluminio ha sido señalado como uno de los principales responsables del mal de Alzheimer (McLachlan, 1995).

El desarrollo de coagulantes alternativos menos perjudiciales a los seres humanos y a los cuerpos de agua, pero también de bajo costo, ha dado paso al uso de biopolímeros naturales como la quitosana, que ha exhibido muy buenos resultados en el tratamiento de aguas industriales y en la adsorción de metales pesados.

En Nicaragua la calidad de agua potable presenta todavía algunas deficiencias, sobre todo en las zona central donde se abastecen de aguas superficiales, debido que algunas de las plantas potabilizadoras tienen problemas de operación en el proceso, lo cual provoca que no logren cumplir con los porcentajes de remoción estipulados en el diseño original, principalmente a causa de limitaciones económicas, el incremento de la población que demanda más agua y la calidad de las fuentes que se han deteriorado con el tiempo. Las deficiencias de esas plantas potabilizadoras que emplean tratamiento convencional (coagulación-floculación-sedimentación-filtración) causan que

la materia orgánica natural (NOM) no sea removida totalmente; ocasionando, en el proceso de desinfección, una reacción con el cloro; halogenando los anillos aromáticos de compuestos orgánicos y produciendo sub-productos de la desinfección (DBPs) como: trihalometanos (THMs) y ácidos haloacéticos (HAAs), los cuales son mutagénicos y cancerígenos (Bolto y Gregory, 2007; Lin, 2007; McLachlan, 1995).

Existen tratamientos alternativos para reducir la presencia de materia orgánica como: la filtración por membrana, intercambio iónico, adsorción con carbón activado, pero son tecnologías de alto costo muy difíciles de ser utilizados en Nicaragua. Por lo que de acuerdo a la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, 1998) ha indicado el empleo de coagulación mejorada como una de las mejores tecnologías (Escobar, 2010) para controlar los precursores de los DBPs en países en vías de desarrollo, sin embargo esto implica el uso de mayores dosis de coagulantes, también mayores costos, y la presencia de un porcentaje elevado de especies solubles del metal aluminio, de bajo peso molecular, químicamente reactivas y, posiblemente, más fácilmente absorbibles por el organismo, siendo mayor el riesgo para el ser humano en la ingesta de compuestos de aluminio presentes en el agua que toman y mayor contaminación en las aguas de los ríos.

Por las razones antes expuestas se decidió investigar la utilización de la quitosana, obtenida de la caparazón de los mariscos como camarones o langostas y que está siendo producida en la Facultad de Ingeniería Química (Escorcía y Hernández, 2009), como coagulante empleando agua superficial del río Fonseca, que abastece la planta potabilizadora de Boaco, y del Lago Cocibolca, que abastece la planta potabilizadora de Juigalpa. De ser factible la utilización de la misma se reducirían los desperdicios generados y no aprovechados por las plantas empacadoras de mariscos a sitios baldíos utilizados como basureros o, peor aún, a cuerpos de agua. El segundo provecho sería la utilización de la quitosana como coagulante en el proceso de purificación del agua.

Este estudio se realizó a nivel de laboratorio, haciendo dos muestreos en época seca y dos en época lluviosa. También se hizo una comparación del proceso de coagulación con sulfato de aluminio para determinar cuál fue el mejor coagulante en la remoción de materia orgánica medida como carbono orgánico disuelto (DOC), color, absorbancia a 254 nm (UV_{254}) y absorbancia específica a 254 nm (SUVA). Posteriormente se simuló el proceso de filtración y se desinfectó el agua con cloro para determinar cuánto trihalometano fue formado.

Los resultados experimentales de la aplicación de quitosana o sulfato de aluminio como coagulantes muestran que las mayores remociones de materia orgánica se hallaron al utilizar sulfato de aluminio. Pero que aun así, los porcentajes de remoción de materia orgánica encontrados con la quitosana exceden los valores reportados por otros autores.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar el uso de la quitosana como coagulante en la remoción de materia orgánica presente en muestras provenientes del río Fonseca y el Lago Cocibolca a nivel laboratorio.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las muestras de agua cruda provenientes del río Fonseca y del lago Cocibolca en cuanto a la presencia de materia orgánica y otros compuestos de origen fisicoquímico.
- Llevar a cabo experimentos del proceso coagulación-floculación-sedimentación empleando como coagulantes quitosana primeramente y sulfato de aluminio posteriormente.
- Comparar la remoción de materia orgánica con quitosana vs remoción con sulfato de aluminio.
- Determinar la concentración de trihalometanos en las aguas tratadas con ambos tipos de coagulantes.
- Valorar la incidencia de las estaciones climatológicas en la calidad del agua.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los parámetros que influyen en la calidad del agua, así como las normas de calidad del agua potable. También se presenta los procesos que constituyen el tratamiento convencional. Además se muestran las características de ambos tipos de coagulantes a ser estudiados.

2.1 EL AGUA

El agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Su fórmula molecular es H_2O . No tiene color (es incolora), no tiene olor (es inodora), carece de sabor, con pH neutro. Siendo la única sustancia natural que se encuentra presente en los tres estados físicos a las temperaturas que se presentan en la Tierra (ENACAL, 2006).

En la naturaleza, al entrar en contacto con el suelo y la atmósfera va adquiriendo elementos o compuestos que desvirtúan su composición original, tanto desde el punto de vista físico (color, olor, sabor) como químico (dureza, pH, Fe^{+3} , Mn^{+4} entre otros) y microbiológico (patógenos, algas) (Romero, 1999).

2.2 CALIDAD DEL AGUA

El agua apta para el consumo humano, es aquella que debe de estar exenta de organismos capaces de originar enfermedades, y de cualquier mineral o sustancia orgánica que pueda producir efectos fisiológicos perjudiciales. Para que reúna esos requisitos debe cumplir con ciertos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos ya establecidos (Romero, 1999; OPS/CEPIS/PUB, 2004), estos se tratan a continuación.

2.2.1 Características Fisicoquímicas

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas del agua.

a. Turbiedad

Originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, cal, tierra finamente dividida, minerales, plancton, entre otros) afecta directamente la estética del agua, además de la presencia de metales pesados o compuestos tóxicos. Su medición está dada en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

En la práctica, la remoción de la turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de potabilización, sin embargo es uno de los que más influye en los costos de producción, porque requiere el uso de coagulantes, acondicionadores, reguladores del pH, ayudantes de coagulación.

Altos niveles de turbiedad se asocian con altos niveles de patógenos como: parásitos, virus y bacterias. Las partículas reducen la eficiencia de la cloración y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por ello se estipula un valor máximo admisible (Tabla 2.1) (Lin, 2007; OPS/CEPIS/PUB, 2004).

b. Conductividad

Es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, por lo tanto es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua, proviene de un ácido, una base o una sal disociada en iones. La temperatura modifica mucho la conductividad de una solución. Su unidad de medición es S/m o $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad de las diferentes aguas varía mucho: agua ultra pura 5.5×10^{-6} S/m; agua potable 0.005 a 0.05 S/m y agua de mar 5 S/m (Lenntech, 2006).

c. Sólidos Totales Disueltos (STD)

Se refieren a materia suspendida (sólidos insolubles) o disueltos (sólidos solubles) en el agua. Agua potable con altos niveles de STD puede no tener un buen sabor y poseer un efecto laxativo.

Los STD son sustancias que pasan por un filtro de 0.45 μm pero quedan como residuos cuando el agua se evapora. Pueden incluir minerales disueltos y sales, ácidos húmicos, pirógenos y taninos. En aguas naturales, los mayores contribuidores de STD son los carbonatos, bicarbonatos, cloro, sulfatos, fosfatos, y sales de nitrato. Problemas de sabor en las aguas, generalmente provienen de la presencia de niveles altos de STD con algunos metales presentes.

Comprenden sólidos en solución verdadera y sólidos en estado coloidal, no retenidos en la filtración (Obregón, 2005).

d. Color

Esta característica puede estar ligada a la turbiedad o presentarse independientemente de ella. Se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, hierro o manganeso coloidal. Se considera que el color natural del agua, puede originarse por:

- Descomposición de la materia.
- Extracción acuosa de sustancias de origen vegetal.
- Materia orgánica del suelo.
- Presencia de hierro, magnesio y otros compuestos metálicos.

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color natural o verdadero al que queda después de que el agua ha sido filtrada. Su medición está dada en mg de Platino Cobalto por litro (mg/L Pt-Co).

La coagulación mediante una sal de aluminio o de hierro es el principal método para la remoción del color.

Debido a que el color del agua se origina en muchos casos por la presencia de compuestos de origen orgánico, es recomendable que la desinfección se realice luego de que éste haya sido removido, para evitar la formación de compuestos que tienen efectos cancerígenos (OPS/CEPIS/PUB, 2004).

e. Temperatura

Influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

La temperatura ideal debería estar entre 18°C y 30°C. Agua con una temperatura alta no es agradable al gusto (Romero, 1999).

f. pH

Representa el grado de alcalinidad o acidez, atribuida a la presencia de CO₂ disuelto, bicarbonatos (HCO₃⁻), carbonatos (CO₃⁻²), iones hidroxilos (OH⁻), fosfatos, silicatos, boratos, amoníaco, ácidos minerales, iones metálicos polivalentes.

Cuando el agua presenta un pH bajo es común la adición de una base (cal) o ácido (sulfúrico) cuando lo tiene alto, de tal modo que el agua tratada no tenga efectos corrosivos o incrustantes (OPS/CEPIS/PUB, 2004). Valores admisibles del pH van de 6.5 a 8.5.

g. Nitrógeno

Sustancias indeseables en el agua en forma de nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico o amoníaco, difíciles de ser removidos del agua por métodos comunes.

Tanto los nitratos como los nitritos pueden ser absorbidos por los tejidos del cuerpo e incorporados a la sangre, una vez allí, reaccionan con el ión ferroso (Fe^{+2}) de la desoxihemoglobina y forman metahemoglobina, en la cual el hierro se encuentra en estado férrico (Fe^{+3}) que es incapaz de transportar el oxígeno. Pueden provocar trastornos en niños menores de 6 meses, o formar haloacetónitrilos en la etapa de desinfección (Tabla 2.2). Estas sustancias son mutagénicas y cancerígenas (USEPA, 1998).

Los valores admisibles del nitrato no debe de sobrepasar los 10 mg/L y 1 mg/L para el nitrito (Lin, 2007; OPS/CEPIS/PUB, 2004).

h. Cloro

Se presenta en el agua como ácido hipocloroso (HOCl) e iones hipoclorito (OCl^-). Estos reaccionan rápidamente con el amoníaco y algunos compuestos nitrogenados para formar cloro combinado. La oxidación inducida por el cloro provoca un cambio del color (que es directamente proporcional a la concentración de cloro).

2.2.2 Normas de Calidad del Agua Potable

En la Tabla 2.1 se muestran los parámetros que debe de cumplir un agua apta para consumo humano, después de ser tratada, de acuerdo al Comité de Calidad de Agua para América Central y el Caribe (CAPRE, 2002).

Tabla 2.1 Normas de calidad CAPRE.

Parámetros Organolépticos			
Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Admisible
Color Verdadero	mg/L Pt-Co	1	15
Turbiedad	NTU	1	5
Olor	Factor dilución	0	2°C a 12 °C 3°C a 25°C
Sabor	Factor dilución	0	2°C a 12 °C 3°C a 25°C
Parámetros Fisicoquímicos			
Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Admisible
Temperatura	°C	18 a 30	
Iones Hidrógeno	pH	6.5 a 8.5	
Cloro Residual	mg/L	0.5 a 1.0	5**
Cloruros	mg/L	25	250
Conductividad	µS/cm	400	
Dureza	mg/L CaCO ₃	40	
Sulfatos	mg/L CaCO ₃	25	250
Aluminio	mg/L		0.2
Calcio	mg/L CaCO ₃	100	
Cobre	mg/L	1.0	2.0
Magnesio	mg/L	30	50
Sodio	mg/L	25	200
Potasio	mg/L	-	10
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-	1000
Zinc	mg/L	-	3.0
Parámetros de Sustancias No Deseadas			
Parámetros	Unidad	Valor Recomendado	Valor Admisible
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	25	45
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	0.1	1
Amonio	mg/L	0.05	0.5
Hierro	mg/L		0.3
Manganeso	mg/L	0.1	0.5
Fluoruro	mg/L	0	0.7 a 1.5
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	0	0.05

Fuente: CAPRE, 2002.

2.3 MATERIA ORGÁNICA PRESENTE EN EL AGUA

Materia Orgánica Natural (NOM) procede de la degradación química y biológica de las plantas y de la actividad de los organismos. Constituida por sustancias húmicas, azúcares, ácidos alifáticos, aromáticos, polímeros, entre otras moléculas orgánicas, no sólo es antiestética, sino que son precursores de hidrocarburos clorados cancerígenos en la etapa de desinfección con cloro (Bolto y Gregory, 2007).

Las sustancias húmicas (Figura 2.1) (nombre genérico para referirse a los productos resultantes de la degradación y transformación de las plantas y biomasa) están constituida por los ácidos fúlvicos (más del 70 %) (Wang et al., 2008) y en menor medida ácidos húmicos (Savchyna et al., 2009; Siyanytsya, 2008; Zhan y Bai, 2003; Bratskaya, 2002) y humina (Zhou, 1993). Estas sustancias son indeseables porque:

- Es un agente antiestético e irritante en el agua natural.
- Forma complejos con metales pesados y compuestos orgánicos hidrofóbicos, lo que altera el nivel de toxicidad y acumulación de tales sustancias.
- Son los responsables directos de la formación de DBPs.

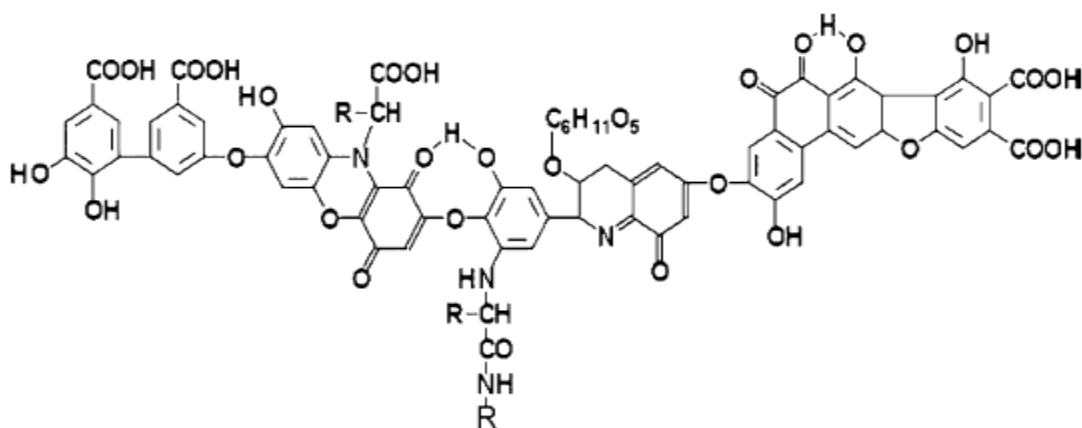


Figura 2.1 Estructura hipotética de ácido húmico en el suelo.

Fuente: Stevenson, 1982.

Difícilmente se podría caracterizar a la NOM, debido a su variedad de compuestos, para ello se han establecido métodos globales de determinación:

a. Carbón Orgánico Total (TOC)

Es la medida directa del contenido de carbono en el agua, pero no es un parámetro consistente de los precursores de los subproductos de la desinfección pues no es un indicador de aromaticidad, grupo funcional o enlace químico asociado con moléculas orgánicas naturales (López, 2009). El carbono orgánico total depende en parte de la naturaleza del agua, temperatura, pH, vegetación, salinidad o actividad de los microorganismos.

b. Carbón Orgánico Disuelto (DOC)

El término se refiere a los compuestos disueltos en el agua que se derivan de la materia orgánica. Las sustancias húmicas representan el 70% aproximadamente de NOM.

Si la proporción de DOC/TOC es relativamente baja (la mayor cantidad de material orgánico está en forma de partículas), y puede esperarse que los procesos físicos como sedimentación y filtración remuevan un fragmento significativo del NOM. Del mismo modo, las proporciones de DOC/TOC relativamente altas indican que la NOM está en forma soluble. Por consiguiente, otro proceso como coagulación, adsorción por GAC (carbón activado granular), y filtración de membrana son requeridos para lograr una remoción adecuada (Obregón, 2005). Generalmente se determina como mg/L de DOC en la muestra.

c. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Representa la cantidad de oxígeno consumida cuando la materia orgánica natural (NOM) en un volumen dado de agua es químicamente oxidada a CO_2 y H_2O por un fuerte oxidante químico.

Esta medida, es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm, o algo superiores (Romero, 1999).

d. Absorción de Luz Ultravioleta (UV_{254})

La luz UV absorbida por la materia es proporcional a la concentración de la misma. Indica las concentraciones de moléculas orgánicas con grupos aromáticos. Este es el principal parámetro a medir para conocer de antemano cuanto sub-productos de la desinfección se formarán en la desinfección con cloro.

e. Absorción de Ultravioleta Específica (SUVA)

Es un indicador del contenido húmico del agua. Es un parámetro calculado igual a la absorción ultravioleta (UV) a una longitud de onda de 254 nm dividida por el carbono orgánico disuelto (DOC) contenido en el agua (mg/L):

$$SUVA \text{ (L/mg-m)} = 100 \text{ (cm/m)} [UV_{254} \text{ (m}^{-1}\text{)}/\text{DOC mg/L}] \quad (2.1)$$

Cuando las sustancias húmicas están en bajas concentraciones, los valores de SUVA son menores a 3 L/mg-m, en cambio, valores mayores, evidencian un alto contenido de material húmico (Edzwald y Tobianson, 1998).

2.4 SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN

Los principales productos que se forman al reaccionar el cloro con la materia orgánica natural son los trihalometanos y ácidos haloacéticos. En la Tabla 2.2 se presentan las máximas concentraciones admisibles de los subproductos de la desinfección (DBPs).

Tabla 2.2 Parámetros para los subproductos de la desinfección.

Parámetros	Valor Máximo Admisible (µg/L)
Desinfectantes	
Monocloroamina	4000
Subproductos de la Desinfección	
Bromato	25
Clorito	200
Clorato	-
Clorofenoles	
2-Clorofenol	-
2,4-Diclorofenol	-
2,4,6-Diclorofenol	200
Formaldehído	900
Trihalometanos	
Bromoformo	100
Dibromoclorometano	100
Bromodiclorometano	60
Cloroformo	200
Ácidos Acéticos Clorados	
Ácido Monocloroacético	-
Ácido Dicloroacético	50
Ácido Tricloroacético	100
Tricloroacetaldehído Cloralhidrato	100
Cloropropanonas	
Haloacetonitrilos	
Dicloroacetoniitrilo	90
Dibromoacetoniitrilo	100
Bromocloroacetoniitrilo	-
Tricloroacetoniitrilo	1
Cloruro de Cianógeno (como CN')	70

Fuente: CAPRE, 2002.

2.5 SISTEMA DE TRATAMIENTO CONVENCIONAL

Es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover totalmente los contaminantes microbiológicos y parcialmente los físicos y químicos presentes en el agua cruda, hasta llevarlos a los valores aceptables estipulados por las normas (Lin, 2007; OPS/CEPIS/PUB, 2004). Los procesos más importantes son:

2.5.1 Coagulación

La coagulación química consiste en adicionar al agua una sustancia que tiene propiedades coagulantes, la cual transfiere sus iones a la sustancia que se desea remover, lo que neutraliza la carga eléctrica de los coloides para favorecer la formación de flóculos de mayor tamaño y peso.

Los factores a controlar para optimizar el proceso coagulación-floculación-sedimentación son: pH, turbiedad, temperatura, condición de mezcla, sistema de aplicación de los coagulantes.

Las etapas del proceso de coagulación son cinco:

La primera y segunda etapa (Figura 2.2) involucra la hidrólisis y polimerización del coagulante (a un pH determinado) a especies hidrolíticas, y su respectiva adsorción en la interfaz de la solución sólida, para lograr la desestabilización del coloide.

En la tercera y cuarta etapa, las partículas desestabilizadas se aglomeran mediante puentes entre las partículas y fuerzas de Van der Waals, ello involucra el transporte e interacción química de las mismas.

En la quinta etapa se forman los flóculos que precipitan.

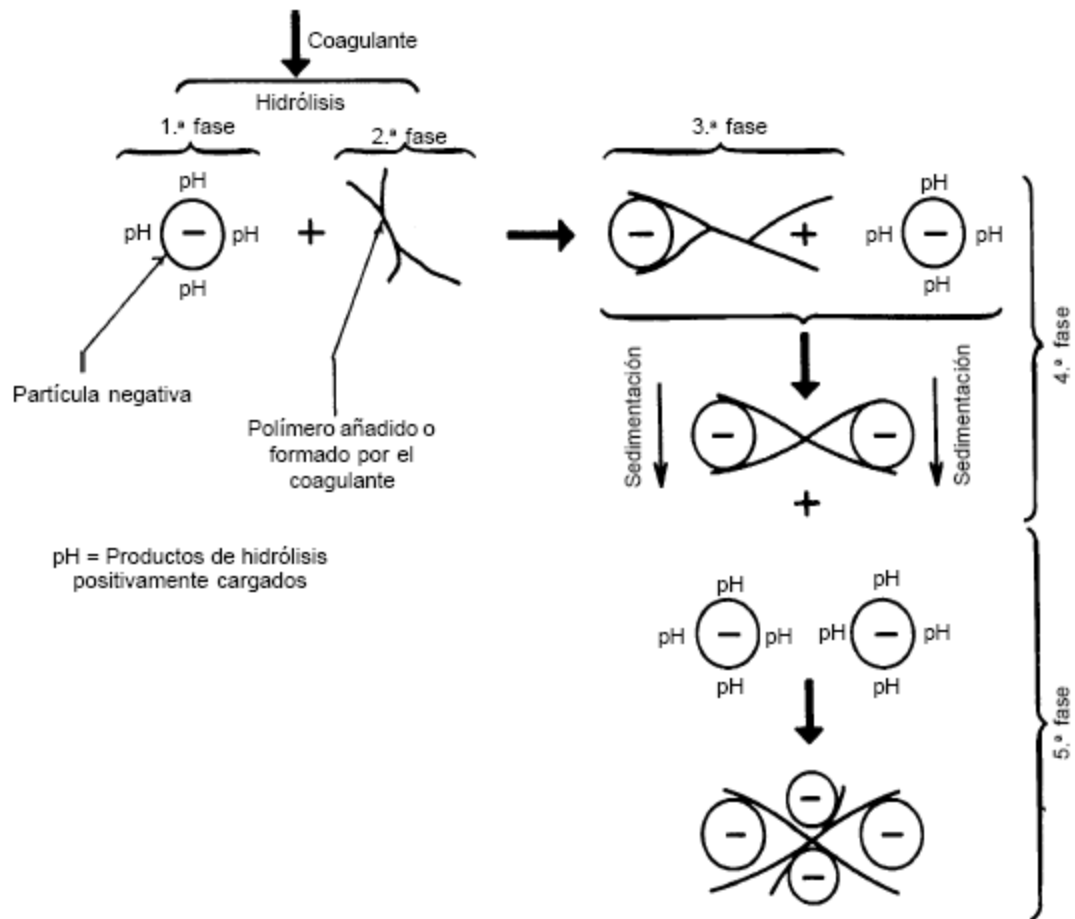


Figura 2.2 Modelo esquemático de las etapas del proceso de coagulación.

Fuente: OPS/CEPIS/PUB, 2004.

El mecanismo de la coagulación involucra el potencial de la compresión de la doble capa (Figura 2.3), neutralización mediante cargas opuestas, puentes entre las partículas y precipitación. La desestabilización de las partículas está influenciada por las fuerzas de Van der Waals y el movimiento Browniano.

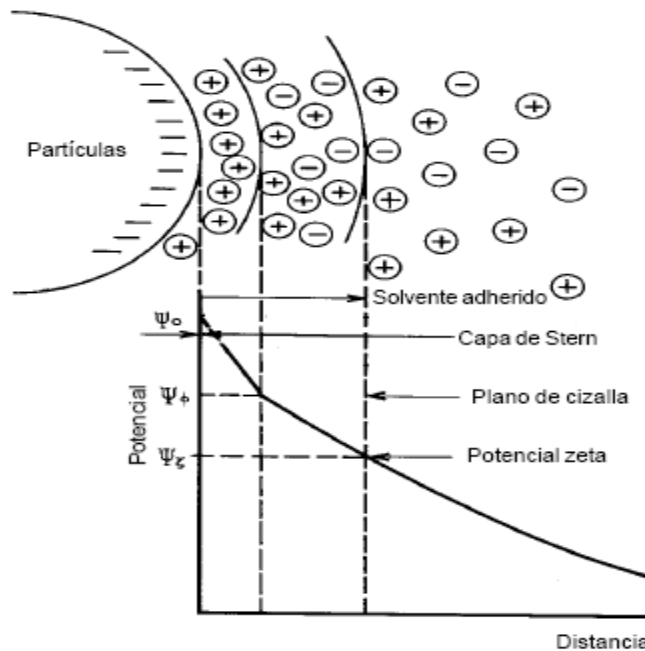


Figura 2.3 Modelo de la doble capa difusa de Stern-Gouy.

Fuente: OPS/CEPIS/PUB, 2004.

2.5.2 Mezcla Rápida

Provee una mezcla completa y dispersión uniforme del coagulante. A un pH bajo, las especies hidrolíticas cargadas positivamente son arrastradas rápidamente por los remolinos (Figura 2.4) con el fin de que interactúen con las partículas en suspensión coloidal. Las colisiones entre los coloides cargados negativamente y las micro especies cargadas positivamente, causan la desestabilización de las primeras partículas.

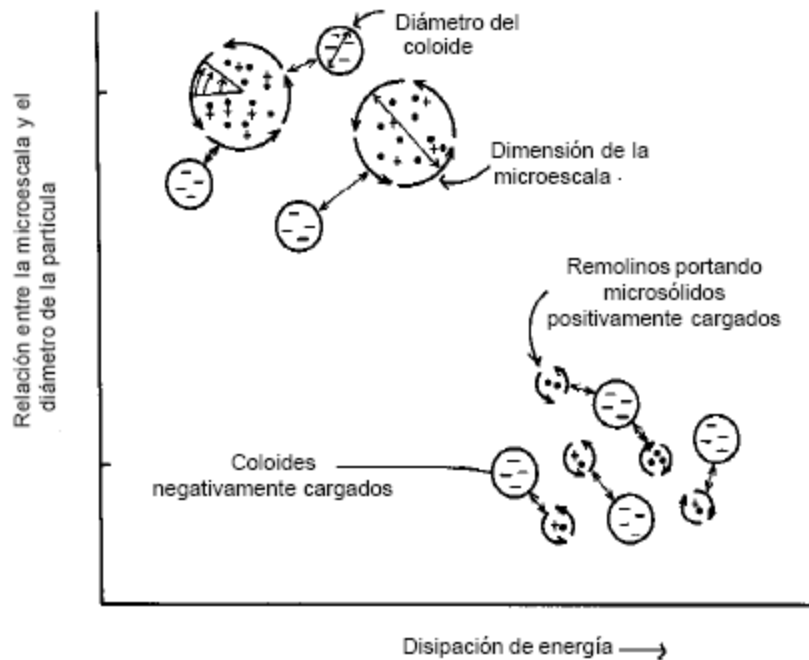


Figura 2.4 Esquema de desestabilización debido a coagulantes arrastrados por remolinos a micro-escala.

Fuente: OPS/CEPIS/PUB, 2004.

La mezcla rápida depende del gradiente de velocidad y del tiempo durante el cual debe aplicarse esta agitación al agua. El primero se refiere a la intensidad con que se agita la disolución, la segunda a la duración de la misma.

Los valores comunes del gradiente están entre los 700 y 5000 s^{-1} , para tiempos que van de unos cuantos segundos a varios minutos. Este proceso también puede verse afectado por el sistema de aplicación del coagulante y del dispositivo de mezcla.

2.5.3 Floculación

Se entiende que la mezcla rápida permite la aglomeración de las partículas sedimentables causantes de la turbiedad.

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre las partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos (Figura 2.5) de transporte:

- Floculación Pericinética o Browniana: se debe a la energía térmica del fluido. Comienza a actuar tan pronto como se añade el coagulante al agua, provocando que las partículas coloidales menores de un micrómetro empiecen a aglutinarse para formar el microfloculo.
- Floculación Ortocinética o Gradiente de Velocidad: se produce en la masa del fluido en movimiento. Permite el desarrollo del microfloculo a partir de un micrómetro de tamaño.
- Sedimentación Diferencial: las partículas grandes, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

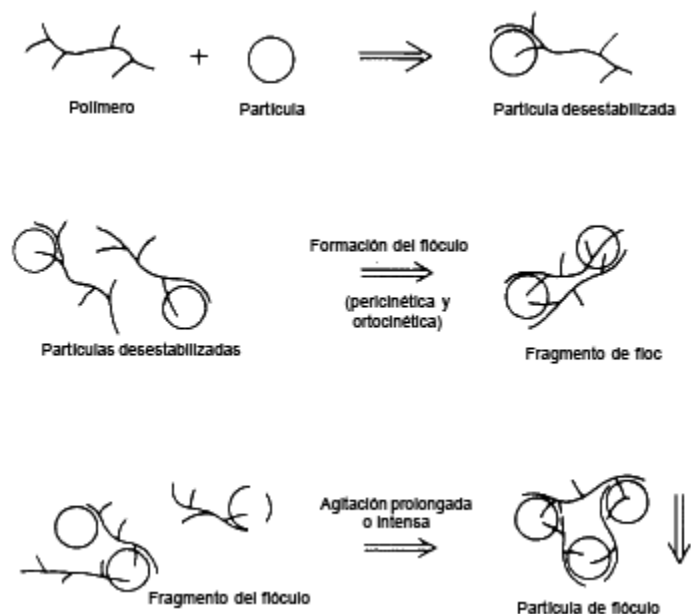


Figura 2.5 Mecanismos de transporte de la floculación.

Fuente: OPS/CEPIS/PUB, 2004.

El gradiente de velocidad de velocidad, que varía de 20 s^{-1} a 75 s^{-1} , y el tiempo de retención, entre 10 a 30 minutos, son los que influyen en la eficiencia del proceso (o

etapas de tratamiento de coagulación-floculación). Otros factores que influyen en la eficiencia de este proceso son:

- La Naturaleza del Agua: al igual que la coagulación, la floculación es extremadamente sensible a la alcalinidad, pH y turbiedad.
- Intensidad de Agitación: cuanto mayor es el gradiente más rápido es la velocidad de aglomeración de las partículas, pero hasta cierto punto, cuando las fuerzas de cizallamiento logran romper el flóculo en partículas menores.
- Tiempo de Floculación: generalmente entre 20 y 40 minutos (Figura 2.6). Un mayor o menor tiempo de floculación produce resultados menores.

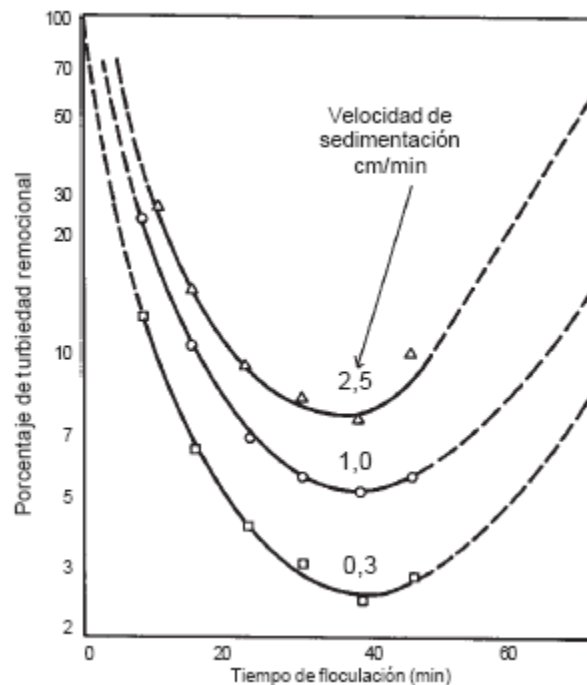


Figura 2.6 Efecto del período de floculación en la sedimentación.

Fuente: OPS/CEPIS/PUB, 2004.

2.5.4 Sedimentación

Es la operación por la cual se remueven las partículas (flóculos) de una suspensión mediante la fuerza de gravedad. El tiempo es el único que ejerce influencia directa sobre él.

En general, a mayor tamaño de la partícula, menor es el tiempo de filtrado y más rápido sedimenta. Las cargas van desde $100 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{-d})$ hasta $500 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{-d})$ (CEPIS/OPS/PUB, 2004).

Los factores a controlar para optimizar el proceso coagulación-floculación-sedimentación son: pH, turbiedad, temperatura, condición de mezcla, sistema de aplicación de los coagulantes y tiempo.

2.5.5 Filtración

En esta etapa se separa todos los sólidos suspendidos del agua, al hacer pasar el fluido por un medio filtrante o poroso. El medio filtrante puede ser arena, antracita, carbón activado o una combinación de las anteriores, siendo la arena con una capa de grava la más utilizada.

Según la velocidad de filtrado, ésta puede ser lenta (cuando oscila entre 0.1 a 0.2 m/h, ocupa grandes extensiones) o rápida (de 4 a 5 m/h) (CEPIS/OPS/PUB, 2004).

2.5.6 Desinfección

Aquí se lleva a cabo la inactivación de los agentes patógenos, por dosis de cloro generalmente. Esta etapa es la parte más sensible de todo el proceso, ya que es aquí donde se forman los DBPs (Tabla 2.2).

El cloro, en forma de HOCl y OCl⁻, es un oxidante fuerte, que reacciona con los compuestos orgánicos e inorgánicos (oxidables) del agua, entre ellos el amonio y aminas, para producir cloraminas:



Cuando la concentración de cloro duplica a la del amonio, desaparecen los iones de éste último y queda el cloro residual (cloro combinado con otra molécula) y el cloro libre en exceso. A esto se le llama punto de quiebre. Esto es un indicador de residuales que afectan el olor y sabor, y, potenciales formadores de los DBPs (Lin, 2007).

2.6 COAGULANTES

De acuerdo a Renault (2009) los coagulantes pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Sales Metálicas: sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso.
- Floculantes Orgánicos: polielectrolitos catiónicos o aniónicos como ayudantes de coagulación (quitosana), polímeros no iónicos, anfóteros y modificadores.

Otra forma de clasificarlos es:

- Coagulantes Sintéticos: a base de monómeros como acrilamida, cloruro de dialilmetilamonio, etc.
- Coagulantes Naturales: estos son a base de polímeros naturales como el almidón, celulosa, etc. (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Comparación de tipos de coagulantes.

Coagulantes Sintéticos	Coagulantes Naturales
Hace más efectivo la adaptabilidad de los polímeros.	Tiene un alto peso molecular, cadena larga y una constitución molecular fija.
El peso molecular, la distribución del peso molecular, el porcentaje de la carga iónica y la estructura en sí del polímero pueden ser variadas.	Tiene un peso molecular fijo con una longitud de cadena y constitución definidas.
No biodegradable y, de vez en cuando, tóxico para el medio ambiente, y fabricado a base de recursos no renovables.	Como un recurso renovable, es biodegradable, no es tóxico y es barato

Fuente: Sharma et al., 2006.

2.6.1 Quitina y Quitosana

La quitina es el segundo polímero más abundante en la naturaleza, después de la celulosa. Descubierto en 1811 por Braconnot (Chen et al., 2003). Es uno de los principales compuestos de la estructura esquelética que conforman un grupo de invertebrados. Encontrándose principalmente en la conchas de los crustáceos (camarones, langostas langostinos) formando parte del exoesqueleto de los insectos y de los arácnidos y en las paredes celulares de muchos hongos levaduras y algas.

El término quitina deriva de la palabra griega chitin χιτών, que significa **túnica** haciendo referencia a su dureza (Chen et al., 2003). El precursor de la quitina (Figura 2.7) es la 2-acetoamida-2-deoxi-β-D-glucosa, la cual es sintetizada de unidades de n-glucosamina.

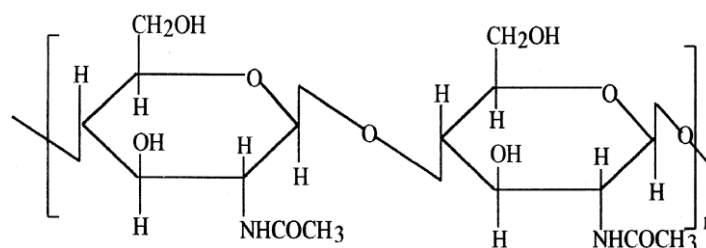


Figura 2.7 Estructura molecular de la quitina.

Fuente: Kumar, 2000.

La quitosana (Figura 2.8) es un polisacárido lineal con enlaces β -(1-4) D-glucosaminos (unidades desacetiladas) y N-acetil-glucosaminos (unidades acetiladas) distribuidos de forma aleatoria. Es preparada vía desacetilación de la quitina en solución básica (Brown, 2009; Arbatskii, 2006). Es un polielectrolito de alto peso molecular {(aproximadamente 106 g/mol; Muzzarelli, 1977) $[C_6H_{11}O_4N]_n$ poly[(1-4)-amino-2-deoxy-D-glucose]}, biodegradable, no tóxico (Tabla 2.4).

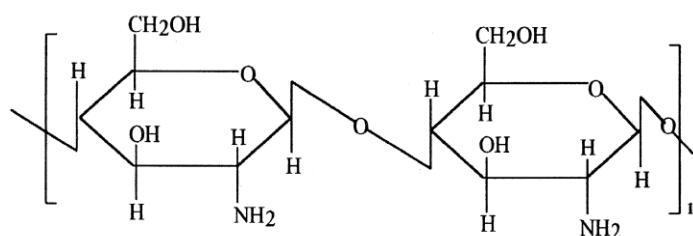


Figura 2.8 Estructura molecular de la quitosana.

Fuente: Kumar, 2000.

Debido a su condición de polímero catiónico natural la quitosana tiende a formar complejos.

Tabla 2.4 Comparación de las principales características y aplicaciones de la quitosana.

Principales Características	Aplicaciones Potenciales
No tóxico	Reducción de la turbiedad en los efluentes de procesos
Biodegradable	Coagulante de sólidos suspendidos, minerales y suspensiones orgánicas
Recurso renovable	Floculante de suspensiones bacteriales
Amistoso con el ambiente	Interacciona con moléculas de carga negativa
Eficiente contra los virus y bacterias	Se pueden recuperar los productos valiosos (como las proteínas)
Forma sales con ácidos orgánicos e inorgánicos	Es un quelante de iones metálicos
Forma puentes de hidrógeno intermoleculares	Reducción de olores
Habilidad para encapsular	Remoción de tintes por adsorción
Floculante para clarificar el agua (agua potable)	Tratamiento de lodos

Fuente: Renault et al., 2009.

2.6.1.1 Reacciones

Dos de las reacciones más importantes son la formación de complejos y la de entrecruzamiento. A continuación se detallan cada una de ellas:

a. Formación de Poli Complejos

Los poli complejos electrolitos son formados por la atracción electrostática de dos polielectrolitos con cargas opuestas como fuerza productora del proceso, se distribuyen uniformemente a través de la suspensión (Figura 2.9).

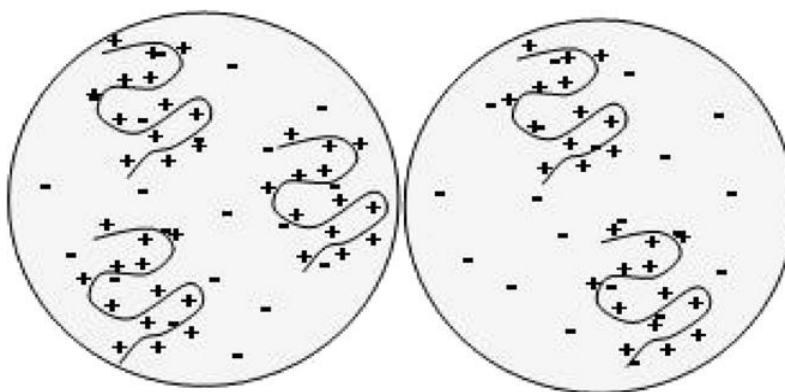


Figura 2.9 Modelo de arreglo electrostático para la floculación de partículas negativas mediante polielectrolitos catiónicos.

Fuente: Bolto y Gregory, 2007.

b. Reacción de Entrecruzamiento

Formación de redes tridimensionales (hidrogeles químicos) formadas por la unión covalente de todas las cadenas de polímeros existentes en un sistema determinado, hasta formar una sola macromolécula que luego precipitará. Seguida una reacción de la otra permite flocular rápidamente a las partículas.

2.6.1.2 Aspectos Cinéticos

Una vez agregado el floculante-polímero al agua, varios procesos se inician a distintas velocidades (Figura 2.10):

- a. Mezclado: es importante que el polímero sea agregado rápidamente para garantizar una distribución uniforme y desestabilización correcta de las partículas. Las condiciones de mezclado rápido condicionan los efectos en el

proceso de floculación y se hace más importante mientras más concentrada sea la suspensión.

- b. Adsorción: el acoplamiento de las cadenas del polímero a las partículas ocurre a una velocidad que depende principalmente de su concentración. Para polímeros de bajo peso molecular la adsorción dependerá en gran medida de la difusión; y para polímeros de alto peso molecular dependerá del corte inducido por las interacciones entre las moléculas.
- c. Rearreglo de las Cadenas Adsorbidas: en el momento en que la cadena del polímero adsorbe una partícula, la aglomeración se da en pocos segmentos de la cadena. Después de un tiempo la cadena rompe su equilibrio con una distribución característica de lazos y fibras.
- d. Floculación: cuando las partículas han adsorbido suficiente polímero, comienza la desestabilización y las colisiones resultan en aglomeración por puentes o atracciones electrostáticas.

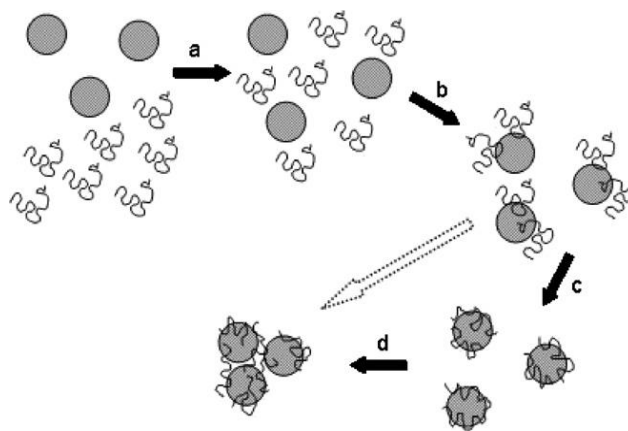


Figura 2.10 Etapas de la floculación de partículas por adsorción con polímeros.

Fuente: Bolto y Gregory, 2007.

2.6.2 Sales de Aluminio

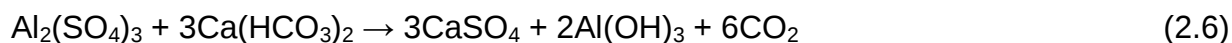
Pueden estar en forma sólida o líquida. Su fórmula teórica es $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Su concentración se define, en general, por su contenido en alúmina, expresada en Al_2O_3 , es decir, 17% aproximadamente.

El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3.8.

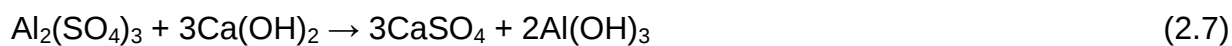
Al ser asociado a riesgos en la salud (mal de Alzheimer), ha sido sustituido por otros coagulantes, como los biopolímeros, en otros países (McLachlan, 1995).

Las principales reacciones del sulfato de aluminio (CEPIS/OPS/PUB, 2004) con la alcalinidad son:

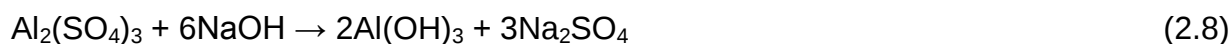
Sulfato de Aluminio (líquido o sólido):



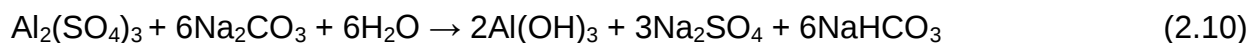
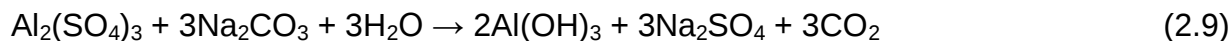
Sulfato de aluminio + Cal:



Sulfato de Aluminio + Soda Cáustica:



Sulfato de Aluminio + Carbonato de Sodio:



2.6.2.1 Mecanismos de Coagulación por Alumbre

Cuando el sulfato de aluminio entra en contacto con el agua interactúa electrostáticamente con la NOM aniónica para formar productos de carga neutra

insolubles (Figura 2.11). La NOM puede ser removida por entrapamiento (coagulación por barrido) o por superficie de adsorción (Escobar, 2010):

- La coagulación por barrido es más efectiva en la remoción de NOM coloidal. Los ácidos húmicos de bajo peso molecular tienen una baja densidad de carga y requieren bajas dosis de coagulantes para inducir su desestabilización. En cambio, los ácidos fúlvicos (más solubles) tienen alta densidad de carga que facilita su disolución y no son fácilmente removidas por la coagulación de barrido.
- La adsorción es un proceso estequiométrico, con una buena relación entre la masa de los coloides y la concentración del coagulante. La adsorción de productos solubles conduce a la formación de una capa total o parcial de hidróxido amorfo precipitado sobre la superficie de la partícula.
- La neutralización de las cargas es el mecanismo para explicar la neutralización de las cargas. La neutralización de carga puede remover los ácidos fúlvicos, pero requiere de altas dosis de coagulantes para neutralizar las altas cargas aniónicas, lo que conllevaría a una reestabilización de los coloides por sobredosis.
- El catión metálico se enlaza a la NOM para formar un complejo, el cual permanece en la solución hasta que la capacidad vinculante de la NOM sea satisfecha o la solubilidad del complejo metal-NOM sea excedida.

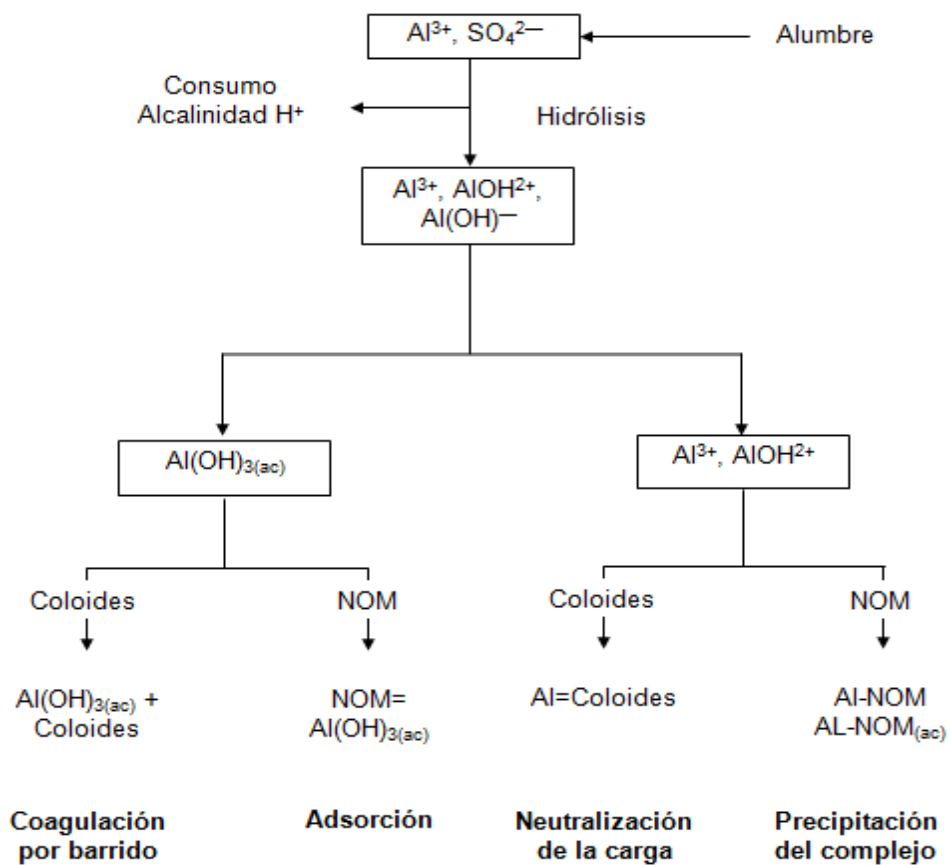


Figura 2.11 Mecanismos de coagulación con sulfato de aluminio.

Fuente: Pernistky, 2003.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación. Se describe el tipo y muestra de estudio así como el sitio de muestreo seleccionado. Además se detallan los parámetros analizados y la forma en que los resultados fueron evaluados.

3.1 TIPO DE ESTUDIO

La presente investigación está definida como descriptiva y transversal, con lo cual se estableció las características, fisicoquímicas y orgánicas presentes en el agua cruda y agua tratada con quitosana o sulfato de aluminio. Asimismo, se determinó la concentración de trihalometanos en el agua potable y se identificó el posible riesgo en la salud de los consumidores.

3.2 UNIVERSO

Se definió como universo el Río Fonseca, fuente de abastecimiento de la planta potabilizadora de Boaco, y Lago Cocibolca o de Nicaragua, fuente abastecedora de la planta de Juigalpa.

3.3 MUESTRA

Se estableció como muestra, y sitio de muestreo, el agua que entra a los canales de mezclado de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) de los municipios de Boaco y Juigalpa, las cuales provienen de sus respectivas fuentes (Figura 3.1). El muestreo se realizó en este punto para obtener mayor uniformidad en la muestra debida a las condiciones de profundidad y flujo de agua.



Figura 3.1 Canales de entrada al sistema de tratamiento, PTAP de Boaco.

3.4 DISEÑO DEL MUESTREO

El número de muestras se definió según las pautas establecidas por Rojas (2002) la cual sugiere una frecuencia de muestreo estándar para fuentes de agua superficial de 12 muestras por año; es decir una mensual. Pero se realizaron dos muestreos en época seca y dos en época lluviosa para cada sitio, es decir cuatro en Boaco y cuatro en Juigalpa, debido a recortes en el presupuesto asignado.

3.5 HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

a. Recopilación de Información

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva que permitió tener una perspectiva completa acerca de las variables y los objetivos considerados en la investigación. Se

tuvo como referente la información actual generada referente al tema, sus antecedentes, definiciones, entre otros. Así como la importancia del problema de estudio y sus aportes a la sociedad.

b. Ficha de Campo

La ficha de campo permitió registrar la información recolectada en el momento de la toma de muestras. (Anexo A1)

c. Ficha de Laboratorio

En la ficha de laboratorio se recopiló los datos obtenidos de los análisis de los distintos parámetros medidos en el presente estudio (Anexo A2).

3.6 SIMULACIÓN DEL PROCESO COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN-SEDIMENTACIÓN Y DESINFECCIÓN

Para llevar a cabo los experimentos del proceso coagulación-floculación-sedimentación a nivel de laboratorio se hizo uso de la prueba de jarras (Figura 3.2), donde se tomaron 2 L de agua cruda por jarra, de las respectivas muestras, y se coagularon con quitosana. Posteriormente se repitió el proceso pero utilizando sulfato de aluminio como coagulante. Las condiciones de operación para la mezcla rápida fueron 100 rpm y 1 minuto para lograr la dispersión del coagulante y asegurar la desestabilización de las partículas negativas de la materia orgánica presente en el agua. En cambio en el proceso de floculación se efectuó a 30 rpm y 30 minutos de mezcla lenta para conseguir la formación de flóculos grandes y pesados, los cuales fueron consecutivamente removidos por gravedad en la sedimentación por 1 hora. A continuación se tomaron alícuotas de la capa sobrenadante para analizar los distintos parámetros que fueron medidos y que se enlistan en el punto 3.7.



Figura 3.2 Equipo de prueba de jarras.

Después de finalizado el proceso de coagulación-floculación-sedimentación y habiéndose realizado los análisis de las variables a estudiar, se seleccionó la jarra que presentó el mayor porcentaje de remoción del material aromático orgánico, el cual fue medido a través de la variable UV_{254} . El agua sobrenadante de esta jarra se filtró con papel Whatman 1 para simular el proceso de filtración rápida con arena y se desinfectó con NaOCl (2 mg/L) por 2 h. Inmediatamente, se determinó la cantidad de trihalometanos formados así como el cloro residual.

3.7 VARIABLES ESTUDIADAS

Las variables estudiadas en esta investigación se detallan en la Tabla 3.1 y en el Anexo B se muestran las guías de cada método utilizado.

Tabla 3.1 Variables y métodos.

Variable		Lugar de Medición	Método	Anexo
Fisicoquímicos y Orgánicos	Color	Laboratorio	"APHA" platino-cobalto estándar	B.1.1
	Turbiedad	<i>In situ</i>	Nefelométrico	B.1.2
	Temperatura	<i>In situ</i>	Medir con Termómetro	B.1.3
	pH	<i>In situ</i>	Electrometría	B.1.4
	Conductividad	<i>In situ</i>	Electrometría	B.1.5
	Sólidos Totales Disueltos (STD)	<i>In situ</i>	Electrometría	B.1.6
	Carbón Orgánico Disuelto (DOC)	Laboratorio	Oxidación con Persulfato HACH 10129	B.1.7
	Absorbancia Ultravioleta (UV ₂₅₄)	Laboratorio	HACH 10054	B.1.8
	Absorción Ultravioleta Específica (SUVA)		Fórmula: UV*100/DOC	-
Subproductos Desinfección	Cloro Total	Laboratorio	DPD HACH 10070	B.1.9
	Cloro Residual	Laboratorio	DPD HACH 8021	B.1.10
	Trihalometanos Totales	Laboratorio	THM plus HACH 10132	B.1.11

Toda la metodología está descrita en el Standard Methods for Water and Wastewater Examination, (20th Edition, 1998) y en el Manual HACH DR 5000. Se siguieron todos los procedimientos para preservar las muestras de acuerdo a cada parámetro a analizar. Los parámetros de la Tabla 3.1 se analizaron en el agua cruda y en el agua tratada con quitosana o con sulfato de aluminio. El cloro total, cloro residual y trihalometanos se midieron solamente en el agua desinfectada.

3.8 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez obtenidos los valores de las variables de estudio, antes y después de la prueba de jarras, se calculó el porcentaje de remoción de las mismas.

Para calcular el porcentaje de remoción de los parámetros analizados en las diferentes etapas de la fase experimental, se utilizó la siguiente expresión:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{inicial}} - C_{\text{final}}}{C_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (3.1)$$

Donde:

C_{inicial} : concentración inicial del analito

C_{final} : concentración final de analito después del tratamiento

El agua de mejor calidad en cada prueba de jarras, se eligió en base a la mayor remoción de UV_{254} y por ende se conoció cual fue la dosis óptima de coagulante.

Los datos cuantitativos obtenidos de los muestreos de agua del Río Fonseca y del Lago Cocibolca, se evaluaron estadísticamente mediante valores mínimos, valores máximos, $\bar{X}$ media aritmética y la desviación estándar (S), con el objetivo de generar un panorama general de la calidad del agua.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (3.3)$$

Donde:

X_i : valores puntuales

$\bar{X}$: valor medio

n : número de datos medidos

4. DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente estudio son presentados y discutidos en este capítulo.

4.1 CARACTERIZACION DEL AGUA CRUDA

En las Tablas 4.1 y 4.2 se muestran los resultados de la caracterización del agua cruda de las fuentes que abastecen las plantas potabilizadoras de Boaco y Juigalpa.

Al comparar ambas tablas puede notarse que los valores de los parámetros medidos difieren de fuente a fuente y para las épocas climatológicas en que fueron medidos esos parámetros. Esto puede deberse a que los tipos de contaminantes de origen urbano, agrícola o geológico que entran a las captaciones son muy diferentes.

Tabla 4.1 Características del agua cruda, Boaco.

Parámetros	Época Seca			Época Lluviosa		
	Muestreo	Muestreo	$\bar{x} \pm S$	Muestreo	Muestreo	$\bar{x} \pm S$
	1	2		1	2	
Temperatura (°C)	25.8	21.9	23.9 ± 2.8	25.3	25.6	25.5 ± 0.2
pH	7.4	7.0	7.2 ± 0.2	7.9	7.1	7.5 ± 0.5
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	276.5	191.0	233.8 ± 60.5	180.2	190.1	185.2 ± 7.0
Turbiedad (NTU)	24.1	22.6	23.4 ± 1.1	745.0	517.0	631.0 ± 161.2
STD (mg/L)	135.0	94.3	114.7 ± 28.8	88.0	93.0	90.5 ± 3.5
Color (mg/L)	85.0	240.0	162.5 ± 109.6	900.0	739.0	819.5 ± 113.8
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.189	0.257	0.223 ± 0.0	0.639	0.549	0.594 ± 0.1
DOC (mg/L)	7.6	8.5	8.1 ± 0.6	17.8	14.3	16.1 ± 2.5
SUVA (L/mg-m)	2.5	3.0	2.7 ± 0.4	3.6	3.9	3.7 ± 0.2

$\bar{x} \pm S$: media $\pm$ desviación estándar

Tabla 4.2 Características del agua cruda, Juigalpa.

Parámetros	Época Seca			Época Lluviosa		
	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$
Temperatura (°C)	25.9	22.3	24.1 ± 2.5	26.0	25.0	25.5 ± 0.7
pH	7.5	7.1	7.3 ± 0.3	8.4	8.1	8.2 ± 0.2
Conductividad (μS/cm)	261.9	201.9	231.9 ± 42.4	196.5	196.1	196.3 ± 0.3
Turbiedad (NTU)	23.3	15.5	19.4 ± 5.5	14.4	22.1	18.3 ± 5.4
STD (mg/L)	106.0	99.8	102.9 ± 4.4	96.0	96.0	96.0 ± 0.0
Color (mg/L)	43.0	44.8	43.9 ± 1.3	44.0	62.0	53.0 ± 12.7
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.084	0.076	0.08 ± 0.0	0.085	0.095	0.09 ± 0.0
DOC (mg/L)	2.3	1.9	2.1 ± 0.3	2.6	2.8	2.7 ± 0.1
SUVA (L/mg-m)	3.7	4.0	3.3 ± 0.1	3.3	3.4	3.3 ± 0.1

$\bar{x} \pm S$: media ± desviación estándar

Los valores de temperatura del agua cruda en ambas fuentes oscilaron en los rangos de 21.9 °C a 25.8 °C para el río Fonseca en Boaco y de 22.3 °C a 26.0 °C para el lago de Nicaragua en Juigalpa, ambos rangos de temperatura son bastantes similares. Los pH variaron significativamente ya que aumentaron para la época lluviosa; puede notarse en las tablas que los valores de pH medidos caracterizan a estas fuentes como ligeramente básicas, y que todos los valores se encuentran en el rango para aguas frescas (6.5 a 9.0) reportado por Chamberlain (2010). La conductividad presenta valores en el rango de 180.2 μS/cm a 276.5 μS/cm para el río Fonseca, valores que se encuentran dentro del rango de 125 a 2200 μS/cm para ríos de tierras bajas (Chamberlain, 2010). En el lago de Nicaragua la conductividad osciló entre 196.1 μS/cm y 261.9 μS/cm; estos valores exceden el rango de 20.0-30.0 μS/cm) recomendado por Chamberlain (2010) para lagos. Los rangos de la concentración de los sólidos totales disueltos (STD) fueron (88.0-135 mg/L) para el agua del río y (96.0-106.0 mg/L) para el agua del lago, encontrándose ambos rangos por debajo de 10000 mg/L como valor normado para STD (Chamberlain, 2010).

La turbiedad presentó un comportamiento que difirió grandemente en las dos fuentes, ya que para la época lluviosa la turbiedad del río presenta valores de 517 NTU y 745 NTU; la turbiedad fue mucho menor en la época seca (22.6-24.1 NTU). Chamberlain (2010) reporta que la turbiedad en ríos utilizados como fuente de agua potable debe de estar en el rango de 6.0-50.0 NTU, por lo que en invierno se excede grandemente ese rango. En cambio, para el agua del lago, los valores de turbiedad fueron (15.5 NTU y 23.0 NTU) y (14.4 NTU y 22.1 NTU) para las épocas seca y lluviosa respectivamente. Notándose que para este tipo de agua, la turbiedad disminuyó en tiempos de lluvia. Se recomienda que la turbiedad en el agua de lago debe estar en el rango de 20.0-30.0 NTU (Chamberlain, 2010), por lo que el agua de Juigalpa se encuentra por debajo del rango antes señalado.

La materia orgánica natural (NOM) fue medida indirectamente por parámetros sustitutos tales como color, UV_{254} , DOC, y SUVA. Estos parámetros caracterizan la compleja mezcla de materia orgánica presente en el agua. El tipo de suelo y la vegetación circundante al área de la cuenca así como las variaciones estacionales influencia el tipo de NOM disponible en ríos y lagos.

La aromaticidad de la materia orgánica medida como UV_{254} fue de (0.189-0.639 1/cm) para el agua del río y (0.076-0.095 1/cm) para el agua de lago. El menor contenido aromático se encontró por tanto en el lago. El contenido de carbono orgánico disuelto (DOC) se comportó de la misma forma que el contenido aromático.

DOC ha sido reportado en el rango de 2.0 a 15.0 mg/L para climas tropicales (Hepplewhite et al., 2004). Los valores tan altos de DOC en el río (7.6-17.8 mg/L) indican que el tipo de materia orgánica es del tipo húmica y por tanto es más reactiva con el cloro y se formará más trihalometanos que en el agua proveniente del lago (1.9-2.8 mg/L).

SUVA muestra valores de 2.5 a 3.9 L/mg-m, lo cual denota una mezcla de materia húmica acuática así como una combinación de compuestos hidrofóbicos e hidrofílicos

de diferentes pesos moleculares ya que se encuentran dentro del rango de 2-4 L/mg-m (Edzwald y Tobianson, 1991). También, esos valores tan altos indican que el contenido de DOC es mayormente aromático.

El color sirve como indicador del grado de conjugación entre las moléculas complejas de NOM que tiene múltiples enlaces con grupos aromáticos altamente sustituidos. El color se relaciona con el peso molecular de la NOM. (Newcombe et al., 1997). El color medido en estas fuentes fue muy alto para la época lluviosa en el río Fonseca lo cual indica un elevado contenido de materia orgánica de alto peso molecular. Los valores tan altos de color en esta época se explican porque existe una estrecha relación entre la intensidad de la lluvia y el contenido de materia orgánica indicando que cuando se tomaron las muestras había llovido recientemente y que la escorrentía había introducido en el río materia orgánica como taninos proveniente de capa superior de los suelos. Los valores de color fueron muchos menores en el agua del lago.

La diferencia encontrada entre los valores de los parámetros medidos en estas fuentes es debido a que en los lagos o reservorios el contenido de materia orgánica es dispersado por el mezclado de las aguas, mientras concentraciones más altas son encontradas en los ríos como resultados de eventos lluviosos. Otra posible explicación es que la producción interna de NOM en el lago de Nicaragua es menor en el punto de captación debido a que la concentración de nutrientes es muy baja ya que no hay contaminación de origen doméstico o industrial.

4.2 PROCESO DE COAGULACION CON QUITOSANA

Los resultados del comportamiento de los parámetros después de aplicado el proceso de coagulación usando quitosana como coagulante son mostrados en las Tablas 4.3 y 4.4.

Los valores de temperatura que aparece reportados en las tablas corresponden a las temperaturas que tenían las muestras al hacer los distintos análisis, lo cual está

influenciado por la temperatura del laboratorio. También se puede notar que el pH disminuye durante el proceso de coagulación ya que al adicionar quitosana para formar flóculos se consume una parte de la alcalinidad disponible en el agua reduciendo el pH del agua. Los valores de pH de las aguas después del proceso de coagulación se encuentran dentro del rango de 6.5-8.5 recomendado por CAPRE (2002) para agua de consumo humano.

La conductividad y sólidos totales disueltos incrementan en el proceso de coagulación en ambas fuentes debido al aumento de compuestos ionizados después de la adición de quitosana. Aun así, los valores de conductividad están por debajo de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como valor recomendado por CAPRE (2002). También, el contenido de sólidos totales disueltos no excede el criterio estipulado de 1000 mg/L como valor máximo admisible por CAPRE (2002).

Tabla 4.3 Características del agua coagulada con quitosana, Boaco.

Parámetros	Época Seca			Época Lluviosa		
	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	26.1	25.0	25.6 ± 0.8	25.5	25.6	25.6 ± 0.1
pH	6.9	6.4	6.7 ± 0.4	7.7	6.7	7.2 ± 0.7
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	279.5	223.8	251.7 ± 39.4	210.9	190.3	200.6 ± 14.6
Turbiedad (NTU)	2.8	2.1	2.5 ± 0.5	31.4	21.7	26.6 ± 6.9
STD (mg/L)	137.0	110.4	123.7 ± 18.9	103.0	93.0	98.0 ± 7.1
Color (mg/L)	38.0	19.3	28.7 ± 13.2	42.0	26.0	34.0 ± 11.3
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.145	0.034	0.090 ± 0.1	0.127	0.112	0.120 ± 0.0
DOC (mg/L)	5.4	1.5	3.5 ± 2.8	4.8	4.6	4.7 ± 0.1
SUVA (L/mg-m)	2.7	2.3	2.5 ± 0.3	2.6	2.4	2.5 ± 0.1

$\bar{x} \pm S$: media $\pm$ desviación estándar

La turbiedad fue reducida significativamente con quitosana. Los rangos para los valores de turbiedad para el agua del río Fonseca en Boaco fueron (2.1-2.8 NTU) para la época seca y (21.7-31.4 NTU) para la época lluviosa respectivamente. En cambio, la

turbiedad en el agua del lago de Nicaragua (Juigalpa) varió de (3.0-3.7 NTU) en verano y (8.8-10.8 NTU) en invierno. Los valores de turbiedad de ambas fuentes de aguas tratadas están por debajo de 5 NTU como valor máximo admisible (CAPRE, 2002) en la temporada seca, pero en tiempos de lluvia exceden ese valor guía. No obstante, el valor de turbiedad recomendado por CAPRE (2002) de 1 NTU nunca fue alcanzado.

Los rangos de color fueron (19.3-38.0 mg/L Pt-Co) y (26.0-42.0 mg/L Pt-Co) para las temporadas seca y lluviosa de Boaco respectivamente. En verano, el rango de color fue de (2.0-16.4 mg/L Pt-Co) y en invierno de (4.0-12.0 mg/L Pt-Co) para el agua de Juigalpa. El color en el agua tratada de Boaco no cumple con el valor recomendado (1 mg/L Pt-Co) y admisible (15.0 mg/L Pt-Co) por CAPRE (2002) para este parámetro. Así mismo, el agua de Juigalpa tampoco muestra valores de color por debajo de 1.0 mg/L Pt-Co, y solo en invierno presenta valores por debajo de 15.0 mg/L Pt-Co. Entre mayor sea la presencia de compuestos que originen color en el proceso de desinfección, más alta es la probabilidad de formar trihalometanos.

Tabla 4.4 Características del agua coagulada con quitosana, Juigalpa.

Parámetros	Época Seca			Época Lluviosa		
	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$
Temperatura (°C)	26.0	25.0	25.5 ± 0.7	25.7	24.7	25.2 ± 0.7
pH	6.7	5.8	6.3 ± 0.6	8.1	7.8	8.0 ± 0.2
Conductividad (μS/cm)	215.7	222.7	219.2 ± 4.9	198.2	196.3	197.3 ± 1.3
Turbiedad (NTU)	3.0	3.7	3.4 ± 0.5	8.8	10.8	9.8 ± 1.4
STD (mg/L)	106.0	109.0	107.5 ± 2.1	97.0	96.0	96.5 ± 0.7
Color (mg/L)	2.0	16.4	9.2 ± 10.2	4.0	12.0	8.0 ± 5.7
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.046	0.024	0.035 ± 0.0	0.049	0.056	0.0525 ± 0.0
DOC (mg/L)	2.8	1.2	2.0 ± 1.1	3.0	3.3	3.2 ± 0.2
SUVA (L/mg-m)	1.6	2.0	1.8 ± 0.3	1.6	1.8	1.7 ± 0.1

$\bar{x} \pm S$: media ± desviación estándar

n.d: no detectado

Los compuestos aromáticos medidos como UV_{254} oscilan en el rango de (0.034-0.145 1/cm) y (0.112-0.127 1/cm) en el agua de Boaco para la temporada seca y lluviosa respectivamente. Para el agua de Juigalpa, los rangos fueron (0.024-0.046 1/cm) y (0.049-0.056 1/cm) para esas mismas temporadas. Como puede notarse, existe todavía una gran cantidad de material orgánico aromático sobretodo en el agua de Boaco para ambas temporadas. La materia orgánica aun disponible en el agua indica la cantidad de sub-productos clorados como trihalometanos a ser formados en el proceso de desinfección debido a la aromaticidad de esta fracción de NOM. El NOM residual en el agua de Juigalpa después de la coagulación es principalmente material no-húmico y menos reactivo con el cloro.

El contenido de carbono orgánico disuelto (DOC) también fue disminuido en el proceso de coagulación. Los rangos de DOC en el agua de Boaco fueron (1.5-5.4 mg/L) y (4.6-4.8 mg/L) para el verano y el invierno respectivamente. El DOC en Juigalpa para la época seca fue (1.2-2.8 mg/L) y (3.0-3.3 mg/L) para la época lluviosa respectivamente. Puede observarse que al igual que la turbiedad, color, y UV_{254} ; los valores de DOC son muchos mayores en el agua de Boaco en comparación con los DOC en el agua de Juigalpa. Kitis et al. (2001) recomienda que la concentración de DOC antes del proceso de desinfección sea menor a 1 mg/L para disminuir la formación de trihalometanos u otros sub-productos clorados.

Los valores de la absorbancia específica ultravioleta (SUVA) se encuentran ligeramente por encima de 2 L/mg-m en las aguas de Boaco independientemente de la estación climatológica. Esto indica que todavía el material orgánico remanentes en esta agua es una mezcla de compuestos hidrofóbicos e hidrofílicos de diversos pesos moleculares y por tanto bastante reactiva con el cloro. En cambio, los valores de SUVA en las aguas de Juigalpa están por debajo de 2 L/mg-m señalando que estas aguas son menos reactivas con el cloro debido a que el material orgánico es del tipo no-húmico y de bajo peso molecular.

4.3 PROCESO DE COAGULACION CON SULFATO DE ALUMINIO

Si se comparan las Tablas 4.3 y 4.4 con las 4.5 y 4.6 se podrá observar que la disminución de pH fue mucho mayor con sulfato de aluminio como coagulante que con quitosana. Los valores de pH están alrededor de 5.0-6.1 para ambas fuentes en la época seca, por lo que esta aguas necesitan de que se les ajuste el pH ya que están por debajo del rango de pH de 6.5-8.5 para agua de consumo humano (CAPRE, 2002). Los pH de ambas fuentes varían de 6.8 a 7.3 para la época lluviosa, cumpliendo con el rango de pH recomendado. La conductividad y los sólidos totales disueltos incrementan más con éste coagulante sintético, pero no sobrepasan el valor normado de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad y 1000 mg/L de STD (CAPRE, 2002).

Tabla 4.5 Características del agua coagulada con sulfato de aluminio, Boaco.

Parámetros	Época Seca			Época Lluviosa		
	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	26.0	25.0	25.5 ± 0.7	25.7	25.6	25.7 ± 0.1
pH	6.1	5.2	5.7 ± 0.6	7.1	6.9	7.0 ± 0.1
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	295.0	270.7	282.9 ± 17.2	239.6	191.2	215.4 ± 34.2
Turbiedad (NTU)	0.8	2.6	1.7 ± 1.3	2.7	2.3	2.5 ± 0.3
STD (mg/L)	145.0	94.3	119.7 ± 35.9	117.0	94.0	105.5 ± 16.3
Color (mg/L)	11.0	16.6	13.8 ± 4.0	6.0	12.4	16.0 ± 14.1
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.069	0.044	0.06 ± 0.0	0.025	0.020	0.023 ± 0.0
DOC (mg/L)	2.1	1.9	2.0 ± 0.0	1.1	2.7	1.9 ± 1.1
SUVA (L/mg-m)	3.3	2.3	2.8 ± 0.7	2.3	0.7	1.5 ± 1.1

$\bar{x} \pm S$: media $\pm$ desviación estándar

La turbiedad también decreció más con sulfato de aluminio determinándose que los valores están por debajo de 5 NTU como valor máximo admisible indistintamente de la fuente y la estación climatológica.

En Boaco, el color en esas aguas se encuentra por encima del valor recomendado (1 mg/L Pt-Co) y excede en verano el valor máximo admisible (15 mg/L Pt-Co) normados por CAPRE (2002). El color en el agua coagulada de Juigalpa no sobrepasa el valor máximo admisible de 15 mg/L Pt-Co para la época seca; en la época lluviosa, la concentración de color está por debajo de 1 mg/L Pt-Co como valor recomendado (CAPRE, 2002). El color en estas aguas fue removido en mayor cantidad con sulfato de aluminio.

Tabla 4.6 Características del agua coagulada con sulfato de aluminio, Juigalpa.

Parámetros	Época Seca			Época Lluviosa		
	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$	Muestreo 1	Muestreo 2	$\bar{x} \pm S$
Temperatura (°C)	26.0	25.0	25.5 ± 0.7	26.0	24.5	25.3 ± 1.1
pH	5.2	5.0	5.1 ± 0.1	7.3	6.8	7.1 ± 0.4
Conductividad (μS/cm)	283.0	266.8	274.9 ± 11.5	217.6	256.8	237.2 ± 27.7
Turbiedad (NTU)	2.1	4.2	3.2 ± 1.5	1.7	1.0	1.4 ± 0.5
STD (mg/L)	139.0	131.0	135.0 ± 5.7	107.0	126.0	116.5 ± 13.4
Color (mg/L)	6.5	13.8	10.2 ± 5.2	n.d	n.d	-
UV ₂₅₄ (1/cm)	0.023	0.022	0.0225 ± 0.0	0.022	0.023	0.0225 ± 0.0
DOC (mg/L)	1.2	1.0	1.1 ± 0.1	0.8	0.9	0.85 ± 0.1
SUVA (L/mg-m)	1.9	2.2	2.1 ± 0.2	2.8	2.6	2.7 ± 0.1

$\bar{x} \pm S$: media ± desviación estándar

n.d: no detectado

Los valores de UV₂₅₄ para la época seca en las aguas de Boaco están entre 0.044-0.069 1/cm y 0.020-0.025 1/cm para la época lluviosa. En las aguas coaguladas de Juigalpa, el contenido aromático no varió con las estaciones climatológicas ya que los valores de UV₂₅₄ fueron prácticamente los mismos 0.022-0.023 1/cm.

El DOC al igual que UV₂₅₄ fue disminuido más con sulfato de aluminio, determinándose concentraciones en las aguas de Boaco de (1.9-2.1 mg/L) para el verano y de (1.1-2.7 mg/L) para el invierno. El valor de DOC en las aguas de Juigalpa para la época de

lluvia se encuentra por debajo de 1 mg/L como criterio recomendado por Kitis et al. (2001) para aguas a ser cloradas. En época seca, este criterio es excedido ligeramente.

Los valores de SUVA incrementan en ambas fuentes independientemente del periodo de muestreo. Con la excepción del agua coagulada de Boaco en la época lluviosa, donde los valores de SUVA fueron menores a los encontrados en las aguas coaguladas con quitosana. De acuerdo a los valores de SUVA determinados, el contenido de material orgánico remanente es una mezcla de compuestos hidrofóbicos e hidrofílicos y por tanto aun reactivos con el cloro.

4.4 COMPARACION DE LA REMOCION DE MATERIA ORGANICA POR AMBOS COAGULANTES

Una comparación entre la eficiencia en la remoción del material orgánico medido como color, UV_{254} , DOC y SUVA es presentado en las Tablas 4.7 y 4.8. Como puede observarse en estas tablas los porcentajes de remoción de la materia orgánica fueron generalmente mayores con sulfato de aluminio.

Las remociones de color en las aguas de Boaco y Juigalpa fueron del 55.3-96.5% y del 63.4-95.3% respectivamente, usando quitosana como coagulante. Estos son ligeramente mayores al rango de 50-80% encontrados por Hakonsen et al. (2008) al emplear quitosana. El color fue disminuido con sulfato de aluminio en Boaco (87.1-99.3%) y Juigalpa (69.2-99.9%). Como puede notarse, estos últimos porcentajes de remoción fueron muchos mayores al emplear sulfato de aluminio. Bratby (2006) indica que el porcentaje de remoción del color es mayor al 90% con sulfato de aluminio.

A pesar de que la quitosana tiene como propiedad actuar como coagulante y floculante, las mayores reducciones de compuestos aromáticos (UV_{254}) se alcanzaron con sulfato de aluminio. Edzwald (1993) reporta remociones del 80-90% con este coagulante; en las aguas de Boaco y Juigalpa, los rangos de remoción fueron del (63.5-96.4%) y (72.6-

75.8%) respectivamente. Las remociones fueron menores con quitosana, obteniéndose porcentajes de (23.3-86.8%) en Boaco y del (41.4-68.4%) en Juigalpa. Rizzo et al. (2008) encontró remociones del orden del 30-60% de UV₂₅₄ con quitosana.

Tabla 4.7 Porcentajes de variación de materia orgánica, Boaco.

Parámetro	% de Variación, Época Seca				% de Variación, Época Lluviosa			
	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 1		Muestreo 2	
	Q	SA	Q	SA	Q	SA	Q	SA
Color (mg/L)	55.3	87.1	92.0	93.1	95.3	99.3	96.5	98.3
UV ₂₅₄ (1/cm)	23.3	63.5	86.8	82.9	80.1	96.1	79.6	96.4
DOC (mg/L)	28.9	72.4	82.4	77.6	73.0	93.8	67.8	81.1
SUVA (L/mg-m)	-8.0	-32.0	23.3	23.3	27.8	36.1	38.5	82.1

Q: quitosana

SA: sulfato de aluminio

Tabla 4.8 Porcentajes de variación de materia orgánica, Juigalpa.

Parámetro	% de Variación, Época Seca				% de Variación, Época Lluviosa			
	Muestreo 1		Muestreo 2		Muestreo 1		Muestreo 2	
	Q	SA	Q	SA	Q	SA	Q	SA
Color (mg/L)	95.3	84.9	63.4	69.2	90.9	99.9	80.6	99.9
UV ₂₅₄ (1/cm)	45.2	72.6	68.4	72.6	42.4	74.1	41.1	75.8
DOC (mg/L)	21.7	47.8	36.8	47.8	15.4	69.2	17.9	67.9
SUVA (L/mg-m)	56.8	48.6	50.0	48.6	51.5	15.2	47.1	23.5

Q: quitosana

SA: sulfato de aluminio

La remoción de carbono orgánico disuelto (DOC) se encuentra en el rango del 28.9-82.4% en las aguas de Boaco cuando se utiliza quitosana; en cambio en las aguas de Juigalpa, los porcentajes de remoción fueron menores (15.4-36.8%). Machenbach (2007) señala que la quitosana es un pobre coagulante para la remoción de materia orgánica de bajo peso molecular como es la que existe en las aguas de Juigalpa. Las remociones de DOC aumentaron significativamente con sulfato de aluminio; los rangos son: (72.4-93.8 %) para las aguas de Boaco y (47.8%-69.2%) para las aguas de

Juigalpa. Sharp et al. (2006) reporta remociones de DOC del 10-90% con sulfato de aluminio.

Los porcentajes de disminución del material hidrofóbico e hidrofílico medido o determinado como SUVA fueron mayores con quitosana para las aguas de Juigalpa en comparación con las aguas de Boaco. Lo contrario ocurrió cuando se utilizó sulfato de aluminio, ya que las mayores remociones se hallaron en las aguas de Boaco.

Las dosis utilizadas de coagulante para alcanzar las remociones de la de los diversos parámetros que caracterizan a la materia orgánica natural (NOM) se encuentran alrededor del 100-150 mg/L con sulfato de aluminio y del 10-20 mg/L con quitosana. Las dosis de quitosana empleadas para desestabilizar a la materia orgánica son menores que las del sulfato de aluminio debido a la alta densidad de carga de los grupos aminos presentes en la quitosana. Estos grupos aminos con cargas positivas incrementan la interacción electrostática con la materia orgánica de carga negativa, reduciendo la doble capa y permitiendo enlazar a la NOM más rápidamente. Los mecanismos de remoción de NOM con sulfato de aluminio dependen del tipo de fracción húmica presente en el agua. Generalmente ocurre por la adsorción de NOM en los flóculos de hidróxidos de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ y por la formación de complejos insolubles (NOM-precipitado de Al) debido a la neutralización de la carga. Las Figuras 4.1 y 4.2 muestran cómo va disminuyendo la materia orgánica medida en este caso como color al ir aumentando la dosis de coagulante usando sulfato de aluminio y quitosana respectivamente para el primer muestreo de Boaco en época seca.

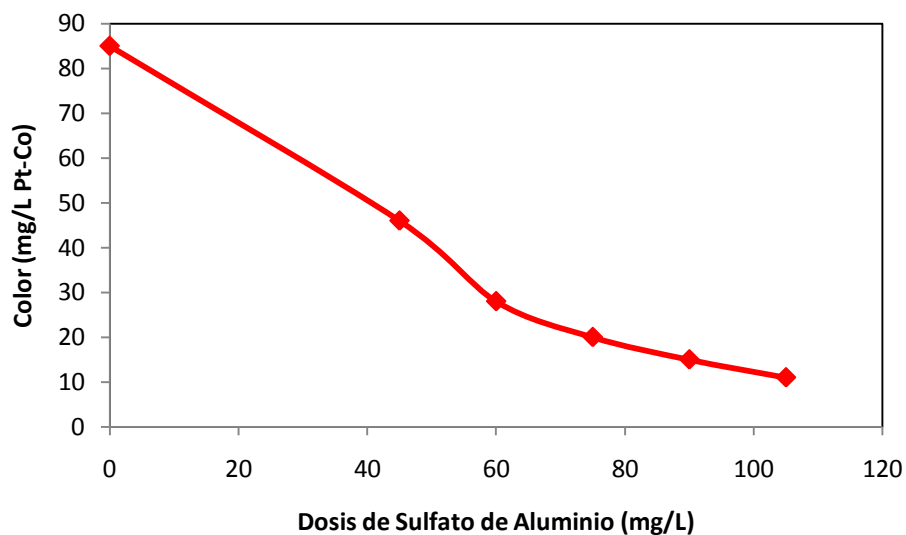


Figura 4.1 Remoción de color con sulfato de aluminio.

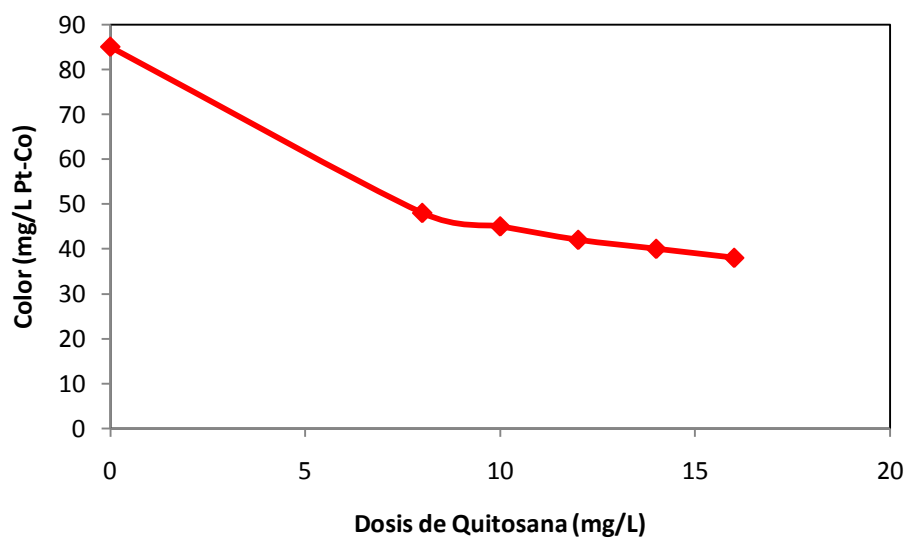


Figura 4.2 Remoción de color con quitosana.

4.5 FORMACION DE TRIHALOMETANOS

Las Figuras 4.3 y 4.4 muestran que la formación de trihalometanos fue mucho mayor en las aguas coaguladas con quitosana debido a que las remociones de materia orgánica fueron menores en comparación con las aguas coaguladas con sulfato de

aluminio donde se obtuvieron remociones más altas lo que causa que la concentración de trihalometanos fuese mucho menor.

Puede observarse en la Figura 4.3 que los trihalometanos formados en las aguas de Boaco coaguladas con quitosana tanto para la época seca (ES) y para la época lluviosa (ELI) sobrepasan el nivel de máximo de contaminantes para los trihalometanos estipulado por USEPA (1998) de 80 µg/L. Esto no ocurre cuando se utiliza sulfato de aluminio como coagulante. No obstante, el criterio máximo admisible para trihalometanos de 460 µg/L usado en Nicaragua (CAPRE, 2002) no fue excedido.

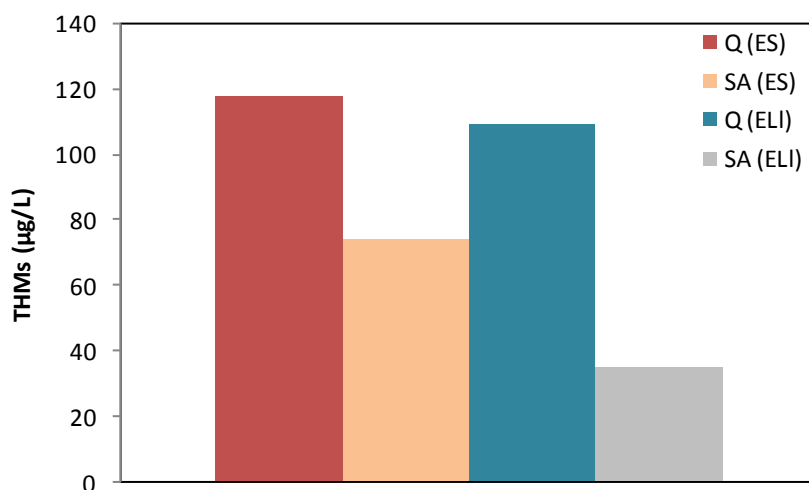


Figura 4.3 Formacion de trihalometanos, Boaco.

La formación de trihalometanos en las aguas coaguladas de Juigalpa estuvo por debajo de los valores normados por USEPA (1998) y CAPRE (2002). Esta baja concentración se debe a que esta agua era menos rica en material orgánica y por ende era menos reactiva con el cloro originando menos THMs. El cloro residual encontrado después de aplicar una dosis de 2 mg/L de cloro fue menor a 0.7 mg/L.

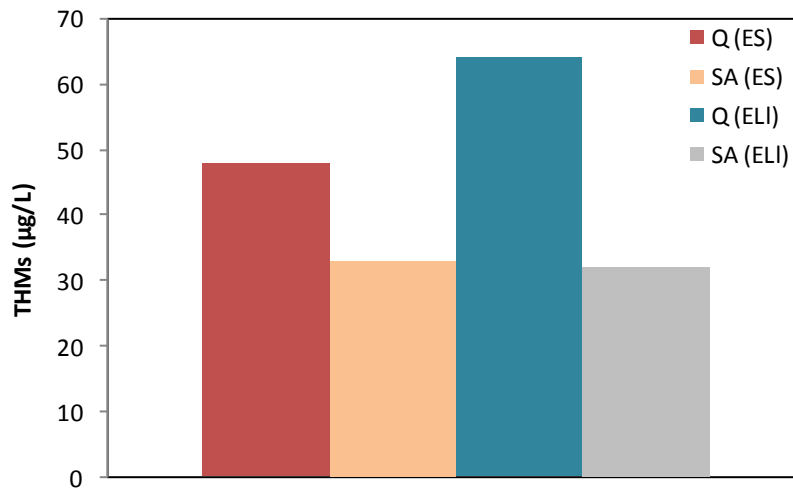


Figura 4.4 Formacion de trihalometanos, Juigalpa.

4.6 INCIDENCIA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

Las estaciones climatológicas inciden en el agua de Boaco donde puede observarse (Tabla 4.1) que el contenido de material orgánico aumentó drásticamente en la época lluviosa lo que puede deberse a que la escorrentía de la lluvia transportó este material dentro del río. En las aguas de Juigalpa no hay una clara tendencia ya que los valores de NOM son casi los mismos, independientemente del clima (Tabla 4.2). No obstante en las aguas coaguladas se encontró que en la época lluviosa las aguas eran más fáciles de coagular y por tanto se obtuvieron mayores porcentajes de remoción en comparación con la época seca. El agua rica en material orgánico es más fácil de tratar debido que está compuesta de material húmico de alto peso molecular y menos soluble en el agua, lo que facilita su remoción.

5. CONCLUSIONES

La quitosana presentó bajas remociones de material orgánico medido como UV_{254} , SUVA, Color y DOC, en particular cuando se trató de material orgánico de bajo peso molecular, no así el sulfato de aluminio. A mayor concentración de material húmico la remoción fue mayor.

Las características del agua cruda del río Fonseca (Boaco) y del Lago de Nicaragua (Juigalpa) difieren sustancialmente. Encontrándose el mayor contenido de materia orgánica en las aguas de Boaco y en menor cantidad en las aguas de Juigalpa. El tipo de materia orgánica presente es una mezcla de compuestos hidrofóbicos e hidrofílicos de diversos pesos moleculares. Ambas fuentes presentan valores de pH que las caracterizan como ligeramente básicas.

Independientemente del tipo de coagulante aplicado, ninguna de las aguas tratadas cumplen con los valores normados para aguas de consumo humano ya que los valores de los parámetros medidos en el presente estudio excedieron muchas veces los valores recomendados y máximos admisibles.

La mayor formación de trihalometanos ocurrió en las aguas tratadas con quitosana debido a que el porcentaje de remoción de material orgánico en el proceso de coagulación fue menor habiendo más compuestos aromáticos disponibles para reaccionar con el cloro. Así mismo, se encontró que debido a que las aguas de Boaco contenían la mayor cantidad de materia orgánica en comparación con las aguas de Juigalpa, la concentración de trihalometanos excedió el valor normado para este compuesto. Esto ocurrió en las aguas de Boaco tratadas con quitosana.

Las estaciones climatológicas aparentemente no tienen influencia en las aguas de Juigalpa ya que los valores de los parámetros medidos en los diversos muestreos casi no variaron. En las aguas de Boaco si se encontró un aumento significativo de la materia orgánica en la época lluviosa lo que puede deberse a que la escorrentía de la lluvia transportó este material dentro del río.

6. RECOMENDACIONES

Debido a que sólo se empleó quitosana de alta pureza para uso en laboratorio, se recomienda seguir haciendo investigaciones usando quitosana, pero con estructura modificada, para analizar su capacidad de coagulación y floculación en esas fuentes. Otra investigación pertinente sería realizar un estudio donde se utilice la quitosana como polímero catiónico y se adicione en conjunto con el sulfato de aluminio y comparar ese resultado con los obtenidos. El empleo de la quitosana, en conjunto con el sulfato de aluminio, posiblemente coadyuvaría en la etapa de coagulación y a hacer más eficiente la remoción de material orgánico.

.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad A.L., Sumathi S., Hameed B.H. (2006). Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC. *Chemical Engineering Journal*. **118**, 99-105.

Álvarez B.E. (2005). Determinación de las isothermas de adsorción de Fe, Cu, Zn en quitosana. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

Arbatskii A.P., Traktina E.P., Smirnova L.A. (2006). A titrimetric study of chemical properties. *Russian Journal of Applied Chemistry*. **79(2)**, 272-274.

Arévalo A.M. (2004). Remoción con quitosana de fuentes de consumo de la comunidad de El Limón. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

Bolto B., Gregory J. (2007). Organics polyelectrolytes in water treatment. *Water Research*. **41**, 2301-2324.

Bratby, J. (2006). Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment, 2nd Edición. IWA Publishing. 87-113.

Bratskaya S., Avramenko V.A., Shukoverkhov S.V., Schwarz S. (2002). Flocculation of humic substances and their derivatives with chitosan. *Colloid Journal*. **64(6)**, 681-685.

Bratskaya S., Schwarz S., Chervonetsky D. (2004) Comparative study of humic acids flocculation with chitosan hydrochloride and chitosan glutamate. *Water Research*. **38**, 2955-2961.

Brown J., Emelko M.B. (2009). Chitosan and metal salt coagulant impacts on *Cryptosporidium* and microsphere removal by filtration. *Water Research*. **43**, 331-338.

CAPRE. Guías de Calidad de Agua. (2002). Comité Regional para la institución del agua potable y saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana. *Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado. Ente Regulador, INAA*. Managua, Nicaragua.

Chamberlain, J. (2010). National guidelines for water quality. Australia section head-Water monitoring. <http://www.dpipwe.tas.gov.au/inter.nsf/WebPages/JMUUY-52B3YX?>

Chen L, Chen D.C., Wu Ch. (2003). A New Approach for the flocculation mechanism of chitosan. *Journal of Polymers and the Environment*. **11(3)**. 87-92.

Chou J.L., Banks C.J. (1993). Mechanisms of humic acid colour removal from natural waters by fungal biomass biosorption. *Chemosphere*. **27(4)**, 607-620.

Divakaran R., Sivasankara P.V.N. (2002) Flocculation of river silt using chitosan. *Water Research*. **36**, 2414-2418.

Edzwald, J., Tobiason, J. (1999). Enhanced coagulation: US requirements and a broader view. *Journal of Water Science and Technology*. **40(9)**, 63-70.

ENACAL, OPS, PNUD. (2006). ABC sobre recurso de agua y su situación en Nicaragua. Segunda Edición. Managua, Nicaragua. Pág. 7.

Escobar B.M. (2010). Protocolo del estudio del efecto de las variables de operación en los procesos de coagulación-floculación-sedimentación en la remoción de materia orgánica. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. Nicaragua.

Escorcia M.D., Hernández D.D. (2009). Propuesta técnica para la obtención de quitina a partir de la caparazón de crustáceos a nivel de planta piloto. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

Flores M.C., Barahona S.X. (2007). Estudio de la remoción de plomo con quitosana. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

Frank R., Spellman J.D. (2004). Manual de Agua Potable. Editorial España. España. Pág. 35.

Hakonsen, T., Ratnaweera, H., Lindholm, O. (2008). The use of chitosan in water treatment-An evaluation of practical application, Natural Organic Matter: From source to tap. Conference Proceedings. Bath, UK. 2-4th September. 123-134.

Hepplewhite, C., Newcombe, G., Knappe, D.R.U. (2004). NOM and MIB, who wins in the competition for activated carbon adsorption sites?. *Journal of Water Science and Technology*. **49(9)**, 257-265.

Kitis, M., Kilduff, J., Karanfil, T. (2001). Isolation of dissolved organic matter (DOM) from surface waters using reverse osmosis and its impact on the reactivity of DOM to formation and speciation of disinfection by-products. *Water Research*. **35(9)**, 2225-2234.

Kumar N.V. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*. **46**, 1-27.

Lin D., Lee C.C. (2007). Water and wastewater calculations manual. Segunda Edición. McGraw Hill. Capítulo 5. Págs. 322-333, 463-469.

López M.X.A. (2009). Remoción de materia orgánica nitrogenada y materia orgánica carbonácea por los procesos de coagulación mejorada y adsorción. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. Nicaragua.

Machenbach I. (2007). Drinking water production by coagulation and membrane filtration. Doctoral thesis. Norwegian University of Science and Technology. 77-78.

Matus I., Paniagua L. (2010). Estudio de la cinética de adsorción de dos iones metálicos en quitosana. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

McLachlan R.C. (1995). Aluminum and the risk for Alzheimer's disease. *Environmetrics*. **6**, 233-275.

Newcombe, G., Drikas, M., Assemi, S., Beckett, R. (1997). The influence of characterized natural organic material on activated carbon adsorption: I characterization of concentrated reservoir water. *Water Research*. **31(5)**, 963-972.

Obregón M.A. (2005). Comparación de tres tipos de filtración en la materia orgánica. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.

OPS/CEPIS/PUB. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría. Tomo I. Capítulo 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Lima, Perú.

Renault B.F., Badot P.M., Crini G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation process: An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*. **45**, 1337-1348.

Rizzo, L., Di Gennaro, A., Gallo, M., Belgiorno, V. (2008). Coagulation/chlorination of surface water: A comparison between chitosan and metal salts. *Separation Purification Technology Journal*. **62**, 79-85.

Romero J.J. (1999). Calidad del agua. Capítulo 2-4. Segunda Edición. Editorial Alfa Omega. Pág. 21-127.

Savchyna L.A., Kozyatnik I.P., Pliakova T.V., Klymenko N.A. (2009). Influence of surface chemistry and structure of activated carbon on adsorption of fulvic acids from water solution. *Water Science and Technology*. **60(2)**. 441-447.

Sharma B.R., Dhuldhoya N.C., Merchant U.C. (2006). Flocculants: An ecofriendly aproach. *Journal of Polimers and the Environments*. **14**, 195-202.

Sharp E.M., Parsons S.A, Jefferson, B. (2006). The impact of seasonal variation in DOC arising from moorland peat catchment on coagulation with iron and aluminium salts, *Environmental Pollution*. **140**, 36-445.

Siyanytsya V., Kochkodan V., Goncharuk V. (2008). Natural organic matter removal from water by complexation-ultrafiltration. *Science Direct*. **223**, 91-96.

Stevenson F.J. (1982). Humus chemistry, genesis, compositions, reactions. New York. John Wiley & Sons. Pág. 443.

Tórrez J.J., Osejo J.A. (2008). Evaluación de dos tipos de coagulación para la remoción de subproductos de la desinfección (DBPs), utilizando quitosana como coadyuvante y adsorbente a escala de laboratorio aplicado en agua sintética. 63-64. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. Nicaragua.

United State Environmental Protection Agency, USEPA. (1998). National primary drinking water regulations: Disinfectants and disinfection by-products; Final Rule. Federal Register. EPA 69389-9476.

Wang S.G., Sun X.F., Liu X.W., Gong W.G., Gao B.Y., Bao N. (2009). Chitosan hydrogel beads for fulvic acids adsorption: Behaviors and mechanisms. *Chemical Engineering Journal*. **142**, 239-247.

Zhan X., Bai R. (2003). Mechanisms and kinetics of humic acid adsorption onto chitosan-coated granules. *Journal of Colloid and Interface Science*. **264**, 30-38.

Sitios webs visitados

<http://es.wikipedia.org/wiki/Quitina> (Visitado el 25 de Febrero del 2010, a las 9:30 pm).

<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2006/05/02/23359.php> (Visitado el 25 de Febrero del 2010, a las 7:50 pm).

<http://www.quimicaviva.gb.fcen.uba.ar/Actualizaciones/Aluminio.html> (Visitado el 25 de Febrero del 2010, a las 7:30 pm).

ANEXO A

Herramientas de Recolección de Datos

A.1 Ficha de Campo

Fecha:	
Hora de Muestreo:	
Lugar:	
Número de Muestreo:	
Parámetros In Situ	Valores Obtenidos
Temperatura (°C)	
pH	
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	
Conductividad (μS/cm)	
Turbiedad (NTU)	

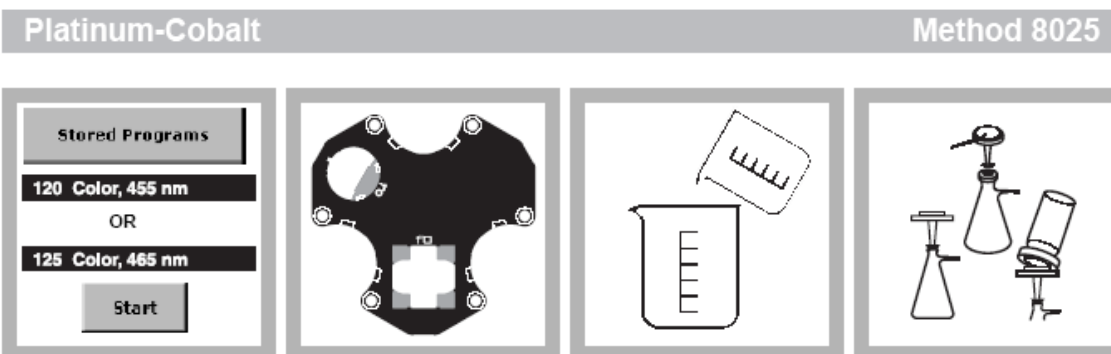
A.2 Ficha de Laboratorio

Tipo de Agua:								
Número de Muestreo:								
Fecha:								
Hora:								
Tipo de Coagulante:								
Observaciones:								
Antes de la Coagulación		Después de la Coagulación						
Parámetros	Valores	Parámetros	1	2	3	4	5	6
Color (mg/L Pt-Co)		Color (mg/L Pt-Co)						
Turbiedad (NTU)		Turbiedad (NTU)						
Temperatura (°C)		Temperatura (°C)						
Conductividad (μS/cm)		Conductividad (μS/cm)						
pH		pH						
STD (mg/L)		STD (mg/L)						
DOC (mg/L)		DOC (mg/L)						
UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)		UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)						
SUVA (L/mg-m)		SUVA (L/mg-m)						
		Dosis de Coagulante (mg/L)						
Cloro Total (mg/L):								
Cloro Residual (mg/L):								
Trihalometanos (μg/L):								

ANEXO B

Métodos para la Determinación de Parámetros

B.1 Color Real



1. Se enciende el espectrofotómetro HACH y se introduce el número del programa para seleccionar el test.
2. Ajuste el adaptador de celdas múltiples a una pulgada.
3. Agregue 200mL de muestra a un beaker de 400mL. Ajuste el pH como se describe en el test de preparación.
4. Ensamble los aparatos de filtrado (filtro de 0.45 micrones, sujetador, matraz filtro y el aspirador)



5. Lave el filtro con 50mL de agua desionizada a través del mismo.
6. Filtre 50mL de agua desionizada.
7. Preparación del Blanco: Agregue 10mL de agua filtrada desionizada en una celda. Descarte el exceso de agua.
8. Filtre 50mL de la muestra.



9. Preparación de la muestra: Agregue 10mL de la muestra filtrada en una segunda celda.

10. Limpié el blanco con papel toalla e inserte en el equipo HACH.

11. Presione ZERO.

12. Limpie la muestra preparada con papel toalla e inserte en el equipo HACH.

B.2 Turbiedad (0 a 999 NTU)

Este parámetro es determinado usando el Turbidímetro 2010P “HACH”. Este dispositivo fue previamente calibrado por la fábrica con formazina para la primera vez que debería ser usado. Se recoge la muestra y se coloca en una celda del 2100P hasta la línea (cerca de 15 mL) teniendo cuidado de manipular la celda por la parte superior tapando la celda. A continuación se procede con los siguientes pasos:

- Limpiar la celda con una tela suave y sin hilachas, para quitar gotas de agua y huellas digitales.
- Aplicar una capa fina de aceite de silicona. Limpiar con una tela suave para obtener una capa más fina en toda la superficie.
- Presionar el botón 1/0. El instrumento se enciende, se coloca el instrumento en una superficie plana y firme.
- Se pone la celda de la muestra en el compartimiento del instrumento de tal manera que las marcas de la celda y el compartimiento coincidan.

-
- Escoger selección de rango manual o automática presionando RANGE, cuando el instrumento está en selección automática de rango la pantalla mostrará: AUTORNG.
 - Se selecciona el modo de señal promedio presionando SIGNAL AVERAGE. La pantalla mostrará SIG AVG, cuando el instrumento esté usando promedio de señal. Usar el modo de señal promedio, si la muestra causa una señal ruidosa (la pantalla cambia constantemente).
 - Presionar READ. La pantalla mostrará la turbidez en NTU. Apuntar la turbidez después de que se apaga la luz.

B.3 Temperatura

Este parámetro se mide en el momento de la toma de las muestras. Usando un termómetro o leyendo el valor en el pH metro "HACH".

B.4 pH

Este parámetro es medido en el momento que la muestra fue tomada usando la combinación del método pH electrodo y un medidor portátil EC 10 USEPA. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón dispensador una vez (hasta que haga click).
- Enjuague bien con agua desmineralizada y seque. Poner el electrodo en el contenedor de la muestra.
- Apuntar el valor del pH cuando la pantalla esté estable.

-
- Enjuagar el electrodo completamente con agua desmineralizada y secarlo bien.

B.5 Conductividad

Este parámetro es determinado usando el Conductivímetro 2010P “HACH”, y es medido en el momento que la muestra fue tomada. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón on/off una vez.
- Enjuague con agua destilada el electrodo y seque bien.
- Introduzca el electrodo dentro del contenedor de muestra, asegurando que esté bien sumergido y presione READ.
- Anote el valor de conductividad cuando la pantalla es estable.
- Enjuague el electrodo completamente y seque.

B.6 Sólidos Totales Disueltos (STD)

Este parámetro es determinado usando el Conductivímetro 2010P “HACH”, y es medido en el momento de la toma de muestra. El procedimiento es el siguiente:

- Presionar el botón on/off una vez.
- Enjuague con agua destilada.
- Introduzca el electrodo dentro del contenedor de muestra, asegurando que esté bien sumergido y presione READ.

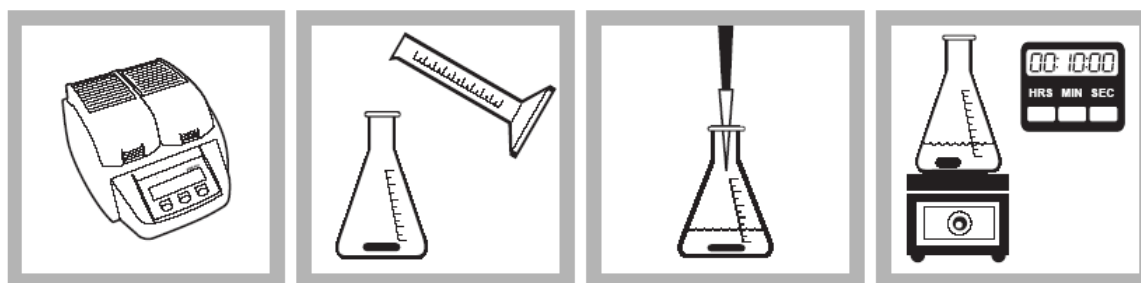
- Anote el valor de STD cuando la pantalla es estable. (La compensación automática de temperatura corrige los cambios de temperatura)
- Enjuague el electrodo y seque.

B.7 Carbono Orgánico Disuelto (DOC)

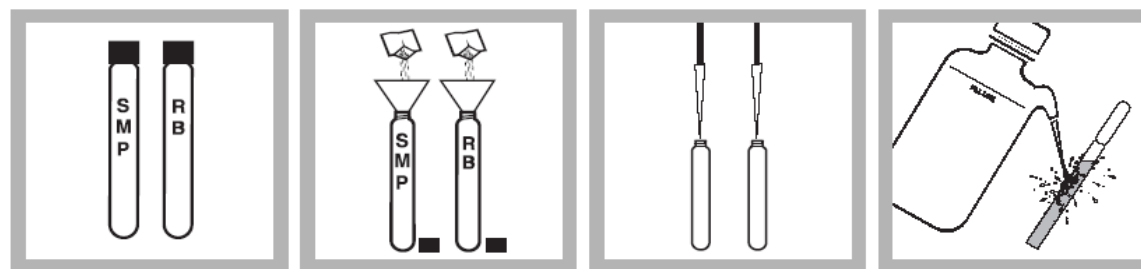
La muestra y el blanco deben de filtrarse previamente con papel filtro de fibra de vidrio de 0.47 μm .

Direct Method

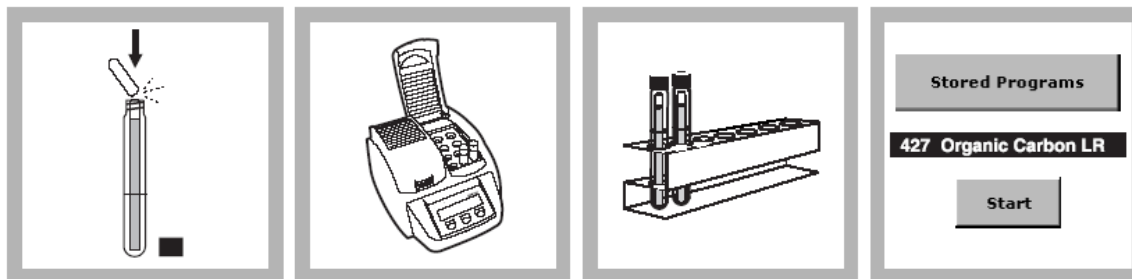
Method 10129



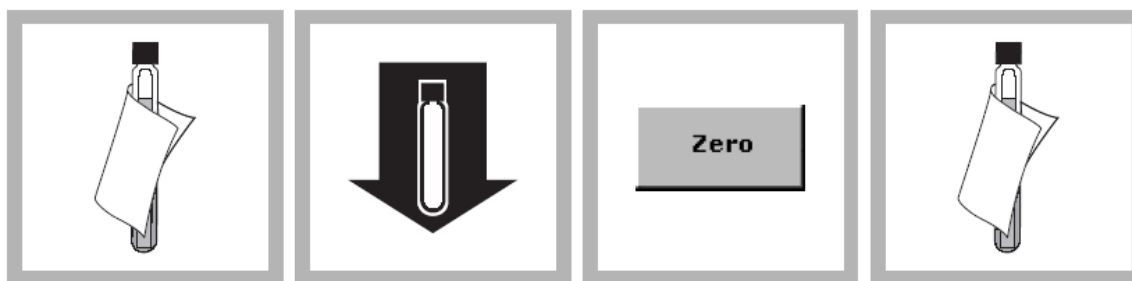
1. Encender el reactor de Carbón Orgánico Disuelto.
2. Agregue 10 mL de muestra, medidos en una probeta, a un Erlenmeyer de 5mL que contenga un agitador magnético.
3. Agregar 0.4 mL de solución búffer, pH=2.
4. Colocar el frasco en una plancha y agitar a una velocidad moderada de 10 minutos.



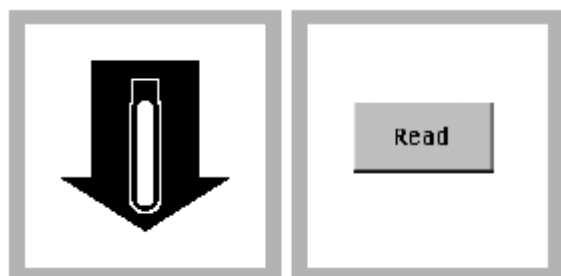
5. Etiquetar dos viales de digestión ácida de bajo rango: muestra y blanco.
6. Usando un embudo, agregar los contenidos de polvo de persulfato a cada vial.
7. Usar una pipeta para agregar los 3mL de agua desionizada al vial del blanco y 3mL de la muestra al vial de la muestra. No girar el vial agitar suavemente para mezclar.
8. Enjuagar las ampollas indicadoras azules con agua desionizada y luego limpiarlos con un papel toalla suave. No toque los lados de la ampolla, tómelos por la parte superior.



9. Introducir una ampolla a cada vial. Arrancar la punta de la ampolla. No invierta el vial.
10. Colocar los viales en el reactor de Carbón Orgánico Disuelto por dos horas a 103-105°C.
11. Cuidadosamente remueva los viales del reactor y colóquelos en una gradilla. Permitir que los viales se enfríen por una hora.
12. En el equipo HACH Seleccionar el test 427.

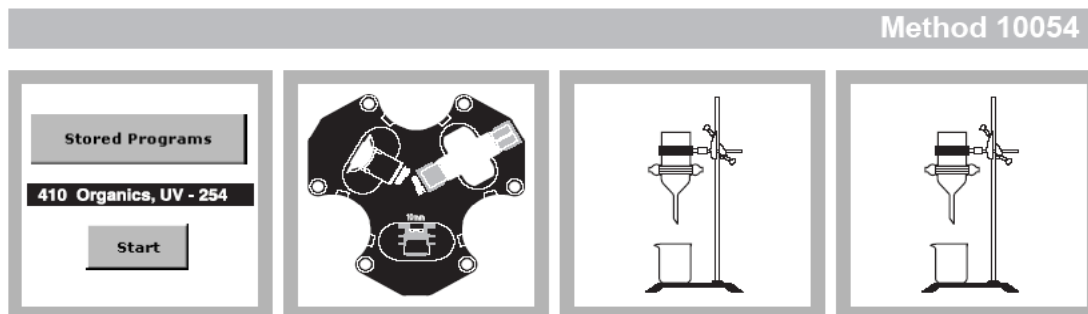


13. Limpiar el blanco con un papel toalla para remover las huellas.
14. Colocar el blanco en la celda de 16 mm.
15. Presionar ZERO.
16. Limpiar el vial que contiene la muestra con papel toalla.

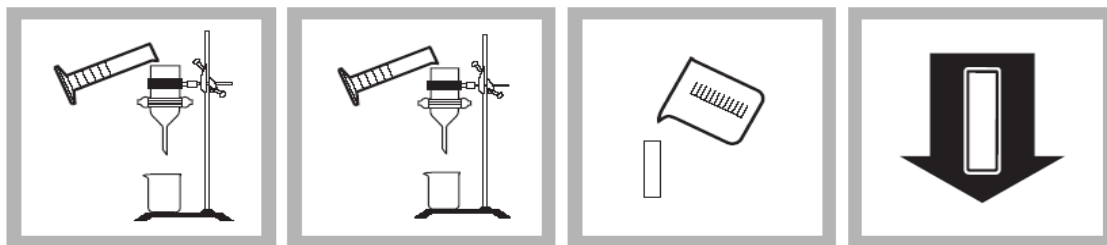


17. Colocar el vial en la celda de 16 mm.
18. Presionar READ.

B.8 Método de Absorción Ultravioleta (UV₂₅₄)



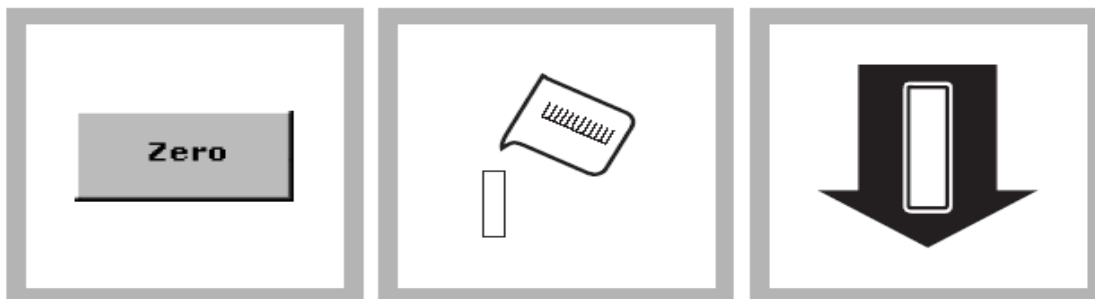
1. Se enciende el espectrofotómetro HACH y se introduce el número del programa para seleccionar el test.
2. Ajuste el adaptador de celdas múltiples a 10 mm.
3. Monte un filtro en el soporte e inserte el filtro.
4. Coloque un beaker limpio por debajo del filtro.



5. Enjuague el equipo de filtración con 50 mL de agua reactiva libre de orgánicos. Descargue el agua filtrada.

Esto asegura la remoción de impurezas contenidas en el filtro.

6. Preparación de la muestra: Poner 50 mL de la muestra dentro del filtro y recolectar el filtrado.
7. Preparación del Blanco: Aclare una celda limpia de quartz de 1-cm, adicionando agua Reactiva.
8. Alinie la ventana del soporte con el paso de la luz. Inserte la celda con el blanco en el soporte respectivo.



9. Presione la Opción ZERO. La pantalla mostrara: 0.000 cm⁻¹. 1-cm cell Lamp Warm Up indica que la lámpara para UV no esta disponible provisionalmente. La inicialización de la lámpara dura de entre 2-3 minutos.

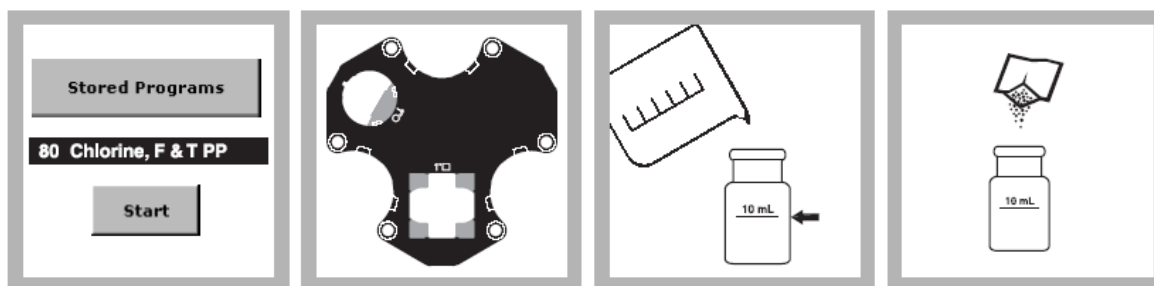
10. Descargue el Blanco contenido en la celda y ambiente la celda con muestra filtrada por varios segundos.

11. Alinie la ventana del soporte con el paso de la luz. Inserte la celda con el blanco en el soporte respectivo.

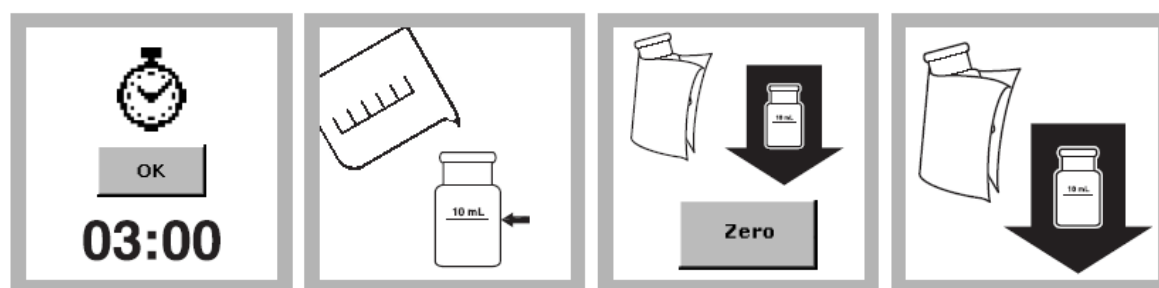
B.9 Cloro Total

Powder Pillows

Method 8167



1. Se enciende el espectrofotómetro HACH y se introduce el número del programa para seleccionar el test.
2. Ajuste el adaptador de celdas múltiples a una pulgada.
3. Llene una celda con 10 mL de muestra.
4. Agregue el contenido del sobrecito DPD Total Chlorine a la celda y agite por 20 segundos.

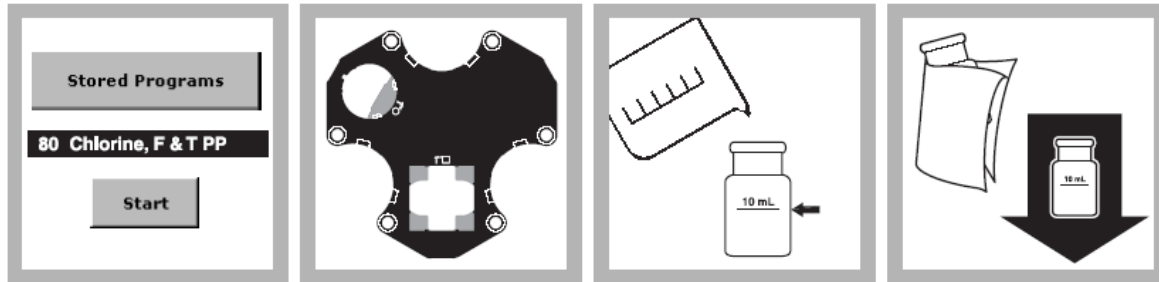


5. Presionar SHIFT TIMER para iniciar una reacción de 3 minutos. Llevar a cabo los pasos 6 y 7 durante este lapso de tiempo.
6. Agregue a una celda 10 mL de muestra.
7. Limpiar la celda con una toallita y presione ZERO.
8. Dentro de los tres minutos después del lapso de tiempo limpie la celda con una toallita y lea el parámetro.

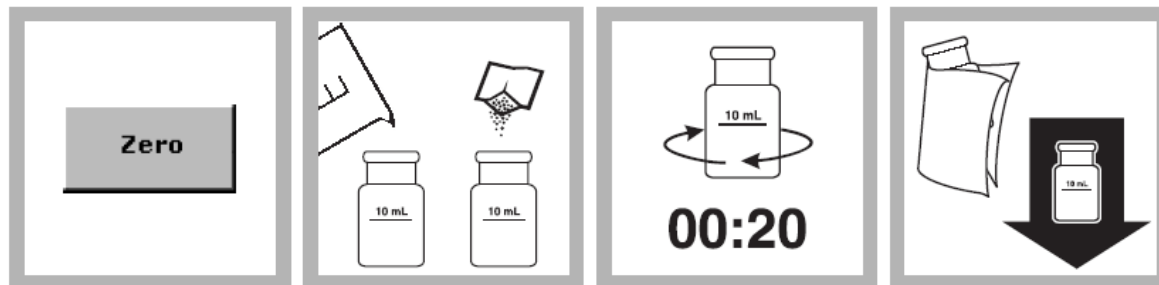
B.10 Cloro Libre

Powder Pillows

Method 8021



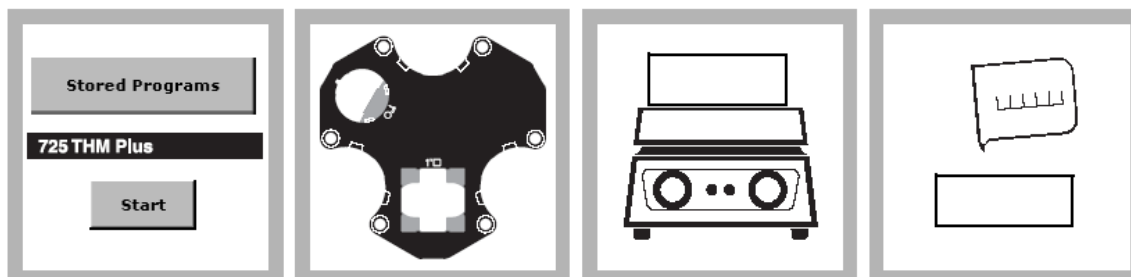
1. Se enciende el espectrofotómetro HACH y se introduce el número del programa para Seleccionar el test.
2. Ajuste el adaptador de celdas múltiples a una pulgada.
3. Agregue a una celda 10 mL de muestra.
4. Limpiar la celda con una toallita e introduzca en el equipo.



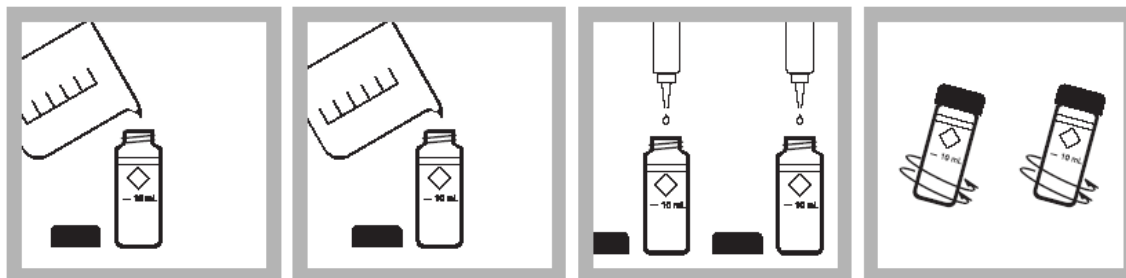
5. Presione ZERO.
6. Llene una segunda celda con 10mL de muestra. Agregue el contenido del sobrecito DPD Free Chlorine a la celda.
7. Agite la celda por 20 segundos.
8. Antes de completar el minuto, limpiar la celda con una toallita y leer el parámetro.

B.11 Trihalometanos

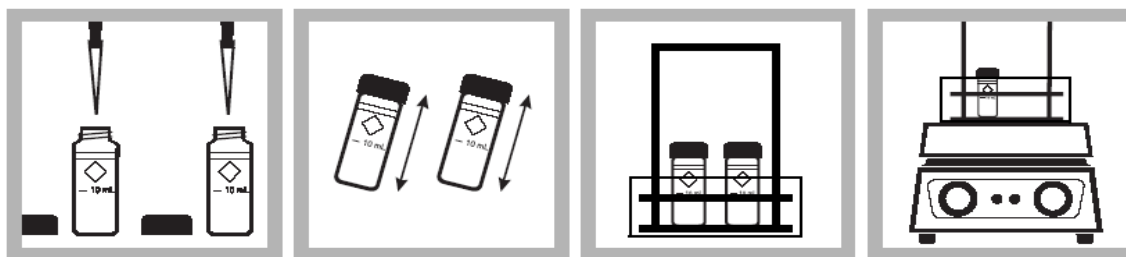
Method 10132



1. Se enciende el espectrofotómetro HACH y se introduce el número del programa para THMs Plus presionando 725 ENTER. En la pantalla se pide que se marque una longitud de onda de 515 nm.
2. Se ajusta el adaptador de celdas múltiples para una celda de una pulgada cuadrada.
3. Se prepara un baño de agua María agregando 500 mL de agua a un plato evaporador. Colocar el plato en un calentador.
4. Se prepara un baño helado agregando 500 mL de agua helada (18-25°C) del grifo a un segundo plato evaporador.

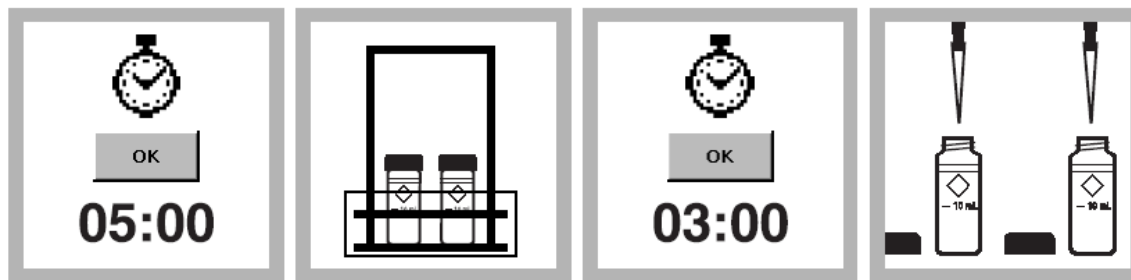


5. Llenar una celda de 10mL. Rotular como muestra.
6. Llenar una segunda celda con agua desionizada y marcar como blanco.
7. Agregar 3 gotas del reactivo de THM plus No. 1 a cada celda.
8. Girar suavemente y mezclar cada celda tres veces.



9. Usando una pipeta agregar 3mL de reactivo THM plus No. 2
10. Girar suavemente y mezclar agitando 10 veces.
11. Colocar la muestra en un sujetador de celdas y colocar el blanco al lado.

12. Colocar el sujetador en el baño de agua caliente cuando el agua esté hirviendo.



13. Presionar SHIFT TIMER para iniciar una reacción de 5 minutos.

14. Al final del periodo de reacción, remover el sujetador y las celdas del agua caliente y colocarlas en el baño de agua helada.

15. Presionar SHIFT TIMER. Enfriar por 3 minutos. Al final remover las celdas del baño.

16. Usando una pipeta agregar 1mL de reactivo THM plus No. 3 a la muestra y al blanco. Agitar para mezclar.

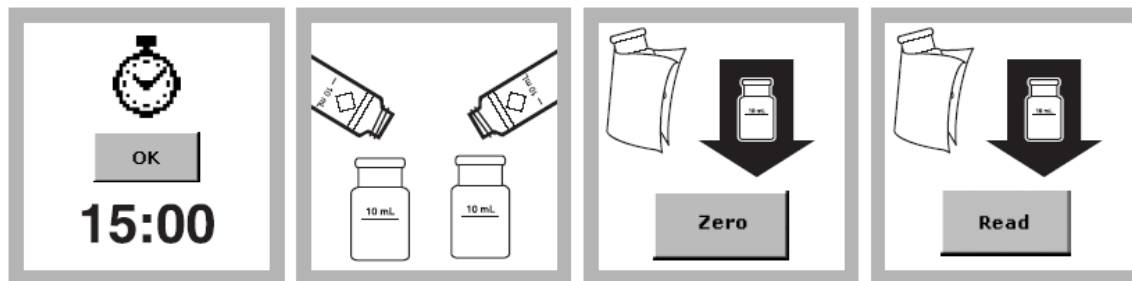


17. Reemplazar el agua helada con agua fresca del grifo. Colocar el sujetador de celdas en el agua.

18. Presionar SHIFT TIMER para iniciar una reacción de enfriamiento de 3 minutos.

19. Agregar polvo de reactivo THM plus No. 4 a la muestra y al blanco.

20. Voltear cada celda suavemente y agitar por 10 minutos.



21. Presionar SHIFT TIMER para iniciar una reacción de 15 minutos
22. Después del tiempo establecido agregué el contenido a una celda cuadrada, del mismo modo haga con el blanco.
23. Limpiar el blanco con una toallita para remover huellas u otras marcas. Mientras el color se desarrolla insertar el adaptador al espectrofotómetro, cierre la tapa y presione ZERO.
24. Inserte la muestra preparada, cierre la tapa y presione ZERO. Los resultados estarán dados en ppb como Cloroformo