

**EVALUACION DEL PROCESO COAGULACION – FLOCULACION A PARTIR  
DE SULFATO DE ALUMINIO  $Al_2(SO_4)_3$  PREPARADO UTILIZANDO ENVASES  
RECICLADOS DEL METAL Y ALUMINIO MODIFICADO EN LA  
POTABILIZACION DE AGUAS.**

**EDULFO SEGUNDO LABARCES CAMPO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2007**

**EVALUACION DEL PROCESO COAGULACION – FLOCULACION A PARTIR  
DE SULFATO DE ALUMINIO  $Al_2(SO_4)_3$  PREPARADO UTILIZANDO ENVASES  
RECICLADOS DEL METAL Y ALUMINIO MODIFICADO EN LA  
POTABILIZACION DE AGUAS.**

**EDULFO SEGUNDO LABARCES CAMPO  
QUIMICO**

Monografía como requisito para optar el título de  
**Especialista en Química Ambiental**

Director:  
**NELSON GUALDRON PARRA**  
Qco. Ep. Aguas

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
BUCARAMANGA  
2007**

En cada trayecto que se recorre hacia una nueva meta siempre se presentan inconvenientes, pero estos son superados debido a la motivación por seres especiales en nuestra vida que no nos deja desfallecer, por tal razón le

dedico este nuevo éxito a:

Edufio Labarces (Papá), Edin, Eris, Ilce (Hermanos) y de manera muy especial a mi madre Ana Ilce Campo que es mi razón de vivir.

## **AGRADECIMIENTOS**

En el momento de culminar de manera exitosa una nueva meta en la vida siempre hay personas que ayudan a que esta sea una realidad, pero teniendo siempre como guía a nuestro ser supremo (DIOS). Con gran alegría doy cita al nombre de personas que han sido importantes:

Ángela María, Nelson Gualdron, Youlvis, Patricia, nuestro director de la Especialización Ing. Jairo Puente y Marianny Yahaira Combariza, de manera muy especial al Dr. Víctor Raúl Castro Neira, por facilitar el laboratorio de química ubicado en las U.T.S.

## CONTENIDO

	<b>pag</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. METODOLOGIA</b>	3
<b>2. MARCO TEORICO</b>	4
<b>2.1. CALIDAD DEL AGUA</b>	4
2.2.1. Parámetros Organolépticos.	5
2.2.2. Parámetros Fisicoquímicos.	6
2.2.3. Parámetros relativos a sustancias indeseables en cantidades excesivas.	6
2.2.4. Parámetros microbiológicos.	7
<b>2.2. ESTIMACION DE RIESGO</b>	8
<b>2.3. REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA</b>	9
2.3.1. Parámetros Organolépticos.La realidad colombiana respecto a decreto 475/98.	9
<b>2. 4. PROCESOS DE POTABILIZACION</b>	11
2.4.1. Parámetros Organolépticos.La realidad colombiana respecto a decreto 475/98.	11
2.4.2. Mezcla Rápida.	11
2.4.3. Coagulación y floculación.	12
2.4.4. Coagulación.	13
2.4.5. Floculación.	15
2.4.6. Sedimentación.	16
2.4.7. Filtración.	16

<b>2. 5. PRODUCTOS QUIMICOS COAGULANTES Y FLOCULANTES</b>	17
2.5.1. Coagulantes metálicos.	17
2.5.2. Factores que influyen en la coagulación.	18
<b>3. QUIMICA DE COAGULACION CON SALES DE ALUMINIO (III)</b>	17
3. 1. MECANISMOS DE COAGULACION CON SALES DE ALUMINIO	19
4. pH ÓPTIMO PARA LA COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN	21
5. EL ALUMINIO Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA	23
6. CONTRIBUCION DE LOS LODOS AL MEDIO AMBIENTE	26
6. 1. COMPOSICION QUIMICA DE LOS LODOS	26
7. PASOS EXPERIMENTALES DEL ENSAYO DE JARRAS	28
8. RESULTADOS	29
9. ANALISIS DE RESULTADOS	54
10. SUGERENCIAS	55
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	56
<b>ANEXOS</b>	57

## LISTA DE TABLAS

	<b>pag</b>
<b>Tabla 1.</b> pH óptimo para diversos coagulantes	22
<b>Tabla 2.</b> Resultados $Al_2(SO_4)_3$ acueducto muestra 1.	29
<b>Tabla 3.</b> Resultados alumbre muestra 1.	29
<b>Tabla 4.</b> Resultados $Al_2(SO_4)_3$ obtenido muestra 1.	29
<b>Tabla 5.</b> Resultados $Al_2(SO_4)_3$ acueducto muestra 2.	30
<b>Tabla 6.</b> Resultados alumbre muestra 2.	30
<b>Tabla 7.</b> Resultados $Al_2(SO_4)_3$ obtenido muestra 2	30
<b>Tabla 8.</b> Determinación de dosis optima de alumbre para muestra de agua con turbiedad de 40.4 NTU	33
<b>Tabla 9.</b> Determinar de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 40.4 NTU	34
<b>Tabla 10.</b> Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 40.4 (NTU)	36
<b>Tabla 11.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 38.0 (NTU)	37
<b>Tabla 12.</b> Determinación de mg de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU	39
<b>Tabla 13.</b> Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón de yuca modificado constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU.	40
<b>Tabla 14.</b> Determinar de dosis óptica de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 68.0 NTU.	42

<b>Tabla 15.</b> Determinación de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 68.0 NTU	43
<b>Tabla 16.</b> Determinar de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 68.0 NTU.	44
<b>Tabla 17.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 30.4 NTU.	45
<b>Tabla 18.</b> Determinación de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestra de agua con 30.4 NTU.	44
<b>Tabla 19.</b> Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 30.4 NTU	47
<b>Tabla 20.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 90.0 NTU	48
<b>Tabla 21.</b> Determinación de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 90.0 NTU.	49
<b>Tabla 22.</b> Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 90.0 NTU.	50
<b>Tabla 23.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 120.0 NTU.	51
<b>Tabla 24.</b> Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 120.0 NTU.	52

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pag</b>
<b>Figura 1.</b> Comportamiento del pH y turbiedad con los diferentes alumbres utilizados.	31
<b>Figura 2.</b> Variación de la turbiedad con relación al volumen adicionado de las diferentes soluciones de alumbre	31
<b>Figura 3.</b> Comportamiento del pH vs volumen del Sulfato de Aluminio	32
<b>Figura 4.</b> Determinación de dosis optima de alumbre para muestra de agua con turbiedad de 40.4 NTU – TURBIEDAD	33
<b>Figura 5.</b> Determinación de dosis optima de alumbre para muestra de agua con turbiedad de 40.4 NTU – % REMOCIÓN DE TURBIEDAD	34
<b>Figura 6.</b> Determinar de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 40.4 NTU – TURBIEDAD (NTU)	35
<b>Figura 7.</b> Determinar de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 40.4 NTU – % REMOCION (TURBIEDAD)	35
<b>Figura 8.</b> Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 40.4 (NTU) – TURBIEDAD (NTU)	36
<b>Figura 9.</b> Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 40.4 (NTU) – % REMOCION TURBIEDAD	37
<b>Figura 10.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 38.0 (NTU) - TURBIEDAD (NTU)	38

<b>Figura 11.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 38.0 (NTU) - % REMOCION TURBIEDAD	38
<b>Figura 12.</b> Determinación de mg de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU - TURBIEDAD	39
<b>Figura 13.</b> Determinación de mg de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU - % REMOCION TURBIEDAD	40
<b>Figura 14.</b> Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón de yuca modificado constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU - TURBIEDAD (NTU)	41
<b>Figura 15.</b> Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón de yuca modificado constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU - TURBIEDAD (NTU)	41
<b>Figura 16.</b> Determinar de dosis óptica de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 68.0 NTU – TURBIEDAD (NTU)	42
<b>Figura 17.</b> Determinación de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 68.0 NTU	43
<b>Figura 18.</b> Determinar de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 68.0 NTU – TURIBEDAD	44
<b>Figura 19.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 30.4 NTU	45
<b>Figura 20.</b> Determinación de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestra de agua con 30.4 NTU	46
<b>Figura 21.</b> Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 30.4 NTU - TURBIEDAD	47
<b>Figura 22.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 90.0 NTU	49

<b>Figura 23.</b> Determinación de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 90.0 NTU	50
<b>Figura 24.</b> Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 90.0 NTU	51
<b>Figura 25.</b> Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 120.0 NTU	52
<b>Figura 26.</b> Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 120.0 NTU	53

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pag</b>
<b>ANEXO A</b>	
Registro fotográfico	57

EVALUACION DEL PROCESO COAGULACION – FLOCULACION A PARTIR DE SULFATO DE ALUMINIO  $Al_2(SO_4)_3$  PREPARADO UTILIZANDO ENVASES RECICLADOS DEL METAL Y ALUMINIO MODIFICADO EN LA POTABILIZACION DE AGUAS.

**AUTOR:** EDULFO LABARCES CAMPO\*

**PALABRAS CLAVES:** Sulfato de aluminio, Floculante, Coagulante, Estequiométrica, Catiónico

**RESUMEN:**

El agua es el líquido más común del planeta tierra y del cual depende toda la vida, es el medio de transporte de seres vivos microscópicos y sustancias inertes que pueden afectar la vida y la salud humana y/o afectar las características organolépticas del líquido. Las aguas naturales raramente son de calidad satisfactoria para el consumo humano o el uso industrial y casi siempre deben ser tratadas. . El nivel de tratamiento dependerá de cuan aceptable o pura sea el agua natural. Cuando la calidad del agua no reúne las características para su directo aprovechamiento debe ser acondicionada para distintos procesos que son realizados en una planta de tratamiento. Uno de los procesos químicos es la coagulación, en la cual se realiza la adición de coagulantes químicos, que conlleva a la floculación y posterior sedimentación de partículas sólidas suspendidas en el agua.

El coagulante metálico generalmente usado es el sulfato de aluminio y en muchas plantas de tratamiento durante la etapa de floculación se agregan polímeros sintéticos como coadyuvantes, con el fin de que se produzcan grumos o flóculos de mayor densidad que el agua y facilite su sedimentación.

Cuando hablamos del sulfato de aluminio, químicamente nos referimos a una sal que se obtiene generalmente del aluminio al reaccionar con el ácido sulfúrico, en este trabajo el aluminio se obtiene a partir de la alumina presente en latas de cerveza, esta alumina se hace reaccionar con el ácido de manera estequiométrica para así obtener el sulfato de aluminio, que es el floculante – coagulante más utilizado en el tratamiento de aguas naturales, además, de utilizar el sulfato se realizaron pruebas con el almidón de yuca modificado (catiónico) trabajándolo como coadyuvante del proceso (floculación) obteniendo así un gran resultado en el proceso de potabilización de aguas naturales.

---

\* Trabajo de grado en Especialización en Química Ambiental Química

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Nelson Gualdrón Parra

EVALUATION OF THE PROCESS COAGULATION - FLOCCULATION FROM ALUMINUM SULPHATE  $Al_2(SO_4)_3$  PREPARED USING RECYCLED PACKAGES OF THE METAL AND ALUMINUM MODIFIED IN THE WATER PURIFICATION.

**AUTOR:** EDULFO LABARCES CAMPO\*

**KEY WORDS:** Aluminum sulfate, Flocculants, Coagulant, Stoichiometric, Cationic

**ABSTRAC:**

Water is the most common liquid on the planet earth and from which all life depends, is the means of transport of live microorganisms and inert substances that can affect the life and human health and / or affect the characteristics of the liquid. The natural waters are rarely satisfactory quality for human consumption or industrial use and almost always should be treated. . The level of treatment will depend on how acceptable or pure water is natural. When the water quality does not meet the characteristics for direct use should be fitted for different processes that are performed in a treatment plant. One of the chemical processes is clotting, which makes the addition of chemical coagulants, which leads to the flocculation and sedimentation post solid particles suspended in the water.

The coagulant metal often used is the aluminum sulphate and many treatment plants during the flocculation synthetic polymers are added as interveners, in order to produce lumps higher density than water and facilitate its sedimentation.

When we talk about aluminum sulfate  $Al_2(SO_4)_3$ , chemically we talk about a salt that's getting from the aluminum when it reacts with sulfuric acid, in this job the aluminum gets from the alumina  $Al_2O_3$  in the beer's cans. This alumina makes reacting with the acid in a stoichiometric way, in order to obtain the aluminum sulfate, that's the most use flocculants-coagulant in the treatment of natural water, besides to use the sulfate tests were made with the modified yucca starch (cationic) working it as an aid in the process (flocculation) getting in that way an important result in the natural water purification process.

---

\* Trabajo de grado en Especialización en Química Ambiental Química

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Nelson Gualdrón Parra

## INTRODUCCION

El agua es el líquido más común del planeta tierra y del cual depende toda la vida, es el medio de transporte de seres vivos microscópicos y sustancias inertes que pueden afectar la vida y la salud humana y/o afectar las características organolépticas del líquido.

Para consumo humano, el agua debe estar libre de organismos que causen enfermedades y de minerales o sustancias orgánicas que produzcan efectos fisiológicos adversos. Debe tener una apariencia aceptable; debe estar libre de turbiedad aparente, color, olor y cualquier sabor desagradable. Además debe tener una temperatura razonable. El agua que cumpla con estas condiciones se denomina "potable o pura", significando que puede ser consumida en la cantidad deseada sin producir efectos adversos en la salud.

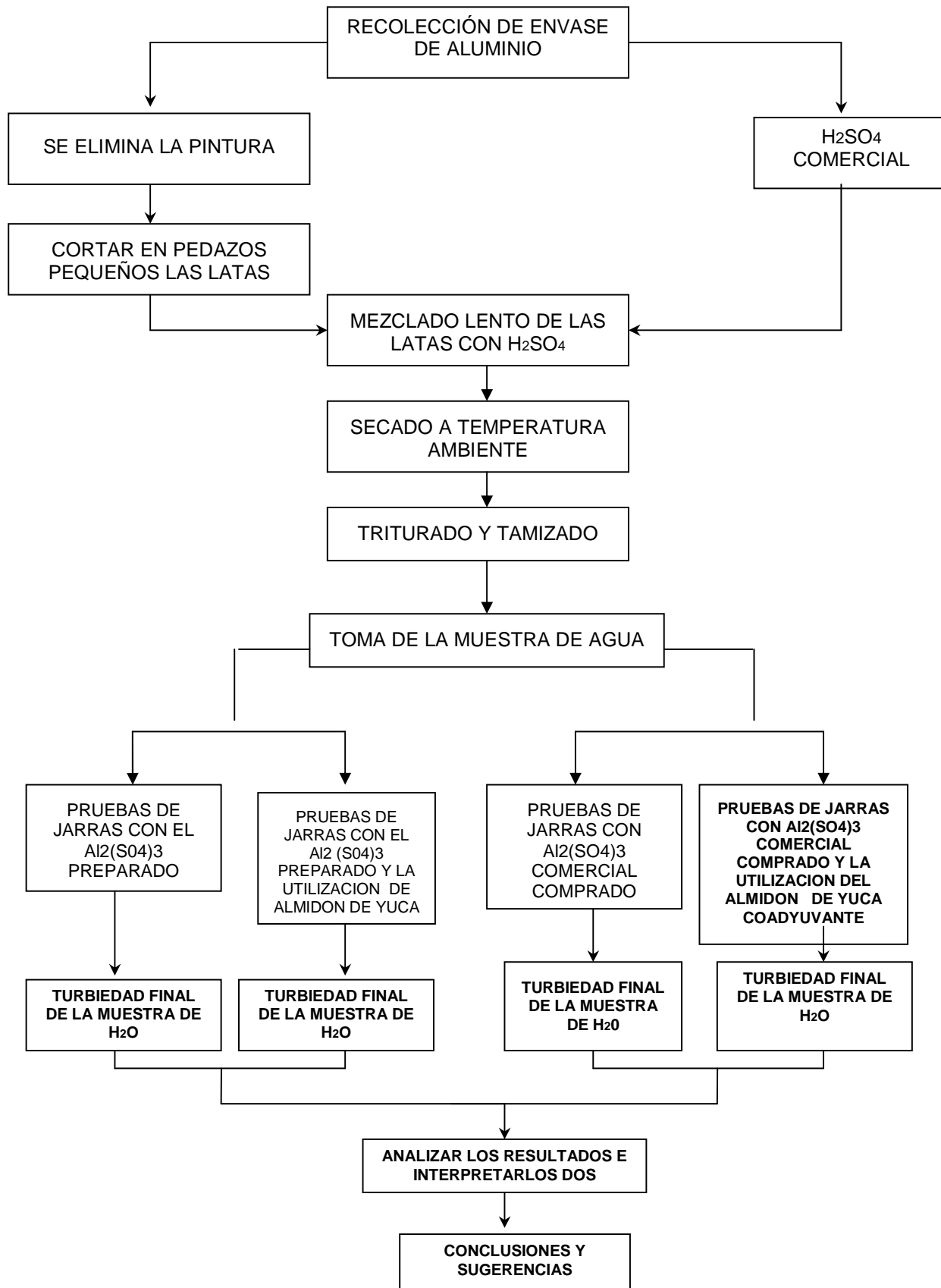
Las aguas naturales raramente son de calidad satisfactoria para el consumo humano o el uso industrial y casi siempre deben ser tratadas. El nivel de tratamiento dependerá de cuán aceptable o pura sea el agua natural. El agua dulce bruta se extrae de los ríos, lagos o de origen subterráneo y se trata hasta los estándares aceptables para el consumo humano o las necesidades industriales.

El agua al entrar en contacto con la atmósfera y el suelo va adquiriendo elementos como NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> o compuestos que desvirtúan su composición original tanto desde el punto de vista físico, como el punto de vista microbiológico. Cuando la calidad del agua no reúne las características para su directo aprovechamiento debe ser acondicionada para distintos procesos que son realizados en una planta de tratamiento.

Las partículas que causan la turbiedad en el agua son coloides en suspensión los cuales pueden ser precipitables o no precipitables, cuyo tiempo de sedimentación es muy prolongado, por lo tanto, se necesita que durante el proceso de potabilización el agua sea sometida a operaciones físicas y procesos químicos para obtener el agua potable y así cumpla con las normas de calidad del agua (Decreto 0475 de mayo de 1998). Uno de los procesos químicos es la coagulación, en la cual se realiza la adición de coagulantes químicos, que conlleva a la floculación y posterior sedimentación de partículas sólidas suspendidas en el agua.

El coagulante metálico generalmente usado es el sulfato de aluminio y en muchas plantas de tratamiento durante la etapa de floculación se agregan polímeros sintéticos como coadyuvantes, con el fin de que se produzcan grumos o flóculos de mayor densidad que el agua y facilite su sedimentación.

# 1. METODOLOGIA



## **2. MARCO TEORICO**

### **2. 1. CALIDAD DEL AGUA**

El agua desde el punto de vista sanitario, es decir, para consumo humano es considerada como un compuesto químico, producida por la unión de dos átomos de hidrogeno y uno de oxigeno, solamente existe en el laboratorio bajo condiciones especiales.

En estas condiciones, la calidad del agua se expresa mediante concentración de ciertos elementos y compuestos que desvirtúan la calidad del agua encontrándose ya sea en solución o en suspensión dado que su presencia generalmente es asociada con deficiencia en la claridad del agua. La claridad del agua esta fundamentalmente determinada por el uso que se le de a la misma, existiendo ciertas normas que el agua debe cumplir según su requerimiento.

Las partículas disueltas en el agua se encuentran en estado coloidal, con cargas negativas, razón por la cual se mantiene en suspensión, evitando su sedimentación en forma rápida. Algunas de las partículas encontradas en suspensión en el agua son arcillas y compuestos orgánicos en descomposición, causantes de la turbiedad y del color del agua. En el agua está presente una cantidad muy grande de sustancias químicas y organismos, muchos de los cuales pueden causar enfermedad en los seres humanos y afectar las características organolépticas del líquido. Por razones históricas y científicas las sustancias químicas se agrupan en compuestos orgánicos, inorgánicos y radionucleicos.

Los estándares de calidad del agua son imposiciones promulgadas por medio de leyes, reglamentaciones o procedimientos técnicos. Son establecidos por los países según sus prioridades y teniendo en cuenta su situación económica, la meta principal que debe buscar al reglamentar es cumplir con los requerimientos

mínimos que debe cumplir el agua. El agua debe tener una apariencia aceptable, debe estar libre de turbiedad aparente, color y cualquier sabor desagradable. Así, la primera prioridad en todos los países debe ser garantizar que el agua para consumo humano sea segura bacteriológicamente, idealmente el agua potable no debe contener ningún microorganismo patógeno, ni tampoco bacterias indicadoras de materia fecal.

La segunda meta debe enfocarse a los aspectos de apariencia y características organolépticas del agua. Al reglamentarlas debe tenerse en cuenta que la evaluación sensorial es subjetiva, se subordina a consideraciones sociales, económicas y culturales. Con ellos se debe buscar que los sistemas de distribución del agua no se corroan o se incrusten.

La tercera meta debe ser la reglamentación de los compuestos orgánicos, inorgánicos. Los estándares para los diferentes compuestos químicos que se decidan controlar debe estar basados en criterio científico que definen las relaciones dosis- respuesta, datos analíticos relacionados con la frecuencia de la presencia de sustancias en el agua potable, las concentraciones en que comúnmente se encuentran y la posible aplicación de medidas adecuadas de control para eliminar o reducir las concentraciones de esos químicos en el agua.

**2. 1. 1. Parametros Organolepticos.** El agua bruta normalmente tendrá impurezas cuantificadas en color, turbidez, olor y sabor, se les llama parámetros organolépticos, es decir captados por los órganos humanos de la vista, nariz y garganta. El color del agua quiere decir que está absorberá luz en le rango del espectro visible, el agua clara no tiene color, el color en el agua es causada por minerales disueltos, tintes y ácidos húmicos de las plantas. Estos últimos producen un color marrón desagradable a la vista. Tradicionalmente se pensaba que este color era inofensivo, pero recientemente se ha identificado ciertas correlaciones entre el color y la formación de halo formas durante la coloración de aguas potables. El color se mide sobre la escala de platino cobalto (Pt/Co).

La turbidez se debe a la presencia de materia particulada y es una medida de la capacidad del agua para dispersar la luz. La turbidez se mide en unidades nefelométricas. El agua es de muy buena calidad en turbidez si está por debajo de 0.1 NTU. Es de turbidez aceptable si los niveles son menores de 5 NTU y no se considera apta para consumo humano si es mayor de 5 NTU. A veces se describe la turbidez como la nubosidad del agua. El color del agua se mide mejor cuando no hay turbidez ya que esta última enmascara el color.

**2. 1. 2. Parámetros Fisicoquímicos.** Dependiendo de su origen el agua bruta puede necesitar un tratamiento concreto para satisfacer los parámetros necesarios. Las concentraciones máximas admitibles de estos parámetros están especificadas, a veces el suministro bruto necesita corrección de pH, el agua turbosa de las alturas tiende a tener un pH aproximado de 4.5, la presencia de algas fotosintéticas a veces eleva El pH A 10. La presencia de cloruro viene indicado por un sabor salado, el cual sugiere un origen de agua contaminada por agua residual. El magnesio también contribuye a la dureza, la dureza es una medida de los potenciales y efectos de incrustación en calderas, se identifica por la presencia de cationes en su gran mayoría de calcio y magnesio, altos niveles de potasio pueden sugerir contaminación por un fertilizante artificial.

**2. 1. 3. Parámetros relativos a sustancias indeseables en cantidades excesivas.** La principal preocupación es el nitrato, la enfermedad infantil metanoglobinemia (síndrome del niño azul) se debe a los niveles excesivos de nitrato. Otros estados del nitrógeno, especialmente el nitrógeno amoniacal puede indicar contaminación orgánica. La presencia del sulfuro de hidrogeno indica materia orgánica descompuestas. La presencia de fenoles que son tóxicos en dosis extremadamente bajas se atribuyen a esorrentías de carreteras y algunos vertidos industriales. La presencia de zinc, cobre, hierro, bario y plata se debe probablemente a la geología del terreno. Son frecuentes los niveles excesivos de hierro en aguas subterráneas, y aunque no son específicamente un peligro para la salud puede llevar a la aparición de manchas marrones, el fluoruro no se suele

encontrar en el agua bruta, pero si aparece en cantidades excesivas puede dar lugar a manchas en la dentadura.

**2. 1. 4. Parámetros microbiológicos.** La presencia de patógenos indeseables (bacterias, virus, etc.) se debe a las excreciones humanas y animales. El agua bruta no se analiza de forma rutinaria para bacterias, virus etc. Por razón de la gran cantidad e inmensa variedad de estos patógenos. Procedimiento analítico usual es utilizar organismos indicadores que confirmarán la presencia de indicadores si existen.

Este es un procedimiento de ensayo sencillo que nos confirma la presencia de estos parámetros, entre ellos coliformes totales y coliformes fecales. La mayoría de los patógenos transportados en el agua se introducen en ella a través de la contaminación fecal y la cepa de bacterias conocidas como *Echerichia coli*, es un organismos indicador ideal debido a que tiene un largo periodo de supervivencia en un medio acuático. Los organismos coliformes fecales no son patógenos en si mismos. Para determinar el número más probable de bacterias coliformes en 100 ml de agua se utilizan métodos estadísticos.

**Toxicidad:** un químico se considera como tóxico cuando al entrar a un ser vivo alcanza concentraciones que produzcan algún tipo de daño a la estructura o funcionamiento de alguna parte de ese organismo. Los términos tóxicos o toxicidad no dicen nada acerca de la severidad del efecto. La intensidad de los efectos tóxicos de una sustancia química esta muy influenciada por la forma o estructura química y por la habilidad para disolver en solventes polares, por ejemplo el agua, o no polares, por ejemplo los aceites y grasas. La cantidad química a que una persona esta expuesta es crucial para determinar la toxicidad en que ha ocurrido. La medición más común de la dosis, es el peso del químico que entra al individuo dividido por el peso total del cuerpo por cada día del periodo de exposición. Las concentraciones de las sustancias deben ser establecidas mediante mediciones analíticas y no por cálculos teórico, ya que se

conoce del comportamiento de las sustancias en los seres vivos. La habilidad de medir cantidades cada vez más pequeñas de sustancias se ha incrementado, reduciendo la percepción de pureza. La ruta de exposición es el camino que sigue el químico para entrar al cuerpo (inhalación, ingestión y contacto dermal.)

El sitio donde se presentan los efectos locales en la inhalación son los pulmones, en la ingestión es el sistema digestivo, en el contacto dermal la piel. Una vez que el químico entra en el cuerpo por una de las rutas de exposición tiene el potencial de ser absorbido por el torrente sanguíneo. Si esto ocurre, el químico es transportado a través del cuerpo y todos los órganos. Si esto ocurre, el químico es transportado a través del cuerpo y todos los órganos. Si el material permanece en la sangre por un periodo largo de tiempo, habrá exposición repetida de los tejidos y órganos. La cantidad de un químico que puede ser absorbida por cada ruta depende de una variedad de factores como son: concentraciones físicas y químicas de la sustancia. La absorción, la distribución y las tasas de transformación metabólica varía entre individuos y animales de diferentes especies. Las diferencias metabólicas pueden ser extremas, y deben ser el factor más importante a tener en cuenta para las diferencias en respuestas en toxicidad química entre especies animales e individuo entre las especies.

## **2. 2. ESTIMACION DE RIESGO**

Por riesgo se entiende la probabilidad de que los efectos tóxicos de un químico se presente en poblaciones individuales bajo las condiciones actuales de exposición. La evaluación de riesgo provee alguna medida de la toxicidad inherente de un químico a un organismo expuesto. Es una combinación de la estimación de toxicidad y la evaluación de exposición. Se expresa en porcentaje o en fracción de 0 a 1, siendo 0 la certeza de que no hay riesgo. Para estimar el riesgo que una sustancia química presenta para la salud humana debe entenderse la naturaleza y la magnitud del riesgo. La estimación del riesgo debe ser simplemente como el

medio de organizar y analizar toda la información científica disponible para poder caracterizar el riesgo. Los pasos a seguir para la estimación del riesgo deben ser:

- ◆ Evaluar los peligros que puede generar el químico
- ◆ Evaluar la relación dosis- respuesta de químico
- ◆ Evaluar el rango de exposición humano

Los datos de toxicidad y relaciones dosis- respuesta están disponibles solo para una pequeña fracción de los químicos a los que el hombre está expuesto. Mucho se conoce acerca de los químicos manufacturados para ser usados como medicinas, pesticidas aditivos de alimentos y para otros propósitos industriales, y muy poco acerca de los ciento de químicos que se consumen como compuestos naturales de la dieta.

## **2. 3. REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA**

**2. 3. 1. La realidad colombiana respecto a decreto 475/98.** En Colombia la cobertura del servicio de suministro de agua solo alcanza a llegar a un poco más de la mitad de la población. En el país la cobertura en el suministro de agua potable en el año de 1990 era del 66 por ciento, pero solo el 46 por ciento de la población recibe con una calidad aceptable.

La entidad que ésta encargada del control y la vigilancia de la calidad de agua, por el decreto 475/98, es el Ministerio de la Salud por intermedio de las secretarías locales de salud. La empresa administradora de servicio de agua, es la entidad responsable de la cantidad que tiene el agua al llegar al usuario. En el ministerio de desarrollo se cuenta con una dependencia, la comisión que regula el agua potable y el saneamiento básico, que ésta supervisando que la empresa administradora de servicio del agua cumplan con las normas de calidad del agua formulada por el decreto 475/98 con los mandatos de la junta nacional de tarifa de

servicios públicos. Esta oficina solo está verificando que las empresas administradoras de servicios de agua cumplan lo que dice la ley, las acciones legales sobre el control de la calidad del agua solo la puede ejercer el Ministerio De Salud. En el futuro, cuando por la ley se modifiquen las atribuciones que tiene el Ministerio De Salud sobre el control de la calidad del agua la comisión reguladora de agua potable y saneamiento básico tendrá el control pleno sobre los sistemas de regulación de agua potable.

El ministerio de salud está exigiendo informes periódicos, como lo exige el decreto 475/98, sobre la calidad del agua a las empresas administradoras del servicio del agua. La información de calidad del agua, que solicita, sólo cubre los parámetros bacteriológicos y de calidad organolépticas, y deben corresponder a muestras de agua tomada a la salida de la planta de tratamiento. En la **tabla 6** se muestra estos parámetros.

El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económico requiere de un estudio cuidadoso basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuado y económico para producir agua de calidad requerida. Como no existe una fórmula que permite determinar el tipo de planta requerida para tratar un agua, es necesario realizar los estudios de tratabilidad. Se han formado criterios generales de tratamiento de agua cruda, según la calidad de la fuente, los cuales sirven como guía.

Hay cuatro clases de tratamiento de agua esquematizadas en la tabla 7.

Un diagrama de flujo típico de los procesos de tratamiento aparece en la figura 2.

En general, los procesos incluyen pretratamiento, tratamiento estancar, desinfección y posibles fluoración.

## 2. 6. PROCESOS DE POTABILIZACION

**2. 4. 1. Aireación.** En purificación y tratamiento de agua se entiende por aireación, el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire, con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenida en ella. En resumen, ese proceso de introducir aire en el agua.

Las funciones más importantes de la aireación son:

- ◆ Disminuir la concentración de CO<sub>2</sub>
- ◆ Disminuir la concentración de H<sub>2</sub>S
- ◆ Oxidar hierro y manganeso
- ◆ Remover compuestos orgánicos volátiles
- ◆ Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores

**2. 4. 2. Mezcla Rápida.** Es una operación empleada en el tratamiento de agua con el propósito de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En planta de purificación del agua, el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos tales como resaltos hidráulicos en canales, canaletas, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, y tanques con equipos de mezcla rápida.

**2. 4. 3. Coagulación y floculación.** Los procesos de coagulación y floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos, siempre que su rapidez natural de asentamiento sea demasiado bajo

para proporcionar clarificación efectiva. La clarificación del agua, el ablandamiento con cal, el espesamiento del lodo y el decantamiento dependen de una correcta aplicación de las teorías de la floculación y coagulación para que pueda efectuarse con éxito.

Tomando como ejemplo la clarificación de agua superficial, el agua turbia contiene material suspendido, tanto sólido que pueden asentarse, como partículas lo bastante grandes que se precipitan en reposo, o sólido no dispersado que no se asentarán con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no se precipiten pueden ser coloides. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repelen las partículas vecinas, como se repelen dos polos magnéticos. Ya que esta impide el choque de las partículas y que se formen así masas mayores llamadas flóculos, las partículas no se asientan.

La coagulación desestabiliza los coloides al neutralizar las fuerzas que las mantiene separadas. Esto se logra por lo general, añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polielectrolitos. Las sustancias químicas cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. Estos flóculos, inicialmente pequeños, crean al juntarse glomerados mayores que son capaces de asentarse. El proceso de desestabilización es la coagulación, la etapa de formación de floculo es la floculación. Este proceso todavía se halla en estudios avanzados.

Los términos floculación y coagulación son con frecuencia intercambiados de cationes o aniones, sin embargo, cuando se le considera como dos mecanismos distintos pueden conducir a un mejor entendimiento de la clarificación.

**2. 4. 4. Coagulación.** Las especies coloidales halladas en agua cruda y en agua de desecho incluyen arcillas, sílice, hierro y otros metales pesados, color y sólidos orgánicos, como residuos de organismos muertos. Los coloides también pueden producirse en los procesos de precipitación como el ablandamiento con cal. Los coloides siempre necesitan coagularse para alcanzar un mayor tamaño y una rapidez de asentamiento, pero aun partículas mayores, que no son realmente coloides y que se asentarían si se les diera un tiempo suficiente, requiere de la coagulación para formar un floculo mayor para que se asiente con más rapidez.

Cuando en una planta de tratamiento no se dispone de tiempo suficiente para extraer los sólidos suspendidos, la coagulación y la floculación puede provocar su crecimiento y asentarse con la suficiente rapidez para superar las limitaciones del diseño de la planta. Los coloides se clasifican en hidrofóbicos e hidrofílicos. Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua, la mayor parte de las cerámicas naturales son hidrofóbicas. Los coloides hidrofílicos reaccionan con el agua, las sustancias que producen el color son hidrofílicas. De importancia en el tratamiento del agua es que los coloides hidrofílicos pueden reaccionar químicamente con el coagulante usado en el proceso de tratamiento. Así, los coloides hidrofílicos requieren mayor cantidad de coagulantes que los hidrofóbicos, que no reaccionan químicamente con el coagulante.

Diversas teorías han sido formuladas para describir la partícula coloidal y la fuerza que la rodea. Prácticamente, todo lo que se necesita para definir el sistema coloidal es la determinación de la naturaleza y la magnitud de la carga de la partícula. La magnitud de la carga de la partícula, determina lo cerca que pueden aproximarse los coloides. El potencial zeta es una medida de esta fuerza para coloides en fuente de agua natural con pH de 5 a 8, el potencial zeta se encuentra entre  $-14$  y  $-30$  milivoltios, cuanto más que negativo sea el número, tanto mayor será la carga de la partícula. A medida que disminuye el potencial zeta, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de una colisión. En un sistema convencional de clarificación con pH de 6 a , los

coagulantes proporciona las cargas positivas para reducir la magnitud del potencial zeta. La coagulación se presenta de ordinario a un potencial zeta que es aun ligeramente negativo, de manera que por lo general no se requiere que la carga sea neutralizado por completo. Si se añade demasiado coagulante, superficie de las partículas se cargará positivamente, y la partícula volverá a dispersarse. Las partículas de carbonato de calcio también portan una carga negativa y pueden ser útiles coagulantes catiónicos para reducir la dureza residual coloidal. El hidróxido de magnesio, por otro lado, porta una carga positiva hasta que el pH es mayor que 11, así, en el proceso de ablandamiento con cal y carbonato en los que precipitan tanto  $\text{CaCO}_3$  como hidróxido de magnesio se coprecipitan las partículas de carga opuesta.

El potencial zeta se determina indirectamente de los datos obtenidos al observar en el microscopio los movimientos de las partículas. Las medidas del potencial zeta se han empleado con éxito para controlar la dosis de coagulante de las plantas. Sin embargo, las lecturas del potencial zeta por sí sola no son confiables para seleccionar el mejor coagulante. Los resultados obtenidos en la prueba de jarra continua siendo los mejores para seleccionar el coagulante. Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. El movimiento browniano, el movimiento catiónico comunicado a las partículas pequeñas al ser bombardeadas por moléculas individuales de agua está siempre presente como una furia mezcladora natural. Sin embargo, casi siempre es necesaria energía adicional del mezclado. Un mezclado de gran intensidad que destruya al coagulante y promueva colisiones rápidas, es de lo más efectivo. También son importantes en la coagulación la frecuencia y el número de colisiones entre las partículas. En agua de baja turbidez puede requerirse la adición de sólidos, como la arcilla o el reciclado de sólidos previamente asentado, para aumentar el número de colisiones entre las partículas.

**2. 4. 5. Floculación.** Es el proceso mediante el cual las partículas desestabilizadas se unen para formar grandes partículas estables o flóculos, los cuales alcanzan un tamaño suficiente como para poder sedimentarse en el agua. Puede que el flóculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande como para poder asentarse con la rapidez deseada. Un flóculante reúne partículas en una red, formando puente de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. El alumbre, las sales de hierro y los polímeros de peso moleculares altos son floculantes comunes.

Se distinguen dos tipos de floculación el primero se llama ortocinética y el segundo pericinética. El primero es inducido por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas, el segundo tipo es promovido internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de él, se realiza en un tiempo muy corto después de que las partículas ha sido desestabilizada y hasta que alcanza un tamaño suficiente para que le permita sedimentarse. La floculación es estimulada por un mezclado lento, el cual junta poco a poco los floculos, un mezclado intenso los rompe y raramente vuelven a formarse en su tamaño y fuerza óptima. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del floculo, si no que también afecta su naturaleza física.

De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas físicas y químicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floculo, pH, temperatura y la concentración del electrolito.

**2. 4. 6. Sedimentación.** Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión por medio de la gravedad, en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento. Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua, sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir las cargas de sólidos sedimentables antes de la coagulación, en esos casos se conoce como presedimentación. La sedimentación después de la floculación y de la coagulación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal. La sedimentación puede ser precedida por presedimentación y aireación, generalmente va seguida de la filtración.

**2. 4. 7. Filtración.** La producción de agua clara y cristalina es prerequisite para el suministro de agua segura y requiere de la filtración, aunque el 90 por ciento de la turbiedad y el color son removidos por la coagulación y la sedimentación, una cierta cantidad de floculos pasan al tanque de sedimentación y requieren su remoción. Por ello para lograr la clarificación final se usa la filtración a través de medios porosos, generalmente dichos medios son arena y antracita.

En la planta de purificación la planta remueve el material suspendido, conocido como en la practica como turbiedad, compuesto por floculo, suelo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de los microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y sin embargo, son removidos mediante la filtración.

Lo anterior indica porqué en la práctica se considera que el propósito principal de la filtración es remover turbiedad e impedir la interferencia de la turbiedad con la desinfección, al proveer protección a los microorganismos de la acción de los desinfectantes.

## 2. 5. PRODUCTOS QUIMICOS COAGULANTES Y FLOCULANTES

Se clasifican en dos grupos, los primeros son los coagulantes metálicos y los segundos son los polielectrolitos o ayudantes de coagulación – floculación. Ambos grupos actúan como polímeros, además de la carga eléctrica que poseen.

En los primeros, la polimerización se inicia cuando el coagulante es adicionado al agua, con lo cual se inicia la etapa de absorción por los coloides presente en la fase acuosa, en los segundos las cadenas están ya formadas al ser adicionada.

**1. Coagulantes metálicos.** Los coagulantes metálicos se clasifican en tres tipos, los primeros son las sales de Aluminio, los segundos las sales de hierro y las terceras los compuestos varios. El coagulante usado generalmente en las plantas de tratamiento son las sales de aluminio, debido a su bajo costo y fácil dominio.

Históricamente los coagulantes metálicos han sido más empleados en la clarificación del agua. Estos productos actúan como coagulantes y floculantes a la vez. Añadidos al agua forman especies cargadas positivamente en el intervalo de pH entre 7.5 y 8.2. Esta reacción de hidrólisis produce Aluminio gelatinoso insoluble o hidróxido férrico. Aun cuando inicialmente no haya sólido suspendido en el agua, los coagulantes metálicos forman flóculos que enreda a los coloides desestabilizados. Sin embargo, los lodos voluminosos producidos por la adición de coagulantes metálicos crean problema de disposición, por lo que de ordinario sólo puede difícilmente desecarse.

Los coagulantes metálicos son muy sensibles a la alcalinidad y al pH. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro y el aluminio y generar problema al usuario del agua.

Cuanto menor sea la dosis del coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del floculo a cambios de pH.

La introducción de sílice activado en los años de 1940–1950 mejoró considerablemente el desempeño del alumbre y de las sales de hierro como coagulante en la clarificación del agua. El desarrollo subsecuente de diversos polímeros orgánicos denominados polielectrolitos, en la siguiente década, contribuyeron especialmente a la tecnología del tratamiento de agua.

**2. Factores que influyen en la coagulación.** Hay una serie de factores que afectan la coagulación y entre ellos se pueden citar:

- ◆ Clases de coagulantes
- ◆ Cantidades de coagulantes
- ◆ Características químicas del agua
- ◆ Concentración del ion hidrogeno del agua
- ◆ Tiempo de mezcla y floculación
- ◆ Temperatura del agua
- ◆ Violencia de agitación
- ◆ Presencia de nucleoides

### 3. QUIMICA DE COAGULACION CON SALES DE ALUMINIO (III)

El sulfato de Aluminio  $[Al_2 (SO_4)_3 \cdot 18 H_2O]$  es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenaje suele convertirse en terrones relativamente duros. Cuando está en solución se encuentra hidrolizado de la siguiente forma:



Los iones de aluminio hidratado  $[Al (H_2O)_6]^{+++}$ , actúan como un ácido y reaccionan con las bases disueltas (como la alcalinidad que se expresa en forma de  $OH^-$ ,  $CO_3^{=}$  y  $HCO_3^-$  y con las moléculas de agua.

Como las bases que constituyen la alcalinidad son más reactivas que el  $H_2O$ , el  $[Al (H_2O)_6]^{+++}$ , Reaccionará siempre antes con ella y no con las moléculas de agua.

#### 3. 1. MECANISMOS DE COAGULACION CON SALES DE ALUMINIO

En el proceso de coagulación de las aguas para abastecimiento, mediante el uso de las sales de aluminio, ocurre principalmente mediante los mecanismos:

**PRIMERO:** Adsorción de especies hidrolizadas, originando desestabilización o neutralización, bajo determinadas condiciones de la solución de coagulantes (pH, temperatura, concentración de Aluminio, Edad de la solución, etc.), los productos de la hidrólisis tienen cargas diferentes y son absorbidos más fácilmente que el ion metálico no hidrolizado. La tendencia a la adsorción se acentúa para las especies polihidroxidas y polinucleares. La causa de este efecto, se debe al gran tamaño y

a la poca hidratación de las especies hidrolizadas, y al mejoramiento de las condiciones de adsorción debido a la presencia de grupos hidróxidos coordinados.

**SEGUNDO:** Barrido resultante de partículas en los precipitados de aluminio, Las dosis de coagulantes normalmente utilizadas en la practica y los correspondientes valores de pH ocurren en regiones de súper saturación con respecto al hidróxido metálico, lo cual no implica que la precipitación de esta especie se de rápidamente, puesto que se debe alcanzar un cierto grado de saturación que depende de la temperatura y la concentración de los coloides en la suspensión, En la región localizada por encima de esta súper saturación critica, se producirá de un precipitado amorfo, capaz de envolver la impureza del agua y removerla por sedimentación. Así, se considera que con una baja concentración de coloides no existe un número suficiente de partículas para propiciar la oportunidad de contacto en un tiempo razonable.

#### 4. pH ÓPTIMO PARA LA COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN

El valor de pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación, este parámetro afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio. Así como el tiempo requerido para la formación del floculo y la carga sobre las partículas coloides.

El pH óptimo de coagulación- floculación encontrado experimentalmente en este trabajo se encuentra en 7.45 VER ANEXO D.

En las curvas de solubilidad para los hidróxidos férricos y de aluminio, presentada en la gráfica anterior se observa que a pH menor de 3.5 los OH son insuficientes para precipitar el  $\text{Fe}^{+3}$  completamente, por la misma razón es necesario tener una alcalinidad durante la coagulación química. También debe notarse que la solubilidad del  $\text{Al}(\text{OH})_3$  aumenta a pH mayor de 7, lo cual es debido a la formación del ion aluminato a pH alto, o sea, las propiedades anfóteras del  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

Vale la pena recordar aquí, que los hidróxidos metálicos, como el hidróxido férrico son solubles en ácido, pero no en base; por el contrario, los hidróxidos no metálicos son solubles en base pero no en ácidos. Sin embargo, ciertos hidróxidos como los de aluminio, zinc y cromo entre otros, son solubles tanto en ácido como en bases. Estos hidróxidos son conocidos como anfóteros. El pH óptimo de los coagulantes metálicos, en general, son mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 1. pH óptimo para diversos coagulantes**

<b>COAGULANTES</b>	<b>pH MINIMO</b>	<b>pH MAXIMO</b>
ALUMBRE	4	7.8
SULFATO FERROSO	-	8.5
CLORURO FÉRRICO	3.5 – 6.5	8.5 – 14
SULFATO FÉRRICO	3.5 – 7.0	9.0

## **5. EL ALUMINIO Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA**

El aluminio es el metal que más abunda en la corteza terrestre, representa cerca del 7% en peso de la misma. El aluminio también se encuentra en el suelo, los alimentos y el agua corriente. (CRICHTON, 1997)

De ahí que no sorprenda que, en términos generales que una persona de 70 kg de peso tenga en su organismo 100 microgramos de aluminio.

Estimativos hechos en Estados Unidos sugieren que un habitante medio de ese país consume entre 20 y 40 mg de aluminio por día. Se calcula que el 1 % del consumo proviene del agua potable y cerca del 90 % de alimentos.

Más del 99 % del aluminio consumido es eliminado del cuerpo a través de las funciones normales del intestino. Un pequeño porcentaje es drenado por la orina. El consumo de aluminio por encima de las normas recomendadas, ha sido asociado a diferentes trastornos sobre la salud. Para Flaten T.P El aluminio es “un poderoso neurotóxico”. (T.P FLATEN, 1996).

Durante muchos años, el aluminio fue catalogado como un metal de escaso interés para los estudios toxicólogos. Sin embargo, en los últimos años, una creciente información científica ha relacionado el excesivo consumo de aluminio con diferentes trastornos para la salud.

Los estudios sugieren que, en determinadas concentraciones, el aluminio inhibe la mineralización de los huesos. De ahí que la exposición crónica al aluminio ha sido asociada a un mayor riesgo de tener una fractura temprana.

La debilitación de los huesos ha sido señalada por el médico sueco Beigh, quien ha establecido que el consumo de alimentos cocido en utensilios de aluminio multiplica por dos el riesgo de contraer cáncer en el colon.

El consumo excesivo de aluminio se ha relacionado con problemas en el sistema nervioso, ya que reemplaza los iones metálicos comunes en proteínas y las enzimas, causando una rata de replicación o un decrecimiento en el metabolismo de las células.

El aluminio también ha sido asociado con serias enfermedades como el mal de Parkinson, la Esclerosis aminotrófica y la enfermedad de Alzheimer. Una alta incidencia inusual de la Esclerosis amiotrófica lateral y el mal de parkinson en la población indígena de Nueva Guinea sugiere la posible correlación con las condiciones ambientales, las cuales incluyen un alto nivel de aluminio tanto en el alimento y el suelo, como en el agua.

Ha sido demostrado que humanos con estos desordenes tienden a tener altos niveles de aluminio en áreas particulares de su cerebro. Las grandes cantidades de aluminio también pueden causar anemia, osteomalacia (ablandamiento de los huesos), intolerancia a la glucosa y problemas cardíacos.

Por otro lado, muchos estudios han conducido a considerar el aluminio como un factor ambiental que tiene gran correlación entre el número de casos diagnosticados de Alzheimer y los niveles de aluminio en el agua potable.

Según la OMS, la cantidad de aluminio presente en el agua potable recomendada debe estar alrededor de 0.2 mg/L.

La enfermedad de Alzheimer es la forma más común de demencia senil y aqueja más a mujeres que a los hombres. Sus primeras manifestaciones incluyen la pérdida de memoria, confusión temporal, la agitación y letargo, además, de la

reducción de las neuronas, lo que indica una pérdida de peso y tamaños cerebrales.

## **6. CONTRIBUCION DE LOS LODOS AL MEDIO AMBIENTE**

Los lodos que se originan en el tratamiento de agua para el consumo humano son en su mayor parte los producidos por los procesos de floculación- coagulación, donde se consigue “secuestrar” las partículas contaminantes por la formación de los flóculos. Dichos flóculos, una vez decantados, se convierten en lodos. (DE LORA, 1978).

Uno de los aspectos más críticos en la operación de plantas de tratamiento es el manejo de los lodos producidos en los procesos. Estudios realizados han indicado que los lodos que se producen en los sedimentadores, constituyen entre el 60 y el 70 % de los sólidos totales, y en los filtros entre el 30 y el 40 % (ARBOLEDA, 1994)

### **6. 2. COMPOSICION QUIMICA DE LOS LODOS**

La composición de los lodos es siempre consecuencia de dos factores coadyuvantes como lo son, los productos contaminantes del agua y los reactivos empleados en el tratamiento.

Los productos contaminantes arrastrados por los flóculos son las impurezas típicas de las aguas naturales, permaneciendo constante un pequeño numero de compuestos, si bien difieren notablemente en la concentración.

Los principales constituyentes de los lodos obtenidos en las plantas de tratamiento de agua que recurre a la coagulación química, son los óxidos hidratados de aluminio. Además, de estos hidratos, los residuos también contienen materia particular arrastrada, tanto de naturaleza orgánica como inorgánica. Cuando la contaminación de la fuente de agua cruda no es muy marcada, la fracción

orgánica del residuo, arrastrada o absorbida, es pequeña, y en la mayoría de los casos, estable y no putrescible. La mayor parte de la materia arrastrada en el proceso de coagulación es de tipo inorgánico: arenas finas, limos y arcillas.

Además de los coagulantes, igualmente se utilizan los ayudantes de floculación como los polielectrolitos, que por su baja concentración no se encuentra en gran cantidad en los lodos, aunque influyen en su cohesión y densidad.

## **7. PASOS EXPERIMENTALES DEL ENSAYO DE JARRAS**

- ◆ Determinación de turbiedad, pH y temperatura del agua captada
  
- ◆ Adicionar aproximadamente un litro de la muestra en cada uno de los seis vasos de precipitado, los cuales se colocan en los respectivos agitadores.
  
- ◆ Graduar la velocidad del motor a 80 rpm durante un tiempo aproximado de 4 minutos.
  
- ◆ Añadir simultáneamente dosis graduadas de alumbre a cada vaso de precipitado y se mantienen la agitación durante dos minutos con una velocidad del motor de 80 rpm.
  
- ◆ Reducir la velocidad a 25 rpm y mantener la agitación durante 15 minutos.
  
- ◆ Detener las paletas y dejar sedimentar durante 15 minutos.
  
- ◆ Determinar la turbiedad final del agua.

## 8. RESULTADOS

**Tabla 2.** Resultados  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  acueducto muestra 1.

<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math> ACUEDUCTO</b>	<b>TURBIDEZ INICIAL <math>T_i</math></b>	<b>TURBIDEZ FINAL <math>T_f</math></b>	<b>pH</b>
3ml	102 NTU	3,37 NTU	7,92
5ml	102 NTU	3,19 NTU	7,32
7ml	102 NTU	3,23 NTU	6,91
9ml	102 NTU	2,65 NTU	6,33

**Tabla 3.** Resultados alumbre muestra 1.

<b>ALUMBRE VOL. 5ml</b>	<b>TURBIDEZ INICIAL <math>T_i</math></b>	<b>TURBIDEZ FINAL <math>T_f</math></b>	<b>pH</b>
<b>ACUEDUCTO</b>	102NTU	1,3 NTU	5,8
<b>OBTENIDO</b>	102NTU	2,02 NTU	6,35
<b>LIQUIDO</b>	102NTU	53,28 NTU	3,19

**Tabla 4.** Resultados  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  obtenido muestra 1.

<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math> OBTENIDO</b>	<b>TURBIDEZ INICIAL <math>T_i</math></b>	<b>TURBIDEZ FINAL <math>T_f</math></b>	<b>pH</b>
2ml	102NTU	2,05 NTU	7,6
3ml	102NTU	2,16 NTU	7,3
4ml	102 NTU	1,75 NTU	6,99
4,5ml	102 NTU	1,71 NTU	6,79

## MUESTRA 2

**Tabla 5.** Resultados  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  acueducto muestra 2.

<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math> ACUEDUCTO</b>	<b>TURBIDEZ INICIAL <math>T_i</math></b>	<b>TURBIDEZ FINAL <math>T_f</math></b>	<b>pH</b>
3ml	140 NTU	3,2 NTU	7,8
5ml	140NTU	4,5 NTU	7,5
7ml	140 NTU	5,0 NTU	7,1
9ml	140 NTU	6,2 NTU	6,6

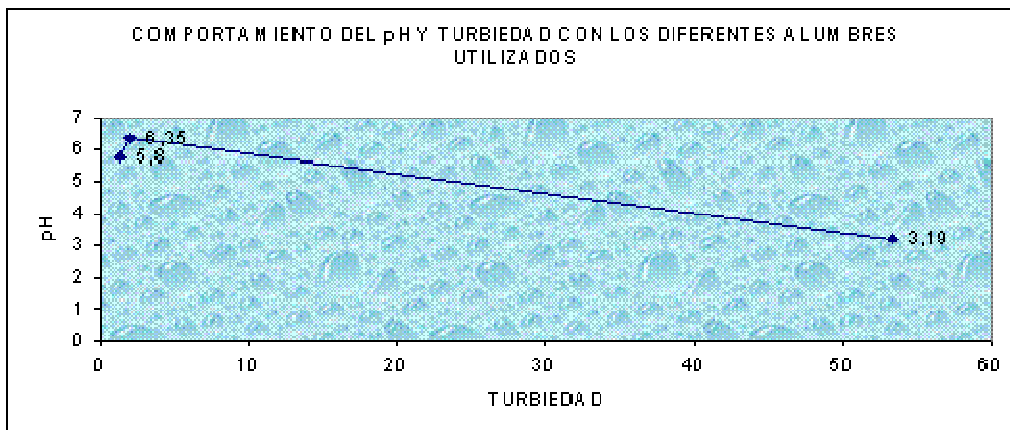
**Tabla 6.** Resultados alumbre muestra 2.

<b>ALUMBRE VOL. 7ml</b>	<b>TURBIDEZ INICIAL <math>T_i</math></b>	<b>TURBIDEZ FINAL <math>T_f</math></b>	<b>pH</b>
<b>ACUEDUCTO</b>	140 NTU	5,0 NTU	<b>7,1</b>
<b>OBTENIDO</b>	140 NTU	<b>5,45 NTU</b>	<b>7,15</b>
<b>LIQUIDO</b>	140 NTU	<b>42,4 NTU</b>	<b>4,2</b>

**Tabla 7.** Resultados  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  obtenido muestra 2

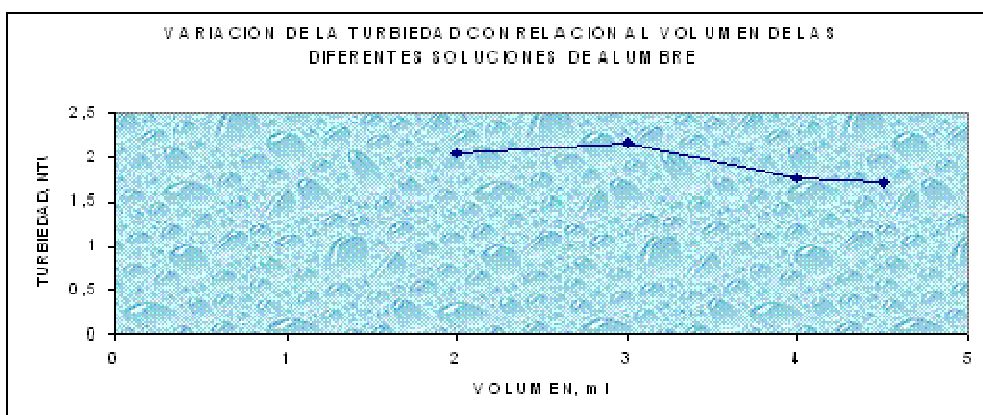
<b><math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math> OBTENIDO</b>	<b>TURBIDEZ INICIAL <math>T_i</math></b>	<b>TURBIDEZ FINAL <math>T_f</math></b>	<b>pH</b>
<b>2ml</b>	102NTU	2,05 NTU	<b>7,6</b>
<b>3ml</b>	102NTU	<b>2,16 NTU</b>	<b>7,3</b>
<b>4ml</b>	102 NTU	<b>1,75 NTU</b>	<b>6,99</b>
<b>4,5ml</b>	102 NTU	<b>1,71 NTU</b>	<b>6,79</b>

**Figura 1.** Comportamiento del pH y turbiedad con los diferentes alumbres utilizados.



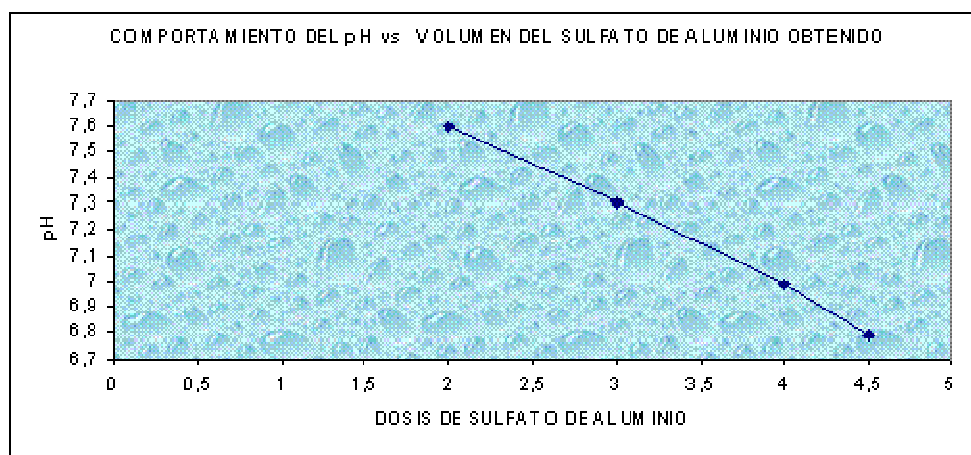
TURBIEDAD FINAL (NTU)	pH
1,3	5,8
2,02	6,35
53,28	3,19

**Figura 2.** Variación de la turbiedad con relación al volumen adicionado de las diferentes soluciones de alumbre.



$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ OBTENIDO (ml)	TURBIEDAD FINAL Tf (NTU)
2	2,05
3	2,16
4	1,75
4,5	1,71

**Figura 3:** Comportamiento del pH vs volumen del Sulfato de Aluminio



$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ OBTENIDO (ml)	pH
2	7,6
3	7,3
4	6,99
4,5	6,79

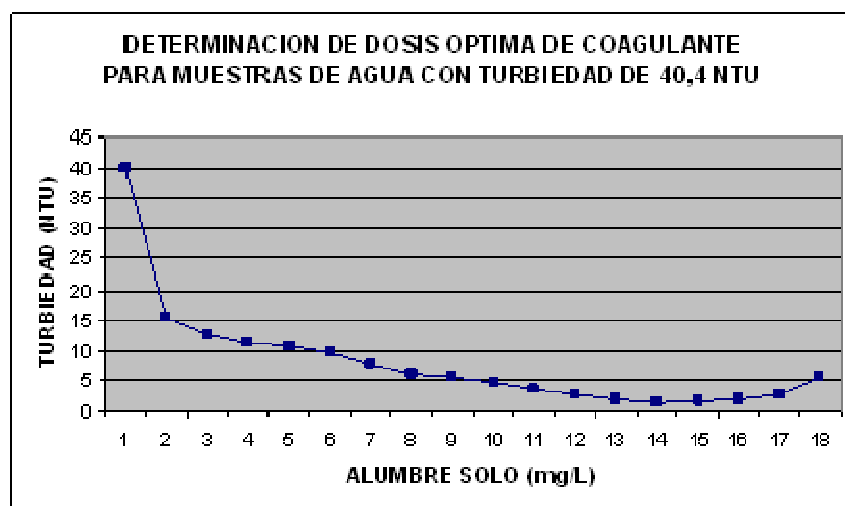
### CONTINUACION TABLAS

**Tabla 8.** Determinación de dosis optima de alumbre para muestra de agua con turbiedad de 40.4 NTU

Concentración alumbre solo (mg/l)	Turbiedad (NTU)	% Remoción de turbiedad
0	40.0	0.00
5	15.4	61.88
7	12.8	68.30
9	11.4	71.78
11	10.8	73.26
13	9.7	75.99
15	7.8	80.69
17	6.2	84.65
19	5.4	86.63
21	4.6	88.60
23	3.7	90.84
25	2.8	93.06
27	1.9	95.29
<b>29</b>	<b>1.5</b>	<b>96.28</b>
31	1.7	95.79
33	1.8	95.50
35	2.7	93.31
37	5.6	86.10

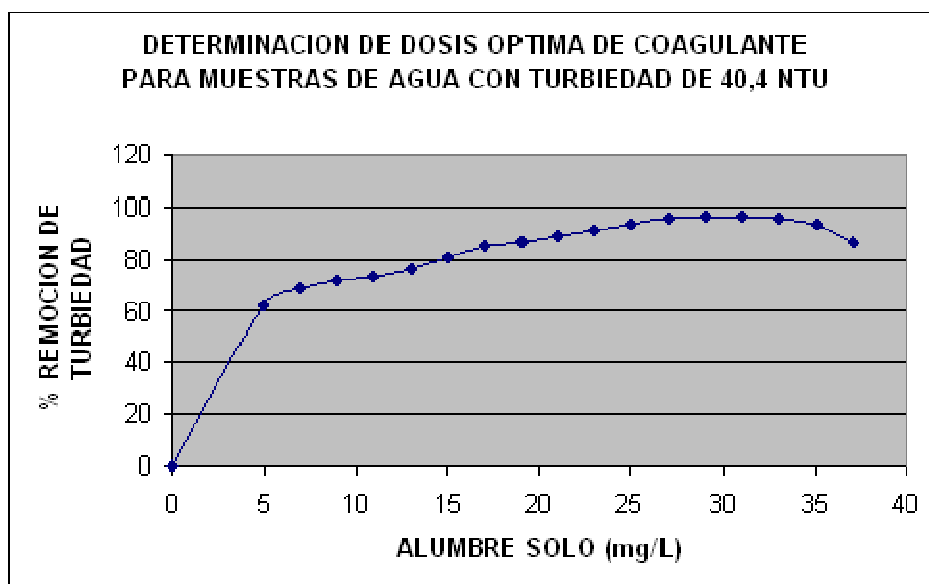
Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 4.** Determinación de dosis optima de alumbre para muestra de agua con turbiedad de 40.4 NTU – TURBIEDAD



Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 5.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestra de agua con turbiedad de 40.4 NTU – % REMOCIÓN DE TURBIEDAD



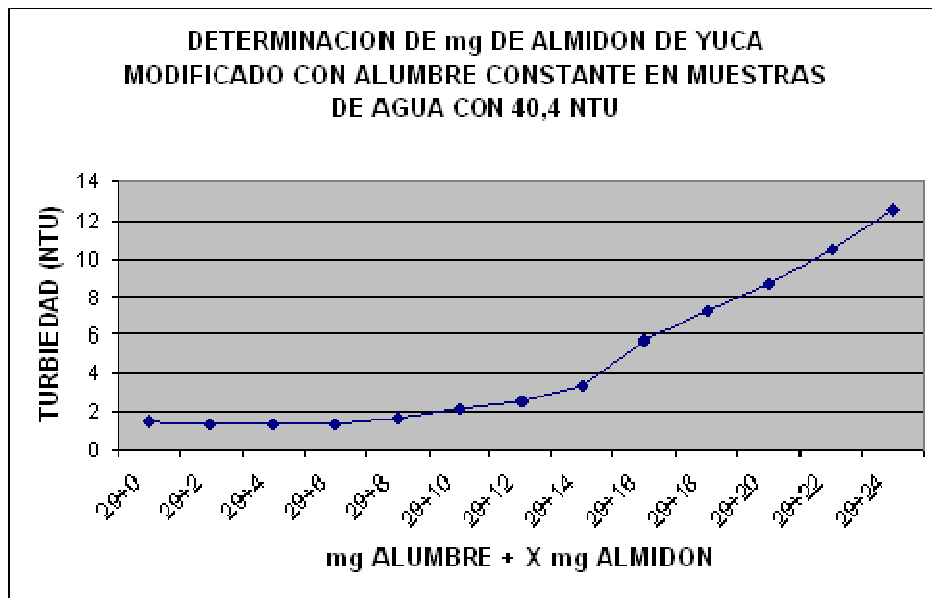
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 9.** Determinar de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 40.4 NTU

Mg alumbre + X mg almidón	Turbiedad ( NTU)	% Remoción de turbiedad
29+0	1.50	96.28
29+2	1.45	96.41
<b>29+4</b>	<b>1.37</b>	<b>96.60</b>
29+6	1.42	96.48
29+8	1.68	95.84
29+10	2.20	94.55
29+12	2.60	93.56
29+14	3.41	91.58
29+16	5.72	85.89
29+18	7.21	82.17
29+20	8.62	78.71
29+22	10.44	74.75
29+24	12.61	68.81

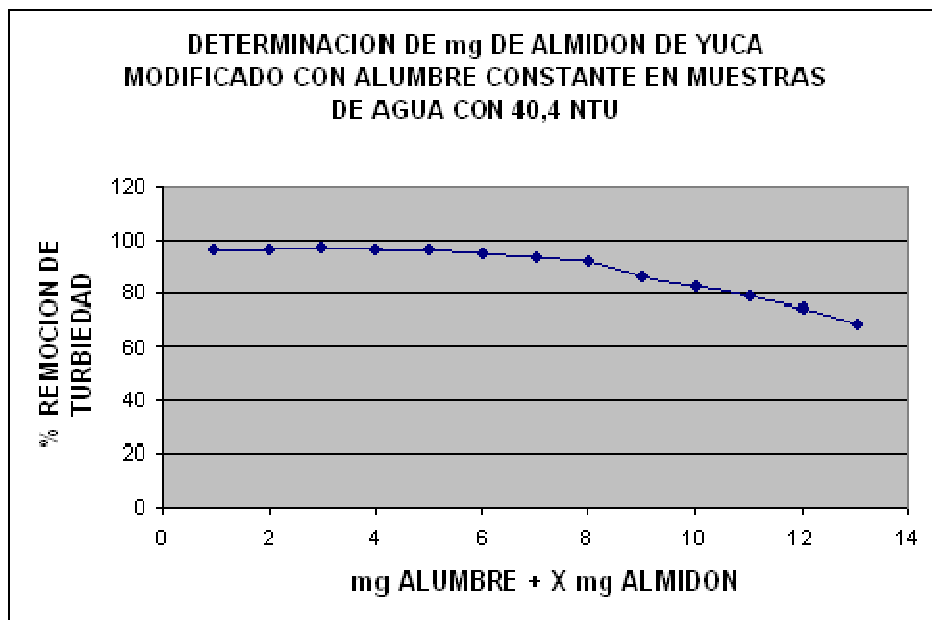
Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 6.** Determinar de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 40.4 NTU – TURBIEDAD (NTU)



Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 7.** Determinar de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 40.4 NTU – % REMOCION (TURBIEDAD)



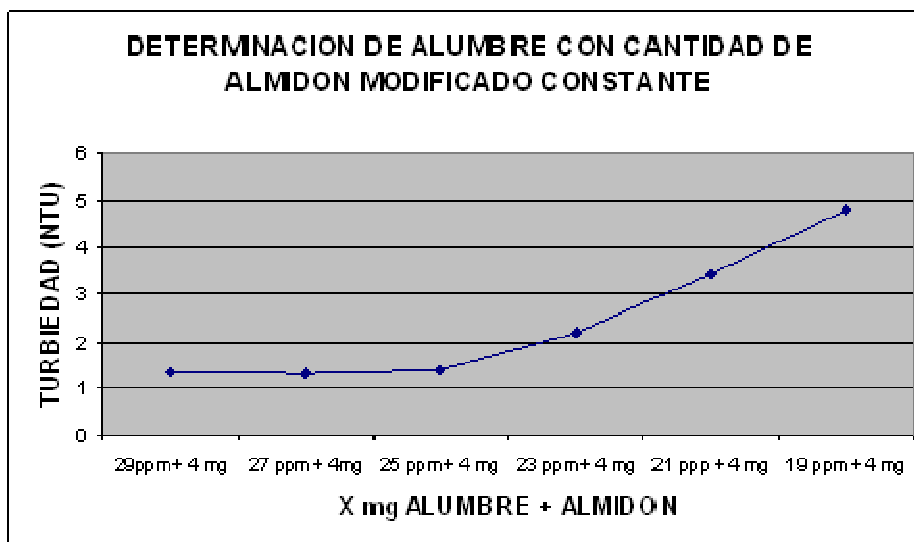
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 10.** Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 40.4 (NTU)

<b>X ALUMBRE + ALMIDÓN CTE</b>	<b>TURBIEDAD</b>	<b>% DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD</b>
29 ppm +4 mg	1.37	97.57
<b>27ppm+4mg</b>	<b>1.35</b>	<b>96.65</b>
25ppm+4mg	1.40	96.53
23ppm+4mg	2.20	94.55
21 ppm+4mg	3.42	91.58
19 ppm +4mg	4.8	88.11

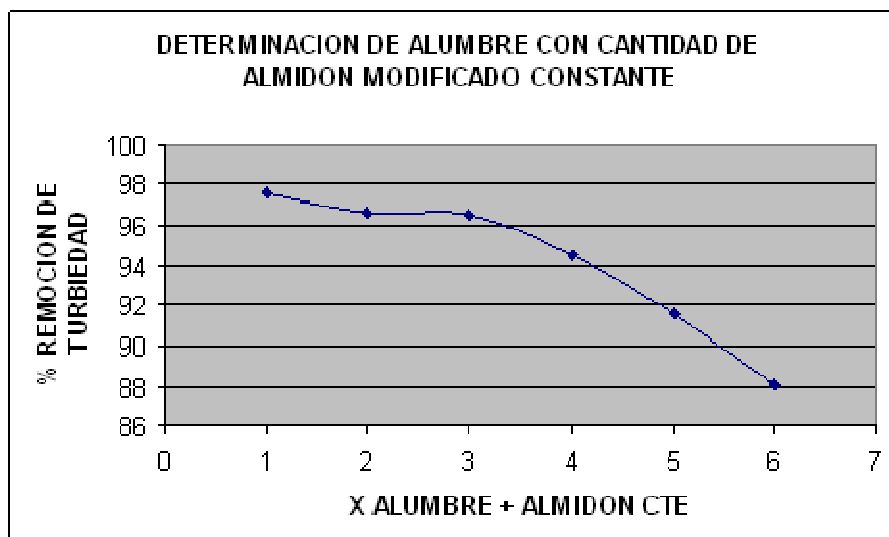
Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 8.** Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 40.4 (NTU) – TURBIEDAD (NTU)



Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 9.** Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 40.4 (NTU) – % REMOCION TURBIEDAD



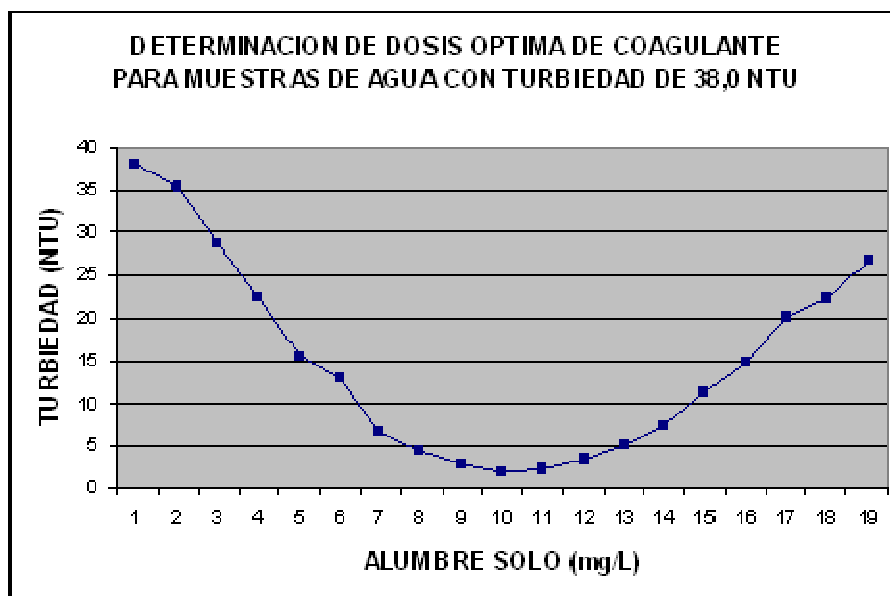
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 11.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 38.0 (NTU)

CONCENTRACIÓN ALUMBRE SOLO MG/L	TURBIEDAD (NTU)	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
0	38.0	0.00
5	35.4	6.84
7	28.7	29.47
9	22.60	40.5
11	15.41	59.47
13	12.80	66.31
15	6.72	82.36
17	4.31	88.36
19	2.80	92.63
21	1.92	95.00
23	2.21	94.21
25	3.41	91.21
27	5.20	88.31
<b>29</b>	<b>7.40</b>	<b>80.52</b>
31	11.22	70.52
33	14.70	91.31
35	20.12	47.10
37	22.4	41.05
39	26.82	29.47

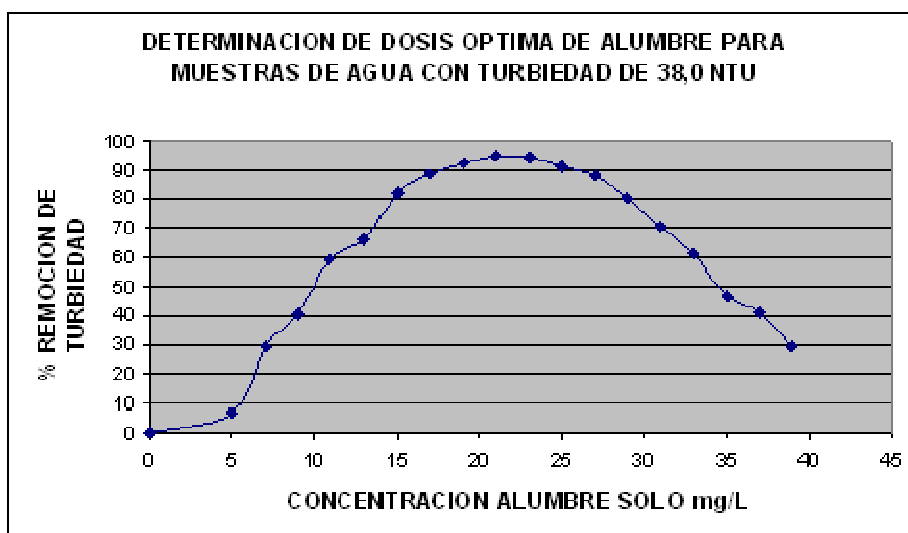
Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 10.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 38.0 (NTU) - TURBIEDAD (NTU)



Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 11.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 38.0 (NTU) - % REMOCION TURBIEDAD



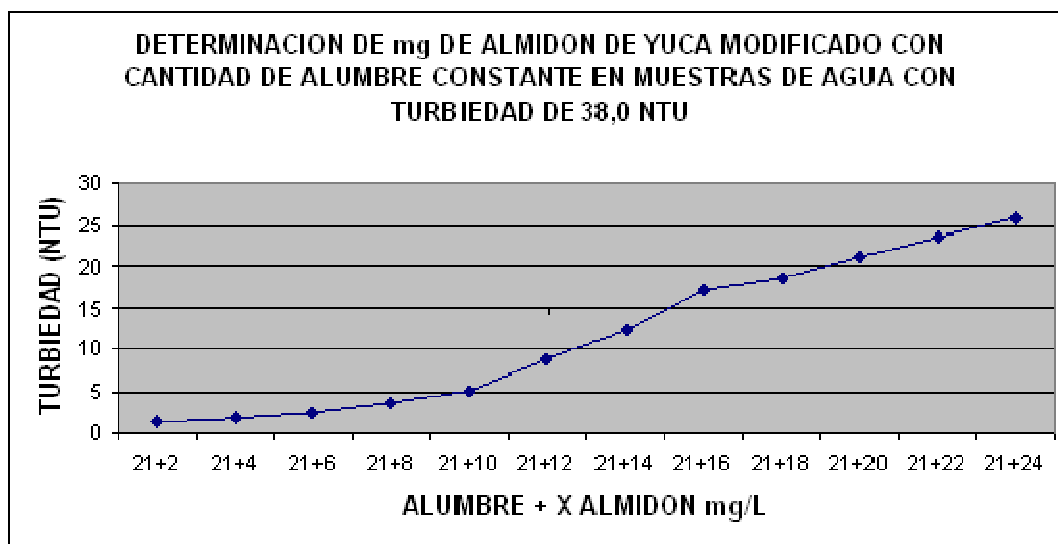
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 12.** Determinación de mg de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU

ALUMBRE + X ALMIDÓN MG/L	TURBIEDAD (NTU)	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
21+2	1.5	96.05
21+4	1.9	95.00
21+6	2.6	93.15
21+8	3.8	90.00
21+10	5.2	86.31
21+12	8.8	76.84
21+14	12.4	67.36
21+16	17.2	54.73
21+18	18.6	51.05
21+20	21.1	44.47
21+22	23.6	37.89
21+24	25.7	32.36

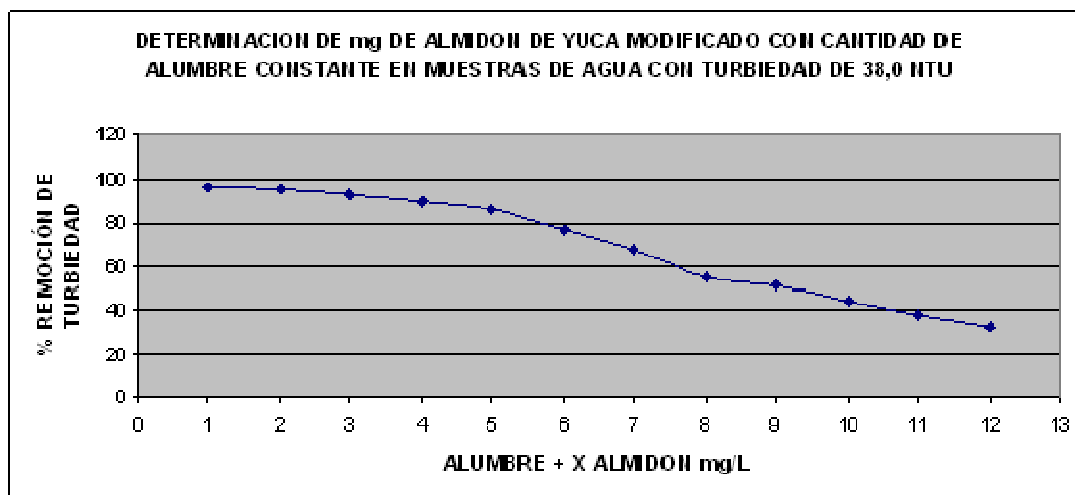
Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 12.** Determinación de mg de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU - TURBIEDAD



Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 13.** Determinación de mg de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU - % REMOCION TURBIEDAD



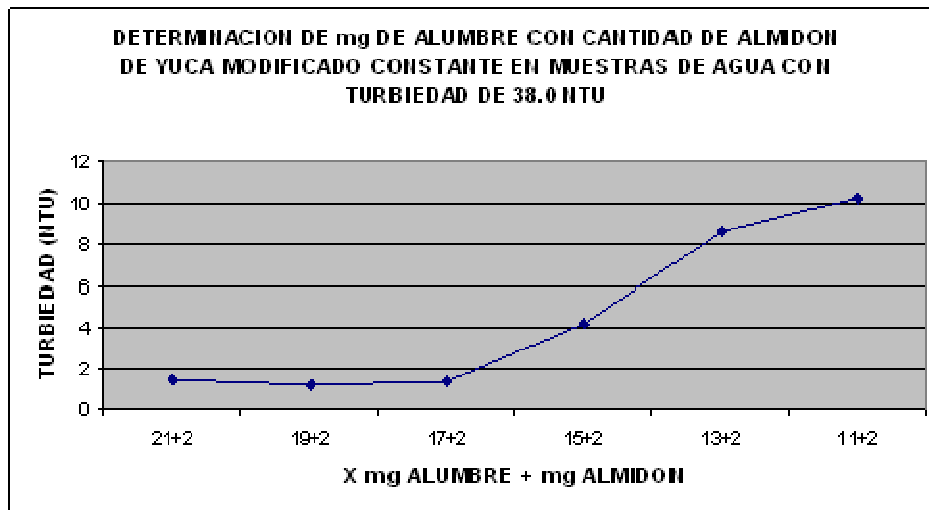
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 13.** Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón de yuca modificado constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU

X ALUMBRE + ALMIDÓN CTE MG/L	TURBIEDAD ( NTU)	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
21+2	1.5	96.05
19+2	1.2	96.84
17+2	1.4	96.31
15+2	4.2	88.94
13+2	8.6	77.36
11+2	10.2	73.15

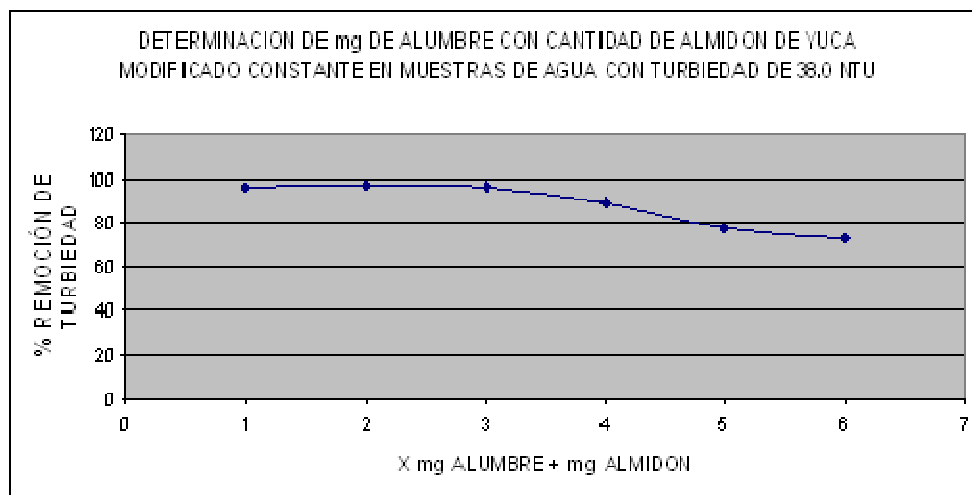
Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 14.** Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón de yuca modificado constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU - TURBIEDAD (NTU)



Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 15.** Determinación de mg de alumbre con cantidad de almidón de yuca modificado constante en muestras de agua con turbiedad de 38.0 NTU - TURBIEDAD (NTU)



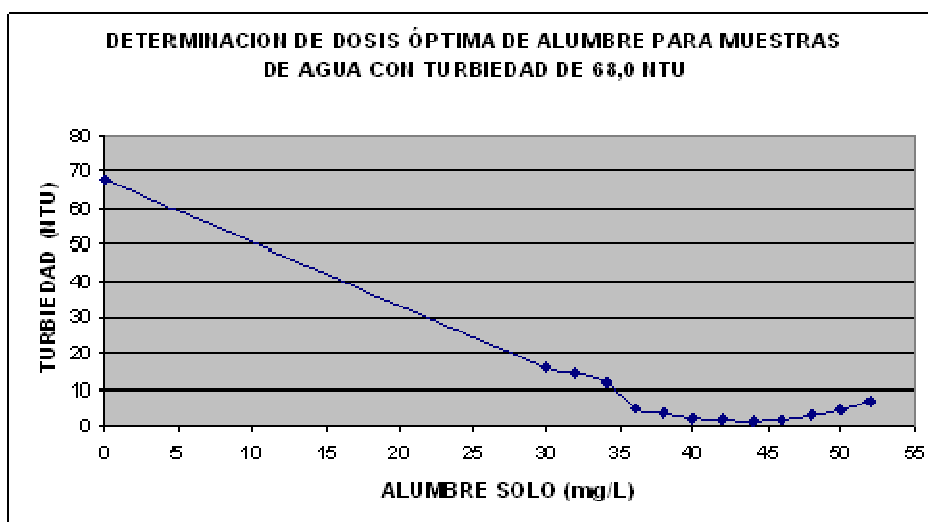
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 14.** Determinar de dosis óptica de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 68.0 NTU.

CONCENTRACIÓN DE ALUMBRE SOLO MG/L	TURBIEDAD (NTU)	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
0	68.0	0.00
30	16.00	76.47
32	14.70	78.38
34	11.80	82.64
36	5.20	92.35
38	3.71	94.55
<b>40</b>	<b>2.40</b>	<b>96.47</b>
42	1.70	97.50
44	1.50	97.79
46	1.80	93.52
48	3.17	95.44
50	4.62	93.23
52	7.25	89.41

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 16.** Determinar de dosis óptica de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 68.0 NTU – TURBIEDAD (NTU)



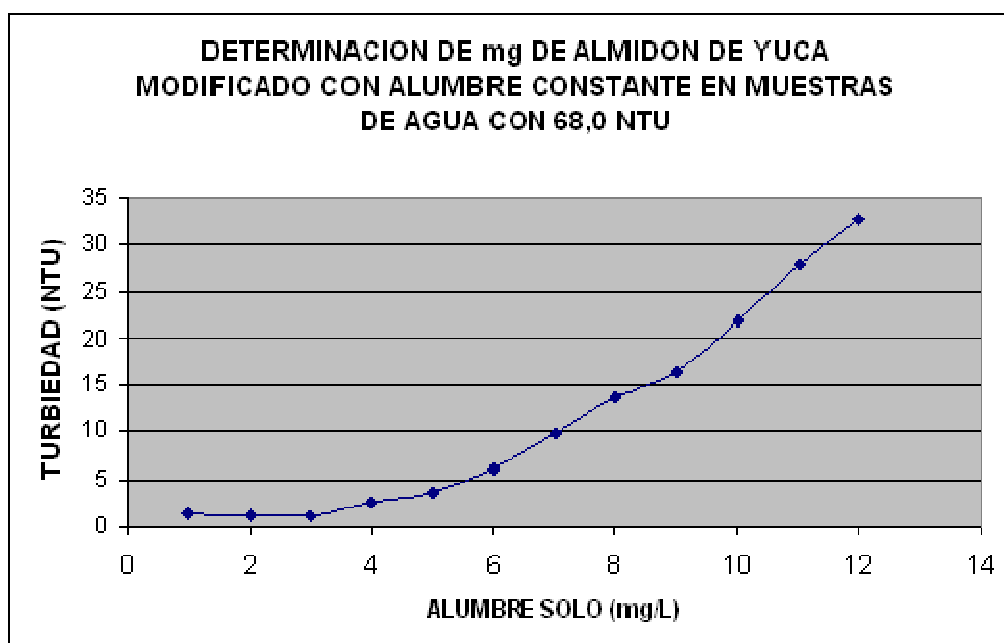
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 15.** Determinación de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 68.0 NTU

ALUMBRE +X ALMIDÓN MG/L	TURBIEDAD ( NTU)	% DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD
44+2	1.35	98.01
44+4	1.20	98.23
44+6	1.17	98.27
44+8	2.60	96.17
44+10	3.80	94.41
44+12	6.20	90.88
44+14	9.81	85.88
44+16	13.72	79.85
44+18	16.42	75.88
44+20	21.75	68.08
44+22	27.83	59.11
44+24	32.64	52.05

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 17.** Determinación de mg de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 68.0 NTU



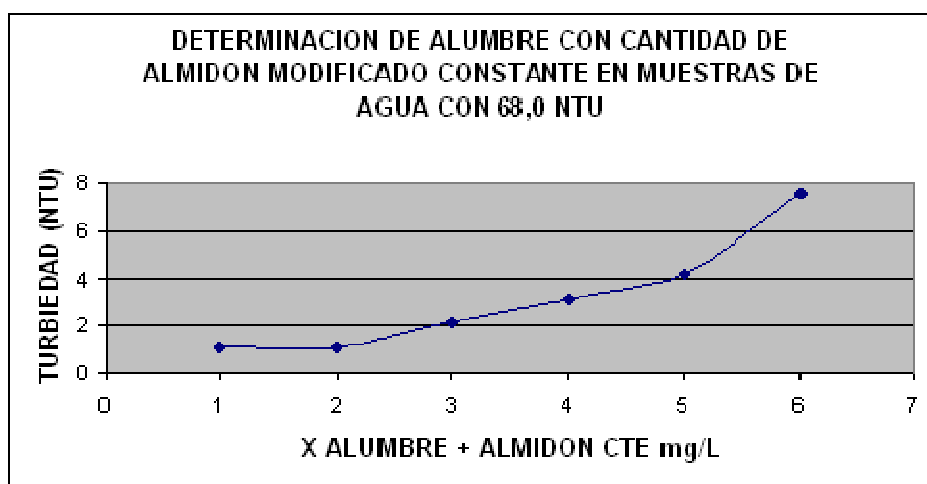
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 16.** Determinar de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 68.0 NTU

X ALUMBRE + ALMIDÓN CTE MG/L	TURBIEDAD (NTU)	% DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD
44+6	1.17	98.27
42+6	1.12	98.35
40+6	2.20	96.76
38+6	3.15	95.36
36+6	4.23	93.77
34+6	7.52	88.94

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 18.** Determinar de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 68.0 NTU – TURIBEDAD



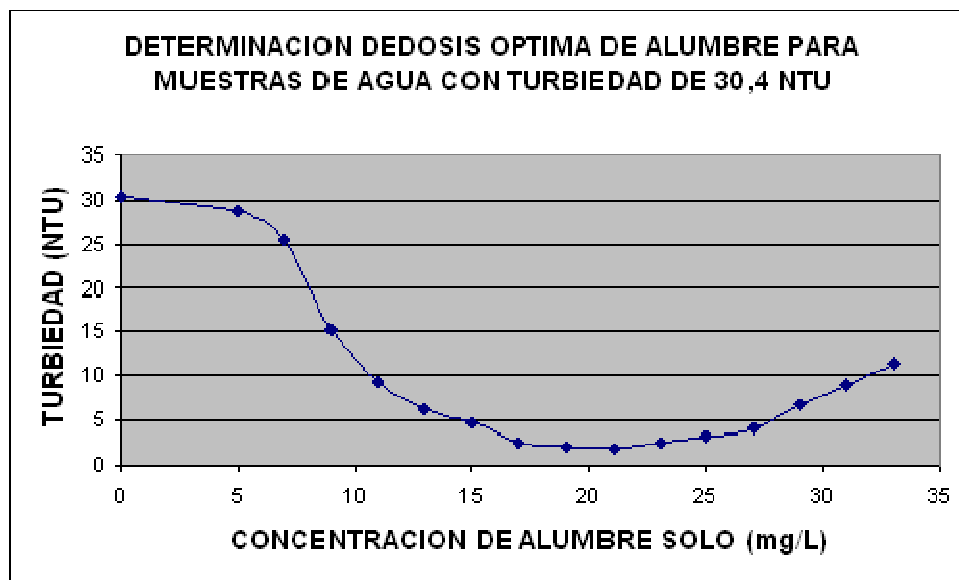
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 17.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 30.4 NTU

CONCENTRACIÓN DE ALUMBRE SOLO MG/L	TURBIEDAD ( NTU)	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
0	30.4	0.00
5	28.71	5.59
7	25.45	16.44
9	15.22	50.00
11	9.46	69.87
13	6.25	79.60
15	4.71	84.53
17	2.63	91.44
19	2.25	92.76
21	1.93	93.75
23	2.65	91.44
25	3.22	89.47
27	4.25	86.18
29	6.83	77.63
31	8.92	70.72
33	11.43	62.53

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 19.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 30.4 NTU



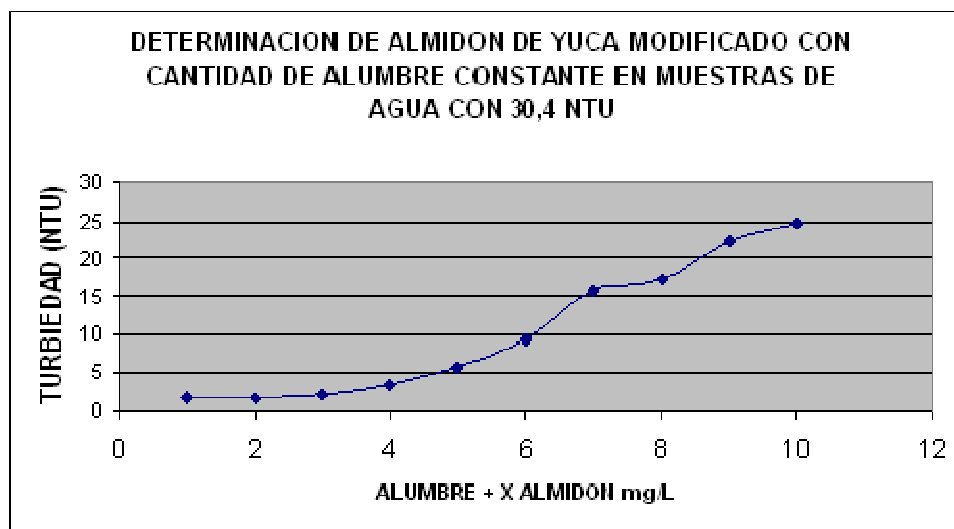
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 18.** Determinación de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestra de agua con 30.4 NTU

Alumbre + X almidón mg/L	Turbiedad (NTU)	% remoción de turbiedad
21+2	1.85	93.91
21+4	1.72	94.40
21+6	2.23	92.76
21+8	3.65	88.15
21+10	5.80	80.92
21+12	9.42	69.07
21+14	15.72	48.35
21+16	17.24	43.42
21+18	22.43	26.31
21+20	24.62	19.07

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 20.** Determinación de almidón de yuca modificado con cantidad de alumbre constante en muestra de agua con 30.4 NTU



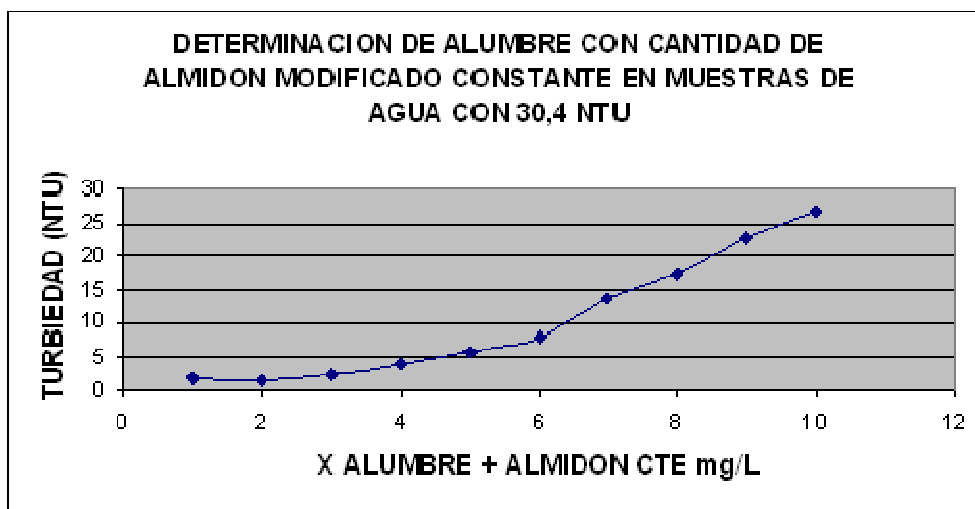
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 19.** Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 30.4 NTU

X ALUMBRE + ALMIDÓN CTE MG/L	TURBIEDAD ( NTU)	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
21+4	1.70	94.40
19+4	1.62	94.67
17+4	2.40	92.10
15+4	3.80	87.50
13+4	5.72	81.18
11+4	7.92	73.94
09+4	13.75	54.76
07+4	17.42	42.69
05+4	22.63	25.55
03+4	26.52	12.76

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 21.** Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 30.4 NTU - TURBIEDAD



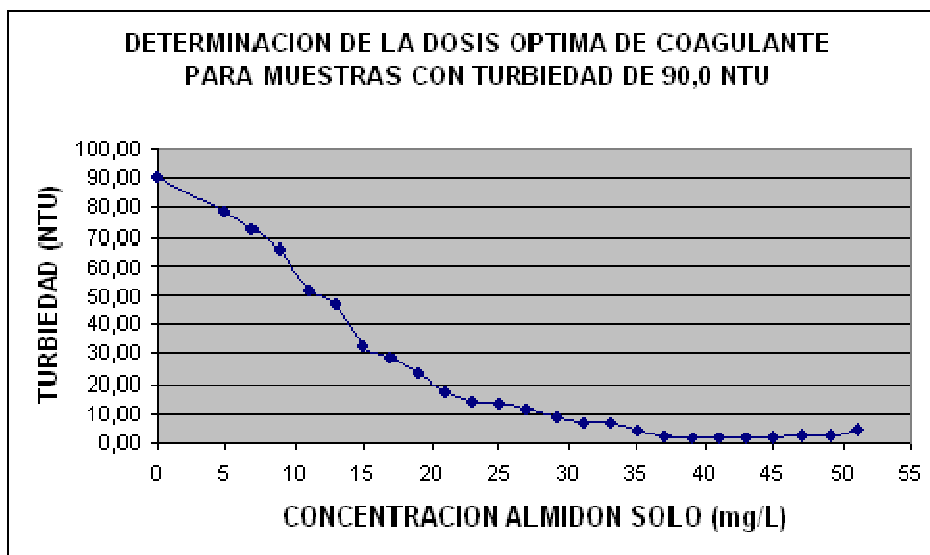
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 20.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 90.0 NTU

<b>CONCENTRACIÓN DE ALUMBRE SOLO EN MG/L</b>	<b>TURBIEDAD NTU</b>	<b>% REMOCIÓN DE TURBIEDAD</b>
0	90.00	0.00
5	78.45	11.11
7	72.40	19.50
9	65.71	27.00
11	52.20	42.00
13	47.40	47.30
15	32.60	63.77
17	28.91	67.88
19	23.40	74.00
21	17.80	80.22
23	14.70	83.66
25	13.91	84.55
27	11.80	86.88
29	9.44	89.55
31	7.25	92.00
33	6.93	92.33
35	4.80	97.00
37	2.70	97.55
39	2.22	97.88
41	1.90	97.66
43	1.95	97.27
45	2.10	94.64
47	2.33	97.41
49	2.45	97.27
51	4.82	94.64

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 22.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 90.0 NTU



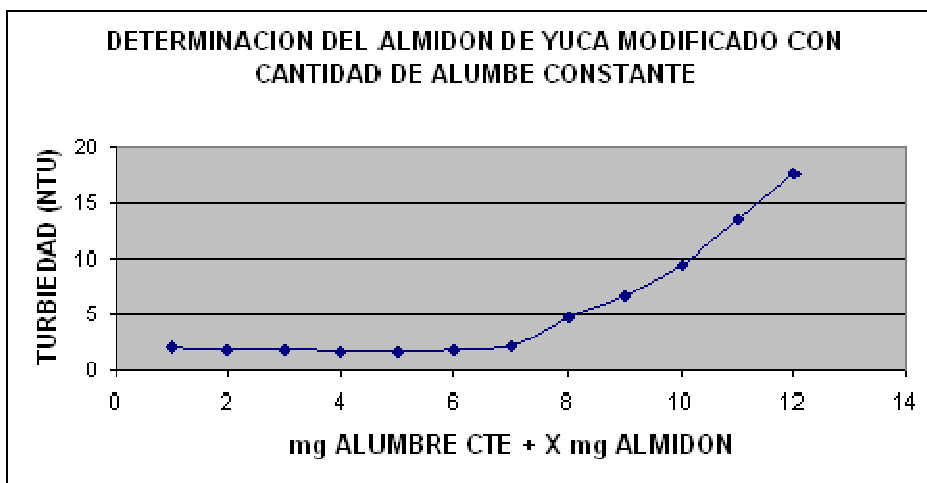
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 21.** Determinación de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 90.0 NTU

ALUMBRE + X ALMIDÓN MG/L	TURBIEDAD (NTU)	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
41+2.00	2.10	97.66
41+4.00	1.98	97.88
41+6.00	1.82	97.97
41+8.00	1.80	98.00
41+10.0	1.77	98.03
41+12.0	1.88	97.91
41+14.0	2.20	97.55
41+16.0	4.80	94.66
41+18.0	6.72	92.55
41+20.0	9.40	89.55
41+22.0	13.40	85.11
41+24.0	17.60	80.44

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 23.** Determinación de almidón de yuca modificado con alumbre constante en muestras de agua con 90.0 NTU



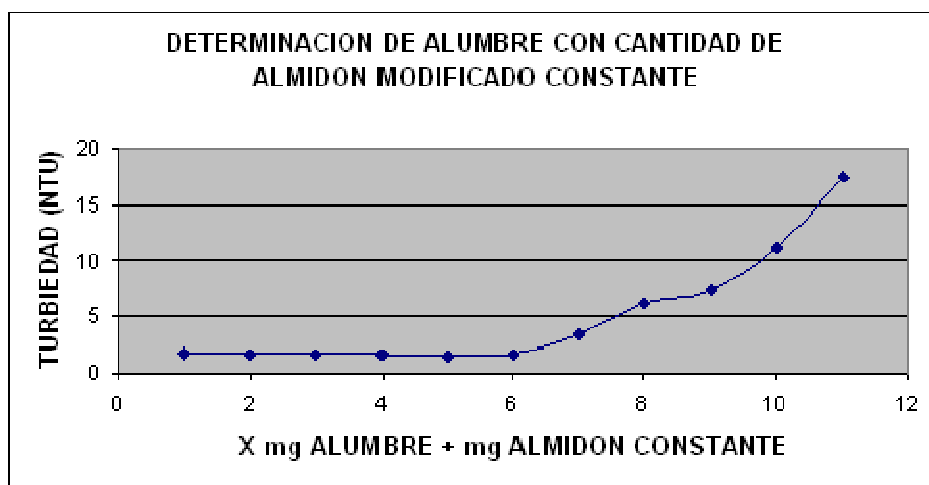
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 22.** Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 90.0 NTU

X ALUMBRE + ALMIDÓN MG/L	TURBIEDAD NTU	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
41+10	1.77	98.03
39+10	1.75	98.05
37+10	1.74	98.06
35+10	1.68	98.13
33+10	1.57	98.25
31+10	1.80	98.00
29+10	3.40	96.22
27+10	6.20	93.11
25+10	7.40	91.77
23+10	11.20	87.55
21+10	17.40	80.66

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 24.** Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 90.0 NTU



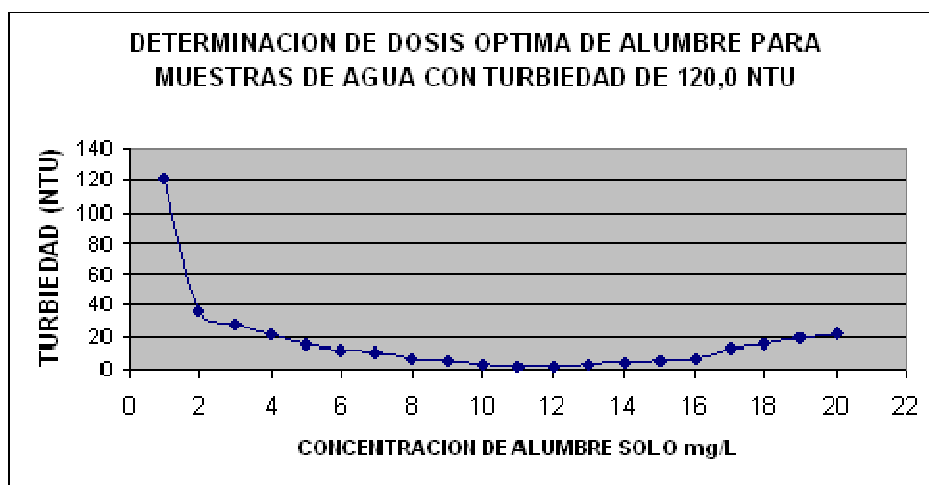
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 23.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 120.0 NTU

CONCENTRACIÓN DE ALUMBRE SOLO MG/L	TURBIEDAD NTU	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
0	120	0.00
30	36.40	64.66
32Cc	27.70	76.91
34	21.80	81.83
36	15.40	87.16
38	11.70	90.25
40	10.80	91.00
42	7.60	93.66
44	5.80	95.16
46	3.70	96.91
48	2.55	97.83
50	2.60	97.41
52	3.10	96.08
54	4.70	95.25
56	5.70	93.41
58	7.93	88.83
60	13.40	86.33
62	16.42	83.58
64	19.70	82.48
66	22.60	81.16

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 25.** Determinación de dosis óptima de alumbre para muestras de agua con turbiedad de 120.0 NTU



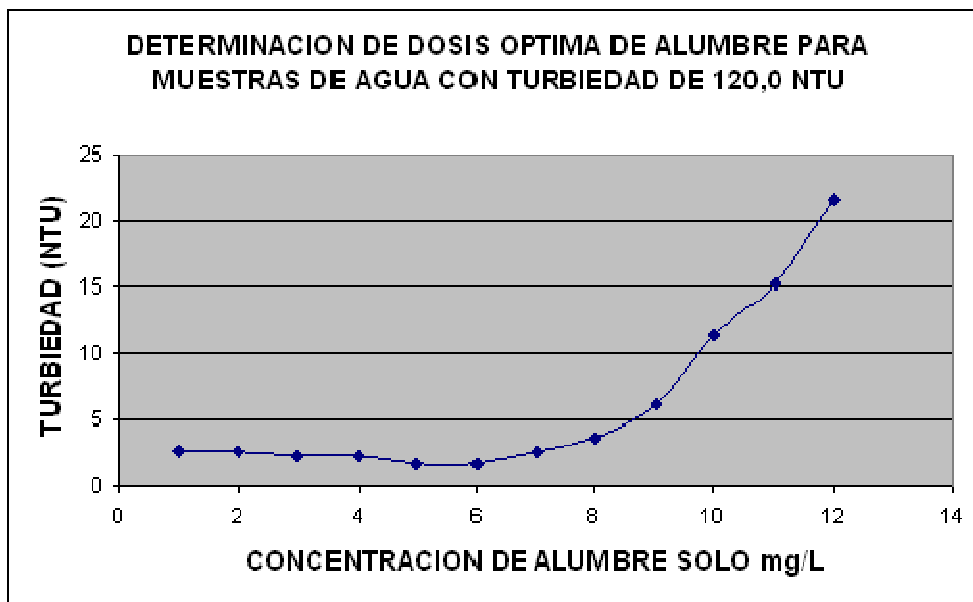
Fuente: Autor del Proyecto

**Tabla 24.** Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 120.0 NTU

X ALUMBRE + ALMIDÓN MG/L	TURBIEDAD (NTU)	% REMOCIÓN DE TURBIEDAD
48+10	1.70	98.58
46+10	1.66	98.61
44+10	1.58	98.68
42+10	1.44	98.80
40+10	1.52	98.73
38+10	2.20	98.16
36+10	4.60	96.16
34+10	6.20	94.83
32+10	9.70	91.91
30+10	14.60	87.83
28+10	21.40	82.16
26+10	32.10	73.25

Fuente: Autor del Proyecto

**Figura 26.** Determinación de alumbre con cantidad de almidón modificado constante en muestras de agua con 120.0 NTU



Fuente: Autor del Proyecto

## 9. ANALISIS DE RESULTADOS

- Al realizar la reacción de la alumina que hay en las latas de cerveza con el ácido sulfúrico comercial pudimos constatar que al obtener el sulfato de aluminio se obtiene una gran eficiencia en la reacción.
- El alumbre obtenido al compararlo con el utilizado en los acueductos presentan una eficiencia y un comportamiento muy parecido como se puede observar en las diferentes tablas y gráficas.
- El sulfato de aluminio líquido utilizado en el acueducto presenta una mayor concentración que los otros dos trabajados.
- El sulfato de aluminio obtenido en el laboratorio presenta una gran solubilidad y una muy buena estabilidad debido a que se puede utilizar la solución después de 24 horas.
- La reacción que se presenta es muy fuerte debido a que la cantidad de hidrógeno liberado es mucha y esto se ve reflejado en el cambio de temperatura del material utilizado.
- La velocidad de sedimentación del alumbre obtenido con respecto al utilizado en el acueducto es mucho mayor y se pudo verificar en las diferentes pruebas de jarras.
- Para poder realizar unas buenas pruebas de jarras hay que ajustar el pH a 8,2 aproximadamente cualquiera sea el alumbre utilizado.

## 10. SUGERENCIAS

- Realizar la reacción con las normas de bioseguridad requeridas y con la utilización de una campana extractora.
- Diseñar una campana para capturar todo el hidrogeno liberado y darle un buen uso.
- Mediante la formula  $Q= m C_p T_f - T_i$ , podríamos calcular la cantidad de calorías que se presenta en cada reacción para así darle un mejor uso.
- Realizar a una mayor escala el procedimiento para analizar su viabilidad económica con datos reales.
- Sistematizar el procedimiento.
- Diseñar una mejor maquinaria para realizar los cortes y la limpieza de las latas.
- Reciclar el acido sulfúrico contaminado para así poderlo reutilizarlo.
- Realizar proyectos interdisciplinarios el cual integre los diferentes programas de la UIS, que nos lleve a tener un gran aporte en la investigación.

## BIBLIOGRAFIA

1. AMERICA WATER WORK ASSOCIATION & ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Polyelectrolytes aids to better water quality. Chicago: EPA. June 1972 p. 30
2. ARBOLEDA V. Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: ACODAL. 1994
3. CRICHTON, R. R. Investigaciones sobre los efectos del aluminio en el hombre. En: Unite de Biochimic. 1997
4. PEREZ, Jorge Arturo. Manual de potabilización del agua. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 1982
5. T. P, Flaten y A. C. Alfrey. Status and environmental aluminium toxicologic, Norway: Heal. 1969.
6. Decreto 475 del 10 de marzo de 1998. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. República de Colombia.
7. DE LA PEÑA, L; LOPEZ, S. Obtención de coagulantes de origen natural para el tratamiento fisicoquímico de efluentes industriales. México: Instituto Tecnológico de Durango. 1994.

## Anexo A. Registro Fotográfico



1



2



3



4



5



6



7



8



9