

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE  
AMAZONAS"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**"DETERMINAR LA INFLUENCIA DE DOS MATERIAS  
PRIMAS COAGULANTES EN EL ALUMINIO RESIDUAL DEL  
AGUA TRATADA DEL DISTRITO DE PEDRO RUIZ GALLO."**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**Bach. Julio Cesar, SAMAME VIDAURRE**

**ASESOR:**

**Ing. Jefferson Fitzgerald REYES FARJE**

**CHACHAPOYAS - PERÚ - 2016**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE  
AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DETERMINAR LA INFLUENCIA DE DOS MATERIAS  
PRIMAS COAGULANTES EN EL ALUMINIO RESIDUAL DEL  
AGUA TRATADA DEL DISTRITO DE PEDRO RUIZ GALLO**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

Bach. JULIO CESAR SAMAME VIDAURRE

**ASESOR:**

ING. JEFFERSON FITZGERALD REYES FARJE

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2016**

## DEDICATORIA

*A Dios por la vida y a mi esposa e  
hija por su incondicional apoyo,  
sacrificio y amor dedicado a lo  
largo de toda mi formación  
profesional.*

*Julio César*

*A Dios por la existencia, a mis padres y  
familia por el respaldo y cariño  
brindado a lo largo de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje a quien expreso mi gratitud por su decidido apoyo y asesoramiento en la culminación del presente trabajo, al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza y el agradecimiento a todo el personal administrativo del laboratorio de química de la universidad por la contribución para hacer posible la realización de la presente tesis.

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA**

*Rector*

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES**

*Vicerrector Académico*

**Dra. MARIA NELLY LUJAN ESPINOZA**

*Vicerrector de Investigación*

**Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN**

*Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental*

## VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, Ing. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, asesor de la tesis:

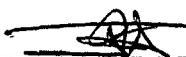
**“DETERMINAR LA INFLUENCIA DE DOS MATERIAS PRIMAS COAGULANTES EN EL ALUMINIO RESIDUAL DEL AGUA TRATADA DEL DISTRITO DE PEDRO RUIZ GALLO”**, el presente trabajo de investigación desarrollado se ajusta a los lineamientos y diseño aprobado por la Universidad Nacional “Toribio Rodríguez de Mendoza”, concordante con el reglamento de titulación correspondiente

Presentado por el Bachiller:

JULIO CESAR SAMAME VIDAURRE

Habiendo revisado el informe final de la tesis en mención doy la conformidad y el visto bueno, considero que el presente trabajo reúne las condiciones esenciales de un trabajo de investigación y está apto para ser sustentado.

Chachapoyas, 1 de agosto del 2016.

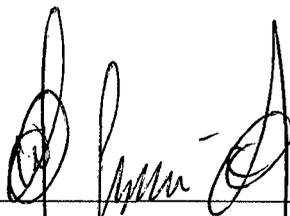


---

Ing. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Asesor de Tesis

**JURADO EVALUADOR**



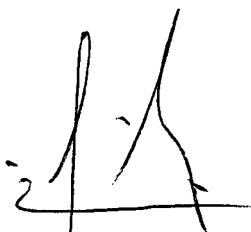
---

**Ing. WAGNER GUZMÁN CASTILLO**  
**PRESIDENTE**



---

**Lic. JOSÉ LUIS QUISPE OSORIO**  
**SECRETARIO**



---

**Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN**  
**VOCAL**

## ÍNDICE GENERAL

|  |     |
|--|-----|
| DEDICATORIA                                    | ii  |
| AGRADECIMIENTO                                 | iii |
| AUTORIDADES UNIVERSITARIAS                     | iv  |
| VISTO BUENO DEL ASESOR                         | v   |
| JURADO EVALUADOR                               | vi  |
| INDICE   | vii |
| LISTA DE FIGURAS                               | x   |
| LISTA DE TABLAS                                | xi  |
| RESUMEN  | xii |
| ABSTRACT                                       | xii |
| I. INTRODUCCIÓN                                | 1   |
| 1.1. Realidad problemática                     | 2   |
| 1.2. Formulación del problema                  | 3   |
| 1.3. Justificación                             | 3   |
| II. OBJETIVOS                                  | 6   |
| 2.1. Objetivo general                          | 6   |
| 2.2. Objetivos específicos                     | 6   |
| III. MARCO TEÓRICO                             | 7   |
| 3.1. Antecedentes del problema                 | 7   |
| 3.2. Base teórica                              | 8   |
| 3.2.1. Agua potable                            | 8   |
| 3.2.2. Características fisicoquímicas del agua | 9   |
| 3.2.2.1. Turbidez                              | 10  |
| 3.2.2.2. Color                                 | 11  |
| 3.2.2.3. Sabor y olor                          | 11  |
| 3.2.2.4. Temperatura                           | 12  |
| 3.2.2.5. pH                                    | 12  |
| 3.2.3. Sulfato de aluminio                     | 12  |
| 3.2.4. Clarificación del agua                  | 13  |
| 3.2.5. Coagulación                             | 13  |
| 3.2.6. Factores que influyen en la coagulación | 13  |
| 3.2.7. Factores que influyen en la floculación | 15  |
| 3.2.8. Sedimentación                           | 16  |
| 3.2.9. Agentes coagulantes                     | 17  |
| 3.2.10. Clases de coagulantes                  | 17  |
| 3.2.10.1. Polielectrolitos                     | 17  |
| 3.2.10.2. Coagulantes metálicos                | 18  |
| 3.2.10.2.1. Sales de aluminio                  | 18  |
| 3.2.11. Fases de coagulación                   | 22  |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.12. Mezcla rápida  | 23 |
| 3.2.13. Factores que influyen en el proceso  | 23 |
| 3.2.14. Ensayos para el control del proceso de coagulación   | 23 |
| 3.2.15. Floculación  | 24 |
| 3.2.16. Sedimentación  | 24 |
| 3.2.17. Filtración   | 24 |
| 3.2.18. Desinfección   | 25 |
| 3.2.19. El cloro como desinfectante  | 26 |
| 3.2.20. Revisión de los estudios sobre la exposición al aluminio y enfermedad del Alzheimer                    | 26 |
| 3.2.20.1. Enfermedad del Alzheimer   | 26 |
| 3.2.20.2. Estudios que evalúa el efecto de la exposición al aluminio a través del agua de bebida               | 28 |
| 3.3. Variable de estudio   | 30 |
| 3.4. hipótesis   | 31 |
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS   | 32 |
| 4.1. Diseño de contrastación de la hipótesis   | 32 |
| 4.2. Población y muestra   | 32 |
| 4.3. Unidad experimental   | 32 |
| 4.4. Muestras de agua  | 32 |
| 4.5. Prueba de jarra   | 34 |
| 4.5.1. Determinación de la dosis optima de coagulante  | 34 |
| 4.5.2. Efectos de cada uno de los coagulantes de aluminio residual   | 34 |
| 4.6. Cálculo de la dosis   | 35 |
| 4.7. Diseño de investigación   | 36 |
| 4.8. Área de estudio   | 36 |
| 4.9. Muestreo y análisis   | 38 |
| 4.10. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos   | 38 |
| 4.10.1. Método de investigación.   | 39 |
| 4.10.1.1. Trabajo de campo   | 39 |
| 4.10.1.2. Trabajo de laboratorio   | 40 |
| 4.11. Análisis de datos  | 40 |
| 4.12. Análisis estadístico   | 41 |
| V. RESULTADOS  | 42 |
| 5.1. Primera fase: Ensayos de tratabilidad con sulfato de aluminio tipo B 500                                  | 42 |
| 5.1.1. Resultados de los ensayos con sulfato de aluminio tipo B 500 con muestras de agua en volumen de 3.500ml | 42 |
| 5.1.2. Análisis de los resultados del comportamiento de la turbiedad con sal sulfato de aluminio tipo B500     | 43 |
| 5.1.3. Análisis de los resultados del comportamiento del color con sulfato de aluminio tipo B 500              | 46 |

|   |    |
|---|----|
| 5.1.4. Análisis de los resultados del comportamiento del pH con sulfato de aluminio tipo B 500                | 48 |
| 5.1.5. Análisis de los resultados del comportamiento del aluminio residual con sulfato de aluminio tipo B 500 | 50 |
| 5.2. Segunda fase: Ensayo de tratabilidad con Policloruro de Aluminio (PAC)                                   | 51 |
| 5.2.1. Resultados de los ensayos con Policloruro de Aluminio (PAC) con muestras de agua en volumen de 3.500ml | 51 |
| 5.2.2. Análisis de los resultados del comportamiento de la turbiedad con PAC                                  | 52 |
| 5.2.3. Análisis de los resultados del comportamiento del color con PAC  | 55 |
| 5.2.4. Análisis de los resultados del comportamiento del pH con PAC   | 57 |
| 5.2.5. Análisis de los resultados del comportamiento de aluminio residual con PAC                             | 59 |
| VI. DISCUSIÓN   | 60 |
| VII. CONCLUSIONES   | 65 |
| VIII. RECOMENDACIONES   | 67 |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS  | 68 |
| ANEXOS  | 71 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación nacional del distrito de Pedro Ruiz Gallo                    | 37 |
| <b>Figura 2.</b> Ubicación regional y distrital   | 37 |
| <b>Figura 3.</b> Ubicación distrital: Distrito de Pedro Ruiz Gallo                      | 38 |
| <b>Figura 4.</b> comportamiento de turbiedad con sulfato de aluminio tipo B 500         | 43 |
| <b>Figura 5.</b> Comportamiento del color con sulfato de aluminio tipo B 500            | 45 |
| <b>Figura 6.</b> Comportamiento del pH con sulfato de aluminio tipo B 500               | 48 |
| <b>Figura 7.</b> Comportamiento del aluminio residual con sulfato de aluminio tipo B500 | 49 |
| <b>Figura 8.</b> Resultado de los ensayos con sulfato de aluminio tipo B500             | 50 |
| <b>Figura 9.</b> Comportamiento de turbiedad con PAC                                    | 52 |
| <b>Figura 10.</b> Comportamiento del color con PAC                                      | 54 |
| <b>Figura 11.</b> Comportamiento del pH con PAC   | 56 |
| <b>Figura 12.</b> Comportamiento del aluminio residual con PAC                          | 58 |
| <b>Figura 13.</b> Resultado de los ensayos de jarras con policloruro de aluminio (PAC)  | 59 |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Características del agua   | 9  |
| <b>Tabla 2.</b> Clasificación de los polielectrolitos  | 18 |
| <b>Tabla 3.</b> Requisitos químicos del Sulfato de Aluminio granulado tipo B.                | 21 |
| <b>Tabla 4.</b> Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica           | 33 |
| <b>Tabla 5.</b> Métodos utilizados para determinar los parámetros fisicoquímicos de calidad. | 33 |
| <b>Tabla 6.</b> Dosis empleada de sal sulfato de aluminio tipo B 500                         | 42 |
| <b>Tabla 7.</b> Comportamiento de la turbiedad con sulfato de aluminio tipo B 500            | 42 |
| <b>Tabla 8.</b> Porcentaje de remoción de la turbiedad con sulfato de aluminio tipo B 500    | 42 |
| <b>Tabla 9.</b> Comportamiento del color con sulfato de aluminio tipo B 500                  | 44 |
| <b>Tabla 10.</b> Porcentaje de remoción de color con sulfato de aluminio tipo B 500          | 45 |
| <b>Tabla 11.</b> Comportamiento del pH con sulfato de aluminio tipo B 500                    | 48 |
| <b>Tabla 12.</b> Comportamiento del aluminio residual con sulfato de aluminio tipo B 500     | 49 |
| <b>Tabla 13.</b> Dosis empleada de sal policloruro de aluminio (PAC)                         | 51 |
| <b>Tabla 14.</b> Comportamiento de la turbiedad con PAC                                      | 51 |
| <b>Tabla 15.</b> Porcentaje de remoción de la turbiedad con policloruro de aluminio (PAC).   | 51 |
| <b>Tabla 16.</b> Comportamiento del color con policloruro de aluminio (PAC).                 | 53 |
| <b>Tabla 17.</b> Remoción de color con policloruro de aluminio (PAC).                        | 54 |
| <b>Tabla 18.</b> Comportamiento del pH con policloruro de aluminio (PAC).                    | 56 |
| <b>Tabla 19.</b> Comportamiento del aluminio residual con policloruro de aluminio (PAC)      | 58 |

## RESUMEN

En este estudio se realizaron ensayos de tratabilidad con dos materias primas coagulantes: Sulfato de Aluminio tipo B 500 y Policloruro de Aluminio (PAC), para evaluar la influencia de los coagulantes y determinar la dosis óptima requeridas para la remoción de turbiedad, color y aluminio residual en diferentes muestras del agua tratada, que según la norma DS N° 031-2010-SA., establece el límite máximo permisible de 0,2 ppm  $Al^{+3}$ . El estudio plantea como problema cuál de estos coagulantes ocasiona un mayor aumento en la concentración de aluminio residual del agua filtrada del distrito de Pedro Ruiz Gallo y como objetivo general determinar la influencia de los coagulantes: sulfato de aluminio Tipo B 500 y policloruro de aluminio (PAC), en el aluminio residual del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz Gallo, a través de la hipótesis de investigación la aplicación de dos materias primas coagulantes: sulfato de aluminio tipo B 500 y policloruro de aluminio, si influyen significativamente en el aluminio residual del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz Gallo. La metodología que se empleo fue mediante el test de jarras tomando como base el cumplimiento al DS N° 031-2010-SA, Dirección General de Salud Ambiental Perú (DIGESA), comparado con los estándares internacionales, demostrándose la hipótesis que si influyen significativamente la aplicación de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

**Palabras claves:** Turbiedad, Color, pH, ensayos de jarra, parámetro, Aluminio residual.

## ABSTRACT

In this study tests treatability were performed with two coagulants raw materials: Aluminum Sulfate type B 500 and poly aluminum chloride (PAC), to evaluate the influence of coagulants and determine the optimal dose required for the removal of turbidity, color and aluminum residual in different samples of treated water, which the Supreme Decree No. 031-2010-SA. standard establishes the maximum permissible limit of 0.2 ppm  $Al^{+3}$ . The study raises as a problem which of these coagulant causes a greater increase in the concentration of residual aluminum filtered water district Pedro Ruiz Gallo and general objective of determining the influence of coagulants: aluminum sulphate Type B 500 and poly aluminum chloride ( PAC) in the residual aluminum treated water district Pedro Ruiz Gallo, through the research hypothesis applying two coagulants raw materials: aluminum sulphate type B 500 and poly aluminum chloride, if significantly influence the residual aluminum treated water district Pedro Ruiz Gallo. The methodology used was by jar test based on compliance by DS No. 031-2010-SA, Department of Environmental Health Peru (DIGESA), compared with international standards, proving the hypothesis that if significantly influence the application of two coagulants raw materials in the waste water treated aluminum district Pedro Ruiz Gallo.

Keywords: Turbidity, Color, pH, tests pitcher, parameter, residual aluminum.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación (o flotación) y filtración.

La remoción de las partículas coloidales está relacionada estrictamente con una adecuada coagulación, pues de ella depende la eficiencia de las siguientes etapas: floculación, sedimentación y filtración.

La coagulación está fundamentalmente en función de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, movilidad electroforética, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión.

En la actualidad, el creciente interés por el tema ambiental y de salud pública, los estándares internacionales de calidad y medio ambiente ha motivado el surgimiento de nuevas normas que implican una evaluación de los procesos existentes de potabilización y una mayor exigencia ambiental a los nuevos proyectos.

El continuo desarrollo tecnológico e investigativo nos obliga a evolucionar los procesos de tratamientos de aguas. Es importante evaluar nuevos productos que han sido desarrollados con el fin de mejorar el proceso de potabilizar agua "cruda", como también dar a conocer importantes desarrollos tecnológicos en cuanto a nuevos equipos y diferentes alternativas para el tratamiento del agua cruda. Todo esto con el fin de dar un diagnóstico del funcionamiento actual del proceso.

Una de las opciones consideradas para poder alcanzar altos niveles de calidad del agua tratada y desempeño del proceso es el uso de los coagulantes alternativos que han surgido en las últimas décadas. Éstos, son una nueva generación de coagulantes inorgánicos prepolimerizados incluyendo policloruros de aluminio (PAC's), clorhidrato de aluminio (ACH) y polisulfatos de aluminio (PAS), los cuales han mostrado mejor

desempeño que los coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio (alumbre) o cloruro férrico y son, hoy día, ampliamente aplicados para tratamiento de aguas municipales y aguas residuales especialmente en Europa y Asia, hay pocas referencias en la literatura sobre resultados comparativos del funcionamiento de procesos donde se haya remplazado el sulfato de aluminio por un PAC (Cogollo, 2010).

### **1.1. Realidad problemática**

El tratamiento del agua es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda con el fin de remover o reducir sus contaminantes y lograr que sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas cumplan las especificaciones contenidas en las normas que regulan la materia. El agua debe ser tratada debido a la presencia de impurezas como sólidos suspendidos, materiales colorantes, microorganismos, materia orgánica, gases disueltos, minerales y otros.

Las plantas de tratamiento de aguas, independientemente de su tamaño, nivel de sofisticación tecnológica o la calidad actual del agua tratada, necesitan periódicamente introducir cambios en sus procesos para garantizar mejoras en su funcionamiento y en la calidad del agua tratada para estar a la par de los avances en el ramo y cumplir con legislaciones gubernamentales cada día más exigentes. La utilización de los coagulantes más comunes como, por ejemplo, el sulfato de aluminio, se ha venido cuestionando en los últimos tiempos debido, a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación y su relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas.

El agua es uno de los recursos más importantes y escasos que tienen las personas de nuestro país y región, la población se ve obligada a beber agua de fuentes cuya calidad deja mucho que desear ocasionando enfermedades a niños y adultos. El acceso al agua potable es una necesidad primaria y por lo tanto un derecho fundamental al acceso a tener agua potable de calidad especialmente en el distrito de Pedro Ruiz Gallo no se cuenta con este servicio, la presente investigación pretende aportar información en determinar, ¿Cuál es la influencia de dos materias primas coagulantes; sulfato de aluminio tipo B 500 y policloruro de aluminio (PAC), en el aluminio residual del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz Gallo? y utilizarlo en el proceso como alternativa de tratamiento. A pesar de la importancia que tiene la calidad del agua para consumo

humano para la población del distrito, no se pudieron encontrar estudios realizados en dicho lugar, lo que se encontró en la municipalidad distrital de Pedro Ruiz Gallo son informes técnicos de “Mejoramiento del servicio de saneamiento de agua potable y alcantarillado de la localidad de Pedro Ruiz” del año 2010 y 2015 (Anexo 01 y 02) que sirvió como un indicador para el presente trabajo, es por ello que se hace necesario realizar el presente estudio de investigación con el objetivo de determinar la influencia de dos materias primas coagulantes en el tratamiento del agua con el fin de generar una línea base para futuros estudios.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál de estos coagulantes ocasiona un mayor aumento en la concentración de aluminio residual del agua filtrada del distrito de Pedro Ruiz Gallo, que según el decreto DS N° 031-2010-SA, no debe exceder el valor de 0,2 mg Al<sup>+3</sup>/L?

## **1.3. Justificación**

La ciudad de Pedro Ruiz Gallo, capital del Distrito de Jazán, se ubica a una altura de 1325 m.s.n.m a 5°56'54" de latitud sur y a 77°58'45" de latitud Oeste del Meridiano de Greenwich, a una distancia de 60 km de la ciudad de Bagua Grande y a 52 km. de Chachapoyas, capital del departamento de Amazonas. Cuenta con una población de 6,998 habitantes (INEI, 2015). El distrito representa el 0.23% de la superficie de la Región, alberga al 2.13% de la población regional y al 35% de la población provincial. En el distrito de Pedro Ruiz Gallo existe una planta de tratamiento de agua ubicada en el sector alto Señor de los Milagros que diariamente abastece de agua potable a la población y no cumple con los parámetros establecidos por los organismos internacionales y nacionales.

El agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible), además la mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud, por lo tanto debe garantizarse que el agua sea lo más libre de contaminantes posible.

El agua puede contener una variedad de impurezas solubles e insolubles; entre estas últimas se destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los

microorganismos en general; estas partículas son las encargadas de formar la turbiedad y el color. Para que estas sustancias puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación-floculación.

La finalidad del presente trabajo de investigación consistió en realizar el estudio del agua del distrito de Pedro Ruiz por sus características físicas y químicas es muy turbia y debe ser tratada con coagulantes lo que implica obtener un aluminio residual muy por debajo de los estándares nacionales e internacionales y para determinar cuál es la mejor opción en el uso de coagulantes como el sulfato de aluminio tipo B 500 o el Policloruro de Aluminio (PAC).

El proceso de coagulación-floculación consiste en que las partículas coloidales presentes en el agua se aglomeren formando pequeños gránulos con un peso específico superior al del agua llamados floc. La carga eléctrica de la superficie de las partículas coloidales es el factor que contribuye, en la mayor medida, a su estabilidad a largo plazo, ya que las partículas que tendrán tendencia a formar aglomerados son repelidas mutuamente por sus cargas eléctricas; en la coagulación ocurre la desestabilización de estas partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas, mientras que en el proceso de floculación ocurre el transporte de ellas dentro del líquido para que las partículas ya desestabilizadas choquen unas con otras para formar coágulos mayores; de esta forma las partículas sedimentan y ocurre la remoción de los materiales en suspensión, lo que permite que el agua alcance la características físicas y organolépticas idóneas para ser llamada potable (Valencia, 2000).

El principal objetivo de la potabilización del agua, es la protección de la salud pública, eliminando o reduciendo a una concentración mínima los componentes peligrosos. Las plantas potabilizadoras de agua deben garantizar su calidad para que esta pueda ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

En la localidad de Pedro Ruiz Gallo, la planta de potabilización de agua tiene concesiones específicas para tomar parte del caudal de las cuencas de la quebrada El Ingenio y de acuerdo a las características del agua al entrar a la planta, se realizan las dosificaciones y se plantean los tratamientos más adecuados. La medición de características como turbiedad, color y alcalinidad son fundamentales para conocer el

grado de calidad y la exigencia en los tratamientos de agua potable. Se conocen muchos tipos de coagulantes pero el sulfato de aluminio (alumbre) es el coagulante estándar empleado en tratamientos de agua.

Para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Pedro Ruiz Gallo se utiliza sulfato de aluminio TIPO B 500 granulado, como coagulante para remover la materia coloidal y sustancias orgánicas. Sin embargo en esta planta no se maneja una dosis óptima de coagulante, lo que hace que se incrementen los costos por la cantidad de insumos que se están utilizando, además de que se está sobre dosificando el agua, conllevando a producir elevadas concentraciones de aluminio residual en el agua potable que pueden tener implicaciones perjudiciales para la salud humana, es decir, posible neurotoxicidad.

La presencia de aluminio residual en concentraciones mayores que 0,2 mg/l suele ocasionar quejas de los consumidores como consecuencia de la precipitación del floculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y el aumento de la coloración del agua por el hierro. Por lo tanto, es importante optimizar los procesos de tratamiento con el fin de reducir al mínimo la presencia de residuos de aluminio en el sistema de abastecimiento.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

- Determinar la influencia de los coagulantes: sulfato de aluminio Tipo B 500 y policloruro de aluminio (PAC), en el aluminio residual del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Obtener y analizar la información de los ensayos de tratabilidad realizados en la Planta de Tratamiento de agua potable del distrito de Pedro Ruiz Gallo para establecer las posibles correlaciones
- Conocer la efectividad de cada producto en base a los parámetros de color, turbiedad, pH y alcalinidad mediante gráficos estadísticos de control, el desempeño de cada coagulante y usar como variable respuesta, el aluminio residual del agua filtrada en los ensayos de tratabilidad.
- Establecer el coagulante que deje menor aluminio residual para el mejor tratamiento en la planta de agua potable en el distrito de Pedro Ruíz Gallo.

### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Antecedentes del problema

El cloro es el desinfectante de agua más ampliamente usado en el mundo. Pero desafortunadamente, la reacción entre el cloro y la materia orgánica disuelta, que contiene principalmente ácidos húmicos y ácidos, fúlvicos, genera la formación de subproductos de cloración indeseables, denominados productos de desinfección (Uzcátegui y Gonzales, 2006).

La clarificación es un proceso fundamental en el tratamiento de aguas ya que de su correcto funcionamiento va a depender en gran medida el cumplimiento del objetivo de remover las impurezas presentes en el agua cruda. Sin embargo, las exigencias crecientes en cuanto a especificaciones de calidad del agua tratada y de optimización técnica y financiera de los procesos de tratamiento de aguas han hecho que se vea cuestionada la eficiencia de dichos coagulantes y se considere su remplazo por una nueva generación de coagulantes alternativos, surgidos en las últimas décadas, los cuales han probado tener un desempeño superior a los coagulantes convencionales Cogollo, (2010).

El sulfato de aluminio granulado tipo B es un coagulante efectivo para el tratamiento de aguas para consumo humano dado que se presentaron buenos porcentajes de remoción de la turbiedad y color en las muestras de agua cruda analizada. (Castillón, y Giraldo, 2012)

Al comparar los valores de la concentración de aluminio entre las muestras de agua tomadas directamente y las almacenadas en tanques, nos encontramos que estas últimas presentan valores menores que las que se tomaron directamente del grifo. Esto demostraría que en el proceso de purificación del agua por parte del INOS, no se emplea el tiempo suficiente para que actúen los floculantes y así la sedimentación de las partículas en suspensión sea completa, antes de bombear el agua a los usuarios.

En general las muestras provenientes de pozos son más alcalinas que las tratadas, y con respecto a la cantidad de aluminio, las aguas de pozos presentan valores menores a 0,1 mg/L. (Gonzales y Hernández, 1991).

Parra, (2004). Se evaluó y comparó la dosis de sulfato de aluminio de la planta Florida con la del Laboratorio, encontrándose un buen grado de correlación. Sin embargo, se debe realizar pruebas de jarra más seguido para corregir la dosis permanente, ya que esta es una de las variables que ayudan a incrementar el aluminio en el agua.

Se evaluó el aluminio residual en las diferentes etapas del proceso de tratamiento encontrándose que a la salida del sedimentador siempre se encuentra en niveles por encima de 0.4 ppm; en el proceso de filtración, gran parte del floc que es arrastrado desde los sedimentadores es allí retenido, disminuyendo el aluminio residual en esta agua. Sin embargo, debido a la mala calidad encontrada de los lechos filtrantes, el aluminio pasa incrementándolo, muchas veces, por encima de lo establecido en la norma.

El estudio realizado al comparar dos materias primas coagulantes, se concluye. El comportamiento del aluminio residual con el Sulfato de Aluminio Líquido de tres casa productoras sobrepasó la norma en varias pruebas, sin mostrar una tendencia definida para alguno de las casas, esto probablemente se debe a que en estas pruebas, el agua cruda tenía poca turbiedad y el aluminio residual tiende a aumentar en estas condiciones, ya que la turbiedad del agua ayuda al floc a precipitar y con poca turbiedad esta labor se dificulta (Murillo, 2011).

## **3.2. Base teórica**

### **3.2.1. Agua potable**

Es considerada agua potable, toda agua natural o producida por un tratamiento de potabilización que cumpla con las Normas de calidad establecidas para tal fin. Estas Normas se basan en estudios toxicológicos y epidemiológicos, así como en consideraciones estéticas. Para considerarse agua potable deben cumplir con los parámetros de control obligatorio (PCO): coliformes totales, coliformes termotolerantes, color, turbidez, cloro residual y pH el agua potable se produce a partir del agua contaminada que proviene de aguas superficiales (lagos, arroyos, lagunas, ríos, mares, océanos y glaciares), subterráneas (pozos profundos) y atmosféricas (lluvias) (Castrillón y Giraldo, 2012).

Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo del agua, es indispensable conocer sus características físicas, químicas y microbiológicas antes de seleccionarla como fuente de agua cruda.

Siendo el agua indispensable para la vida, es necesario que los consumidores dispongan de un abastecimiento de agua satisfactorio, por lo que el abastecedor debe realizar el mayor esfuerzo posible para suministrar agua de la mejor calidad de acuerdo con las normas establecidas. Cada país es el encargado de establecer dichas normas y de vigilar su cumplimiento (Castrillón y Giraldo 2012).

### 3.2.2. Características fisicoquímicas del agua.

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química. Aunque solamente alrededor del 2% del agua de consumo público se destina a uso de boca, el consumidor es cada vez más exigente en relación al olor y sabor del agua que recibe. Estas dos características, junto con el color y la turbidez (parámetros organolépticos), son los únicos que el consumidor puede apreciar por sí mismo y cualquier cambio que percibe tiende a asociarlo a algún riesgo sanitario. Es por ello que el tema de los gustos y olores en las aguas, sean crudas o tratadas, es un tema de interés creciente para las empresas suministradoras de agua potable y para todas aquellas organizaciones involucradas en el ciclo del agua. (Arboleda, 2000).

**Tabla 1.** Características del agua.

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Físicas                      | Turbiedad, Color, Olor, Sabor, Temperatura, Sólidos, Conductividad.   |
| Químicas                     | pH, Dureza, Acidez/ alcalinidad, Fosfatos, sulfatos, Fe, Mn, Cloruros, Oxígeno disuelto, Grasas y/o aceites, Amoníaco, Hg. Ag. Pb. Zn. Cr. Cu. B. Cd. Ba. As., Nitratos, Pesticidas, etc. |
| Biológicas y Microbiológicas | Protozoarios (patógenos), Helmintos (patógenos), Coliformes fecales, Coliformes totales.  |

Las características propias de cada fuente de agua permiten su clasificación: agua potable, agua servida, agua residual industrial, aguas negras, etc.; permiten su uso: para consumo, riego, refrigeración, producción de vapor, como disolvente etc. y permiten su comparación en cuanto a la calidad que presenten para la misma aplicación.

El agua para consumo humano es la más estudiada de acuerdo a sus características, debido al impacto que tiene sobre la salud y después de investigar las causas de epidemias mundiales que fueron causadas por aguas contaminadas, devastando grandes centros urbanos, se llegan a plantear valores máximos permisibles de diferentes características. (Arboleda, 2000).

#### **3.2.2.1. Turbidez**

La turbidez es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc.

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica, UTN. Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor será la turbiedad. La determinación de turbidez es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación,

sedimentación y filtración así como para determinar la potabilidad del agua. (Romero, 2009).

### **3.2.2.2. Color**

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ión metálico trivalente como el  $Al^{+3}$  o el  $Fe^{+3}$ .

Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua pero los hidrofílicos sí; 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 de agua, así, los colores hidrofílicos requieren mayor cantidad de coagulante que los hidrofóbicos. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objetivo esencial del tratamiento. (Romero, 2009).

### **3.2.2.3. Sabor y Olor**

Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, sulfuro de hidrógeno, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación.

Tanto el olor como el sabor pueden describirse cualitativamente y esto es muy útil especialmente en casos de reclamos por parte del consumidor; en general los olores son más fuertes a altas temperaturas. El ensayo de sabor solo debe hacerse con muestras seguras para consumo humano. (Romero, 2009).

#### **3.2.2.4. Temperatura**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de Oxígeno Disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio, se relacionan con la temperatura.

La temperatura del agua varía según la región geográfica y el clima. En general, mientras no exceda los 30°C no presenta un problema mayor. (Romero, 2002).

#### **3.2.2.5. pH**

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia, siendo ésta una de las propiedades más importantes del agua. El rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (rango neutral). Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica un rango básico. Por definición, el pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 6,5 y 8,5. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o por debajo del pH óptimo producen malos resultados. (Arboleda, 2000).

#### **3.2.3. Sulfato de aluminio.**

Es una sal sólida y de color blanco de fórmula  $Al_2(SO_4)_3$  que por sus propiedades fisico-químicas es utilizada principalmente como agente coagulante y floculante primario en el tratamiento de aguas de consumo humano y aguas residuales. Se caracteriza por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación, contribuyendo a la disminución de la carga bacteriana, así como la remoción del color y sabor.

#### **3.2.4. Clarificación del agua**

La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad. Es un proceso utilizado tanto en sistemas de tratamiento de aguas municipales con el fin de obtener agua potable para consumo humano, como en sistemas de tratamiento de aguas industriales que comprenden el tratamiento individual del agua proveniente de acueductos municipales de acuerdo con su uso final, ya sea agua para elaboración de bebidas o alimentos, generación de vapor o circuitos de refrigeración, lavado de envases, etc.

#### **3.2.5. Coagulación.**

Es el proceso de formación de pequeñas partículas gelatinosas mediante la adición de un coagulante al agua y la aplicación de energía de mezclado, que desestabiliza las partículas suspendidas por neutralización de las cargas de coloides cargados negativamente. Comienza en el mismo instante en que se agrega el coagulante y dura solo fracciones de segundo. Desde el punto de vista electrostático, el propósito de la coagulación es reducir el potencial de sólidos por adición de iones específicos e inducir la desestabilización de las partículas para aglomerarlas. La coagulación es el tratamiento más eficaz para la eliminación de impurezas en el agua y también puede representar un gasto elevado cuando no se realiza adecuadamente. La dosis de coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de sedimentación y es imposible realizar una buena clarificación si la cantidad de coagulante no es la adecuada (Andía, 2000).

#### **3.2.6. Factores que influyen en la Coagulación**

- Estado de Valencia: Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.
- Capacidad de cambio: Es una medida de la tendencia a remplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
- Tamaño de las partículas: Las partículas deben poseer el diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes

para ser incorporadas en el floc.

- **Temperatura:** La temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre mas fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.
- **Concentración de iones  $H^+$  o pH:** Para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
- **Relación cantidad-tiempo:** La cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.
- **Alcalinidad:** La alcalinidad guarda la relación con el pH y por lo tanto el contenido de alcalinidad del agua es uno de los factores por considerar en la coagulación. (Rodriguez, 1995).

- **pH óptimo de coagulación**

El valor del pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación, el pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para formación de floc y la carga sobre las partículas coloidales. El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero usualmente cae entre pH 5,0 a 6,5.

Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio y generar problemas al usuario del agua. Cuanto menos sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del floculo a cambios de pH. (Romero, 2002).

- **Floculación:**

Es el proceso mediante el cual se juntan las partículas desestabilizadas o coaguladas para formar un aglomerado más grande llamado flóculo y se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. Operativamente, la floculación se consigue recurriendo a una mezcla moderada y prolongada que transforma las partículas coaguladas de tamaño submicroscópico en otras suspendidas, discretas y visibles (Suarez y Padilla 1994).

#### • Cinética de la Floculación

Tan pronto como se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que crecen con el tiempo.

La rapidez con que esto ocurre depende del tamaño de las partículas con relación al estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su “grado de desestabilización”, que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia.

Los contactos pueden realizarse por dos modos distintos:

- Floculación Pericinética: Contactos por bombardeo de las partículas producidas por el movimiento de las moléculas del líquido (movimiento browniano) que solo influye en partículas de tamaños menores a un micrón. Solo actúa al comienzo del proceso, en los primeros 6 a 10 seg y es independiente del tamaño de la partícula.
- Floculación Ortocinética: Contactos por turbulencia del líquido, esta turbulencia causa el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumenta notablemente la probabilidad de colisión. Efectivo sólo con partículas mayores a un micrón. Actúa durante el resto del proceso, de 20 a 30 minutos.

#### **3.2.7. Factores que influyen en la floculación.**

- Concentración y naturaleza de las partículas

La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas (Rodríguez, 1995).

- Tiempo de detención.

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Se puede decir que una eficiencia dada, se obtiene en tiempos cada vez menores a medida que se aumenta el número de cámaras de floculación en serie. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres (3) unidades (Rodríguez, 1995).

- Gradiente de velocidad.

Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el

rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben tener cámaras intermedias con gradientes elevados (Rodríguez, 1995).

### **3.2.8. Sedimentación:**

Es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad. Mediante este proceso se eliminan materiales en suspensión empleando un tiempo de retención adecuado. (Quintana, 2000). Estos sólidos están constituidos generalmente por arenas, limos y coloides agrupados mediante las etapas anteriores de coagulación y floculación.

En las plantas de tratamiento estos tres procesos, descritos anteriormente, tienen lugar en un mismo equipo denominado clarificador.

La sedimentación como tal, es en esencia un fenómeno netamente físico. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferentes formas, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de las partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida.

- Partículas discretas: son aquellas partículas que no cambian de características, forma, tamaño y densidad durante la caída.

- Partículas floculentas: son aquellas producidas por la aglomeración de las partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas; forma, tamaño y densidad si cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.

- Partículas por caída libre e interferida: cuando la concentración de partículas es pequeña, cada partícula sedimenta discretamente, como si estuviera sola, no siendo estorbadas por otras partículas. Partiendo del reposo, la velocidad de una partícula bajo la gravedad en un líquido aumentará al ser la densidad de la partícula mayor

que la densidad del líquido. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en un lugar individual (Arboleda, 2000).

### **3.2.9. Agentes coagulantes**

En general, se puede decir que los coagulantes son aquellos compuestos de hierro y aluminio capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua.

Los coagulantes son materiales químicos que se adicionan al agua para lograr la descarga de todas las partículas coloidales dando origen a la formación de medios más grandes (flóculos), que sedimentan más rápidamente (Pradilla, 1994).

Los productos químicos que se utilizan normalmente en la coagulación son alúmina (sulfato de aluminio), cloruro férrico, aluminato de sodio, sulfato ferroso y cal. La alúmina es el coagulante de uso más extendido. Entre las ayudas de coagulación se incluye el cloruro de magnesio, el aluminato de sodio, la sílice activa, el almidón y gran número de polielectrólitos de masa molecular alta (Pradilla, 1994).

### **3.2.10. Clases de coagulantes**

Los coagulantes se pueden clasificar en dos grupos: los polielectrólitos o ayudantes de coagulación y los metálicos. Ambos grupos actúan como polímeros a pesar de la carga eléctrica que poseen.

En los primeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agrega al agua. En los segundos, la polimerización se inicia cuando se pone el coagulante en el agua, después de los cuales viene la etapa de la absorción por los coloides en la fase acuosa.

Es, sin embargo, necesario observar que la velocidad de sedimentación de las partículas no depende en la forma exclusiva de los coagulantes usados sino del peso de las partículas que se trata de sedimentar.

#### **3.2.10.1. Polielectrólitos**

Un polímero es una sustancia formada por una cantidad de unidades básicas llamadas monómeros unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente. Su grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica.

Todos los monómeros capaces de formar polímeros deben tener por lo menos dos núcleos activos para que la macromolécula formada pueda conservar su configuración inicial. Cuando las cadenas poliméricas tienen múltiples grupos funcionales activos se denominan polielectrolitos que son compuestos orgánicos sintéticos que tienen la habilidad de causar la agregación de suelos y sólidos finamente divididos en suspensiones acuosas.

**- Clasificación de los polielectrolitos**

**Tabla 2.** Clasificación de los polielectrolitos (Arboleda, 1996).

| Según su origen      | Según su carga |          |
|----------------------|----------------|----------|
| Polímeros naturales  | Iónicos        | Cationes |
|                      |                | Aniones  |
| Polímeros sintéticos | No iónicos     |          |

**3.2.10.2. Coagulantes metálicos**

Se clasifican en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios. Las sales de aluminio más conocidas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio (Romero, 2009).

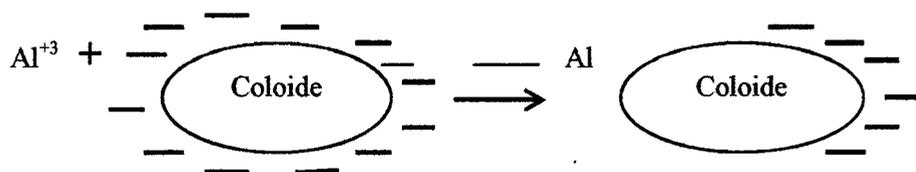
**3.2.10.2.1. Sales de Aluminio**

**- Sulfato de Aluminio (alumbre)**

El sulfato de aluminio es el coagulante estándar usado en tratamientos de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ . Se obtiene de la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico.

El material es empacado en diversas formas: en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida (Romero, 1996).

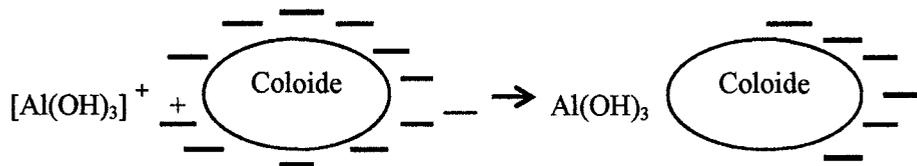
Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en  $Al^{+3}$  y  $SO_4^{-4}$ . El  $Al^{+3}$  puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal.



El  $\text{Al}^{+3}$  puede también combinarse con el  $\text{OH}^-$  del agua para formar hidróxidos de aluminio.



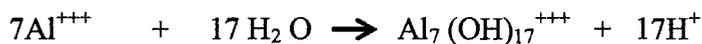
Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que absorbe iones positivos en solución para formar un sol cargado positivamente. Dicho sol neutraliza la carga de los coloides negativos y ayuda a completar la aglomeración.



Casi siempre se forma un exceso de solución de hidróxido de aluminio y su destrucción y precipitación se logra mediante los iones sulfato y otros iones negativos presentes en el agua.



Con respecto a los coagulantes de hierro y a los de aluminio se puede afirmar que los cationes metálicos reaccionan inmediatamente con el agua para formar iones acuometálicos e hidrógeno; los aniones permanecen libres o combinados con otros cationes. Con el alumbre ocurren las siguientes reacciones (Romero, 2009):



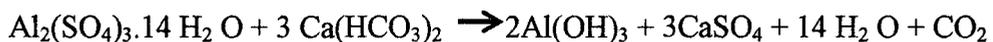
Los iones acuometálicos son adsorbidos por el coloide negativo y neutralizan su carga superficial permitiendo la coagulación.

Los coloides también pueden ser barridos por los flocs formados, al ser atrapados dentro de ellos durante la floculación y sedimentación; en otras palabras, los

precipitados de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  entrapan los coloides efectuando una coagulación de barrido, la cual predomina en algunas soluciones de concentración coloidal baja. Debe tenerse en cuenta que si se sobredosifica el coagulante, el fenómeno puede revertirse y resurgir el coloide negativo causando nuevamente el problema de turbiedad y/o color (Romero, 2009).

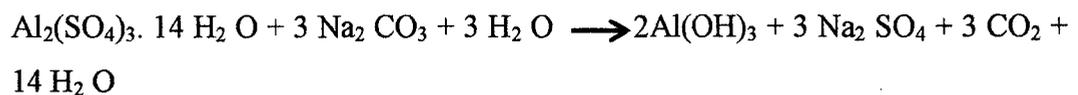
El sulfato de aluminio debe distribuirse a través de toda la masa de agua rápidamente, con el fin de que se logre el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presente la formación de las especies menos deseables. Esto se logra mediante una mezcla instantánea que provea una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible.

Durante la floculación se completa la aglomeración de las partículas y crecen los flocs hasta una condición adecuada para su sedimentación. Durante la sedimentación el floc se asienta para dejar un líquido clarificado. Cuando se añade sulfato de aluminio al agua este reacciona con la alcalinidad natural del agua para formar floc de hidróxido de aluminio (Romero, 2009):



La producción de  $\text{CO}_2$  es indeseable puesto que incrementa la corrosividad del agua; además, la ecuación muestra también como se presenta una conversión de bicarbonato de calcio en sulfato de calcio, osea una reducción de la dureza carbonácea y un aumento de la no carbonácea, lo cual es también desventajoso desde el punto de vista de remoción de dureza (Romero, 2009).

Si el agua no contiene alcalinidad natural suficiente para reaccionar con el alumbre, es necesario añadir la alcalinidad necesaria. Esto se hace normalmente con cal o soda:



La dosis de alumbre varía normalmente entre 5 a 50 mg/L para aguas naturales. Comúnmente el pH efectivo para coagulación con alumbre es de 5,5 a 8,0 y se prefiere para tratar aguas superficiales de buena calidad por ser el único químico necesario para la coagulación. (Romero, 2009).

#### **Sulfato de aluminio granulado tipo B**

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 531 y Norma Técnica Peruana NTP 311.095 el sulfato de aluminio granulado tipo B es el que cumple las siguientes especificaciones:

**Tabla 3.** Requisitos químicos del Sulfato de Aluminio granulado tipo B.

| <b>Requisitos</b>                           | <b>Sólido</b> | <b>Solución sulfato de aluminio</b> |
|---|---------------|-------------------------------------|
| % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mínimo     | 15,2          | 7,3                                 |
| Hierro como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 2,0           | 1,2                                 |
| % materia insoluble                         | 8,0           | 0,1                                 |
| % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (b) mínimo | 0,05          | (1)                                 |

#### **Policloruro de aluminio (PAC)/ Hidroxiclorigerato de aluminio**

Es un derivado polimérico del aluminio, las ventajas de este coagulante son muchas. El pH óptimo de la coagulación puede ser más alto que cuando se usa el Alum. El pH de la coagulación puede ser el mismo de la distribución en aguas con alcalinidad alta. Muchas veces es posible usar el PAC sin alcalinización en el proceso de coagulación. La remoción de las sustancias orgánicas es mejor con el PAC en comparación con el Alum. Problemas con agua fría y con un proceso demasiado lento de la formación de flóculos pueden muchas veces ser resueltos con el PAC porque reacciona más rápido que el Alum. Varios diferentes grados de coagulantes de PAC han sido desarrollados durante las últimas décadas. Los productos pueden tener una basicidad diferente, pueden tener presentación líquida o sólida o parte del grupo de cloruros pueden ser sustituidos por sulfatos. Si se adiciona un floculante con el coagulante polimerizado una floculación muy rápida es posible con una muy baja dosis de químicos.

### **Ventajas y desventajas del PAC**

- Normalmente no requiere un ajuste del pH
- En comparación con el Alum: un rango de trabajo de pH más amplio, aluminio residual más bajo.
- Mejor comportamiento que el Alum: en aguas frías, en la remoción de sustancias orgánicas, en la remoción de turbiedad y color, produce menos lodo
- Manejo más fácil de producto líquido y sólido
- Menor consumo de polímero
- Menor dosis de aluminio que con el Alum
- Velocidad de reacción muy alta
- Ahorro importante en fletes cuando se utiliza un producto seco
- El producto sólido se disuelve fácil, sin insolubles
- Un pH demasiado alto para la coagulación puede bajar la remoción de sustancia orgánica (XXI, Congreso)

### **3.2.11. Fases de la coagulación**

Desde un punto de vista esquemático, se puede considerar que la coagulación se desarrolla en cinco fases consecutivas o simultáneas que explican reacciones físicas y químicas, de la siguiente forma:

Primera fase: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.

Segunda fase: Precipitación y formación de compuestos que se polimerizan.

Tercera fase: Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.

Cuarta fase: Adsorción mutua entre coloides.

Quinta fase: Acción de barrido.

Las fases pueden coexistir y en ocasiones invertirse (reestabilización); las fases uno y tres pueden ser simultáneas cuando se agregan polielectrolitos al agua, esto es coagulantes que están previamente polimerizados, en cuyo caso la desestabilización es debida a la adsorción de las cadenas agregadas con el polielectrolito; cuando se usan coagulantes metálicos la desestabilización y la polimerización pueden ocurrir como fenómenos separados, no necesariamente consecutivos. Todas las reacciones dependen de la alcalinidad, del pH y de la temperatura del agua (Pérez, 1986).

### **3.2.12. Mezcla rápida**

La coagulación es efectuada mediante una agitación intensa del agua, llamada mezcla rápida, que tiene por objeto hacer que el coagulante se difunda lo más rápido y uniformemente posible en toda la masa de agua.

### **3.2.13. Factores que influyen en el proceso**

La coagulación es probablemente la fase más importante del tratamiento del agua; una coagulación inadecuada no puede ser corregida en una etapa posterior de tratamiento, perjudicando la eficiencia de todos los procesos siguientes.

La optimización de este proceso depende de una serie de variables que deben ser consideradas tanto en el diseño como en la operación, siendo las principales las siguientes:

- Características físicas y químicas del agua
- Dosis de coagulante
- Concentración del coagulante
- Punto de aplicación del coagulante
- Intensidad y tiempo de mezcla
- Tipo de dispositivo de mezcla (Pérez, 1986).

### **3.2.14. Ensayos para el control del proceso de coagulación**

Ensayo de jarras.

El ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química del agua. Este también tiene otros propósitos:

- Selección del tipo de coagulación más efectivo
- Determinación del pH óptimo de coagulación
- Evaluación de la dosis óptima de coagulante
- Determinación de la dosis de ayudante de coagulación
- Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradiente de velocidad y tiempo de mezcla.
- Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa (SENA).

### **3.2.15. Floculación**

La floculación es el proceso que se realiza inmediatamente después de la coagulación, y consiste en la aglomeración de las partículas pequeñas recién desestabilizadas para que crezcan formando flóculos de mayor tamaño fácilmente removibles por sedimentación y/o filtración.

Distinguiremos entre coagulación, el proceso químico por el cual se añade un coagulante al agua con el objeto de destruir la estabilidad de los coloides y promover su agregación y floculación, el proceso físico de mezcla rápida y lenta, por medio del cual se incrementa la posibilidad de choque entre partículas y por consiguiente la formación de floc (Pérez, 1986).

Se habla de tiempos de coagulación menores de un minuto, ya que si esta mezcla rápida se prolonga por tiempos mayores se puede correr el riesgo de destruir las partículas más grandes que hayan podido formarse.

La mezcla rápida es esencial para dispersar uniformemente el coagulante y fomentar las colisiones de las partículas coagulantes con las partículas que producen turbiedad (Pérez, 1986).

### **3.2.16. Sedimentación**

La sedimentación es la remoción de los sólidos en suspensión en un fluido por la fuerza de la gravedad. Los sólidos pueden estar presentes en el agua en la forma como ocurren naturalmente, como es el caso del limo o la arena, o en forma modificada de su estado natural, como resultado de la coagulación y la floculación. Sea cual fuere el origen de las partículas, si son más densas que el agua es mayor su probabilidad de sedimentación, dando como resultado un fluido clarificado, y en el fondo de los tanques, una suspensión más concentrada que se considera ha sido separada del mismo (Pérez, 1986).

### **3.2.17. Filtración**

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en la suspensión acuosa mediante su paso por un medio poroso. Para el caso del método convencional, la velocidad de filtración o velocidad de flujo puede estar entre los 5 y 15 m/h ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ) y se le denomina filtración rápida.

Como lecho filtrante se utiliza comúnmente arena, pero también pueden utilizarse antracitas, zeolitas, textiles, etc.

El hecho que la filtración rápida en arena se realice a las tasas citadas de filtración, permite alcanzar altos rendimientos, puesto que se tratan elevados volúmenes de agua por unidad de área del filtro. De ahí, que se recurra a la filtración rápida, cuando el consumo es considerable y, además, si se han previsto las operaciones requeridas, antes de la filtración, para garantizar la retención de parte considerable de los contaminantes en este proceso (Pérez, 1986).

El lecho filtrante trabaja de manera intensiva, puesto que su finalidad es retener los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua, lo que lleva a que se colmate rápidamente, por esta razón el lecho debe ser rehabilitado. Para este fin se recurre al retrolavado consistente en inyectar agua en la dirección contraria al proceso de filtración. En esta operación se utiliza considerables volúmenes de agua que adquiere niveles altos de contaminación y que por regla general se desechan. (Pérez, 1986).

### **3.2.18. Desinfección**

Los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración remueven con mayor o menor eficiencia la mayoría de los microorganismos que pueda contener el agua. Es por esto que se consideran como procesos preparatorios para la desinfección, en caso de que sea requerida la utilización de aquellos, puesto que cumplen la doble función de disminuir la carga bacteriana y más eficiente el proceso de desinfección.

La desinfección del agua se refiere a la destrucción de los organismos patógenos, constituidos por bacterias, protozoarios y virus. Tales microorganismos son capaces de sobrevivir en el agua por días o inclusive semanas, dependiendo de factores ambientales, morfológicos y fisiológicos tales como temperatura, pH, oxígeno disuelto, nutrientes existentes, competición con otros organismos, resistencia a influencias toxicas, capacidad de formar esporas, etc.

Un buen desinfectante debe cumplir los siguientes requisitos:

- Tener capacidad de destruir los organismos patógenos para las condiciones que presente el agua, en un tiempo adecuado.

- No debe hacer el agua tóxica o de sabor u olor desagradables.
- Debe ser de fácil obtención, a costo razonable y reunir condiciones que faciliten su transporte, almacenamiento, manipulación y dosificación.
- Su concentración en el agua debe poderse determinar fácil y rápidamente.
- Debe producir un efecto residual que se constituya en una protección contra una eventual recontaminación posterior al proceso de desinfección.

### **3.2.19. El cloro como desinfectante**

De todos los desinfectantes, el más utilizado a nivel mundial es el cloro, en sus diferentes presentaciones, en dosis de hasta 5mg/L ( $\text{g/m}^3$ ) que aunque según los estudios realizados no genera problemas en los usuarios, es considerada una dosis alta. El contacto del desinfectante con el agua no debe ser inferior a 30 minutos y el contenido de cloro residual en el agua para el consumo no debe ser inferior a 0,5 mg/L, de esta manera se garantiza una eficaz desinfección del agua tratada. (Pérez, 1986).

### **3.2.20. Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer.**

En el departamento de Amazonas y distrito de Pedro Ruiz Gallo no se encontró ninguna investigación sobre los efectos de aluminio residual que afectan a la salud de las personas, encontrándose trabajos de investigación de efectos del aluminio como agente causante de la enfermedad del Alzheimer.

Estudios epidemiológicos que han evaluado el papel del aluminio como factor de riesgo para el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer. En la mayor parte de los estudios revisados se ha examinado la exposición al metal a través del agua de bebida. Los estudios que sugieren que existe una asociación entre el aluminio y la enfermedad que presentan riesgos relativos de alrededor de 2 para poblaciones con exposiciones a concentraciones de Al en el agua mayores de 0,1 mg/l. Las exposiciones al metal a través de otras vías (alimentación, medicamentos y exposición laboral) han sido poco estudiadas (Loreto y Ballester ,2002).

#### **3.2.20.1. Enfermedad de Alzheimer**

Las primeras evidencia que apuntan a la existencia de una asociación entre el aluminio y la enfermedad de Alzheimer proceden de 1965, tratándose de

estudios experimentales en los cuales se provocaba una progresiva encefalopatía al inyectar sales de aluminio en el cerebro o en el líquido cerebroespinal de conejos". Estos cambios son distintos morfológica y bioquímicamente a los que tienen lugar en individuos con enfermedad de Alzheimer'. (Loreto y Ballester ,2002).

En el anexo 3 se resumen las principales características y resultados de los estudios que examinan la posible asociación entre la exposición al aluminio y el desarrollo de la enfermedad de Alzheimer. En total se muestran 16 trabajos epidemiológicos publicados desde 1989 hasta el 2001. El resto de trabajos recuperados tratan el tema de la hipótesis del aluminio desde otros puntos de vista. Dos artículos tratan la exposición al aluminio y cuantifican concentraciones de este metal en distintos alimentos, agua y medicamentos.

Perl, 1985 (citado por Loreto y Ballester 2002). En su artículo se estimó la concentración de aluminio a nivel celular en cerebros de pacientes con Alzheimer. En el estudio de Rio de Janeiro se indica la necesidad de medidas de protección de la salud pública en la calidad de las aguas en países poco desarrollados donde existen condiciones de saneamiento y de calidad de aguas precarias que podrían ocasionar enfermedades de vinculación hídrica. El artículo recuperado más recientemente, que no forma parte de la búsqueda bibliográfica inicial, trata la exposición al metal por una planta de aluminio (Loreto y Ballester,2002).

En el primer estudio Martyn et al., 1989, (citado por Loreto y Ballester, 2002). Se compararon las tasas de enfermedad de Alzheimer y otros tipos de demencias en 88 distritos de Inglaterra y Gales. Los resultados de este estudio indicaban que el riesgo de enfermedad de Alzheimer era 1,5 veces mayor en los distritos en los cuales la concentración media de aluminio en el agua de bebida excedía de 0.11 mg/l. Este trabajo dio paso a una serie de estudios que pretendían confirmar o rechazar los resultados descritos (Loreto y Ballester,2002).

En la mayoría de estudios el diagnóstico de Alzheimer se ha basado en la clínica de los pacientes. Para ello se han utilizado diferentes criterios de clasificación y diagnóstico de la situación de salud neurológica. En una primera aproximación se suele utilizar una prueba para el examen del estado cognitivo mental, que permite detectar a las personas con daño cognitivo. Para el diagnóstico clínico de enfermedad de Alzheimer se han utilizado los criterios DSM-III para la demencia degenerativa primaria" y, en los estudios más recientes, los criterios del Instituto Nacional de Trastornos Neurológicos y Degenerativos de los Estados Unidos (NINCDS/ADRDA). (Loreto, *et, al* 2002).

### **3.2.20.2. Estudios que evalúan el efecto de la exposición al aluminio a través del agua de bebida**

El mayor número de estudios se ha centrado en la exposición al aluminio a través del agua de bebida. Todos estos trabajos han considerado esta exposición a partir de los datos de las redes de distribución, en el momento del diagnóstico de la enfermedad o valorando la exposición a largo plazo en los 10 o 25 años anteriores al diagnóstico. Como se observa en el anexo 3 algunos de los resultados sugieren una asociación, con un riesgo relativo de alrededor de 2 para las poblaciones con agua de bebida que presenta una concentración de aluminio superior a 0,1 mg/l. Tres trabajos, sin embargo, no han encontrado dicha asociación.

Se ha descrito una modificación del efecto del aluminio según el pH del agua, con una desaparición de la asociación a pH de 7,3 o mayores. Por otro lado, se ha encontrado que existe una relación inversa entre el contenido de calcio y silicatos en el agua y el riesgo a padecer daño cognitivo. Se ha planteado una posible interacción entre el aluminio y el silicio del agua de bebida y su relación con la enfermedad de Alzheimer, ya que distintos estudios encontraron una relación inversa entre la concentración de estos dos elementos y la enfermedad (Loreto y Ballester, 2002).

Forbes *et al.*, 1991 (citado por Loreto y Ballester 2002). También se ha descrito una fuerte asociación entre el flúor del agua y la ausencia de daño cognitivo.

Los resultados del estudio sugerían que las personas que viven en lugares donde la concentración de Al es alta y la de flúor baja tienen un riesgo 3 veces mayor a padecer daño cognitivo en comparación que personas que viven donde la concentración de Al es baja y la de flúor es alta (Loreto y Ballester, 2002).

Los estudios de Birchall, 1988 (citado por Loreto y Ballester, 2002) apoyaban la idea de que la formación de hidroxialuminosilicatos podía bloquear la unión del aluminio a los receptores del epitelio intestinal y que ésta era la causa de la asociación geográfica entre la enfermedad de Alzheimer y el Aluminio. Además este efecto de disminución de la absorción se veía potenciado con el aumento del pH. Edwardson, et al., (citado por Loreto y Ballester, 2002). comprobaron experimentalmente que el aluminio en presencia de silicatos es incorporado Al torrente circulatorio en menor medida, así como que en presencia de citrato el aluminio aparece en forma química más biodisponibles (Loreto y Ballester, 2002).

Gauthier et al., 2000 (citado por Loreto y Ballester, 2002). Consideraron las distintas formas solubles en las que aparece el metal en el agua, y encontraron una asociación significativa entre la enfermedad de Alzheimer y el aluminio en forma manométrica orgánica del agua. Estos datos son coherentes con los estudios que afirman que la absorción de aluminio acomplejado con ácidos orgánicos de bajo peso molecular, principalmente citrato, es mayor (Loreto y Ballester, 2002).

Entre los estudios que abordan la exposición al agua destaca el estudio Paquid *et al.*, 1994, (citado por Loreto y Ballester, 2002). Se trata de un estudio longitudinal en el que se incluyen a 3 777 personas de más de 65 años de 75 municipios del sudeste de Francia. En una primera fase se llevó a cabo una valoración transversal entre el daño cognitivo y distintos componentes del agua, sin encontrar una asociación clara con las concentraciones de aluminio. Posteriormente, se siguió en un estudio transversal durante 8 años a los 2 698 individuos en los que se había descartado daño cognitivo. Se identificaron 253 casos incidentes de demencia (182 de enfermedad de Alzheimer) utilizando un protocolo de diagnóstico clínico en dos fases y se relacionó su incidencia con

la exposición al aluminio en el agua de bebida. Los resultados mostraron una asociación con demencia (RR 1,99, IC 95%: 1,20-3,28) así como con enfermedad de Alzheimer (RR 2,14, IC 95%: 1,21-3,80) para los sujetos expuestos a una concentración de aluminio mayor de 0,1 mg/l. No se encontró, sin embargo, una relación dosis-respuesta (Loreto y Ballester, 2002).

A pesar de que se conoce que la fuente principal de aluminio son los alimentos, esta exposición ha sido menos estudiada. En un estudio de casos y controles", los resultados sugerían que el aluminio ingerido en la alimentación se asociaba al riesgo de desarrollar este trastorno neurodegenerativo. Sin embargo, una limitación importante del mismo, debido al escaso número de participantes y las comparaciones múltiples que rechaza. Además de los artículos originales presentados en la tabla 1 se recuperaron seis cartas con resultados sobre la asociación del aluminio en el agua de bebida y la enfermedad de estudio. Cuatro de estas cartas realizadas por distintos autores a partir de los datos de un estudio longitudinal llevado a cabo en Ontario (Canadá) mostraron resultados que apoyaban la hipótesis inicial de Martyn et al. Asimismo dos de estas cartas evaluaron la relación entre el flúor y la enfermedad de Alzheimer y entre el pH y la enfermedad. Birchall ha presentado en su carta datos acerca de cómo la biodisponibilidad del Al en el agua varía en función del pH y del contenido en sílice de la misma (Loreto y Ballester, 2002).

Hay estudios que apuntan a que la asociación puede deberse no a una mayor absorción gastrointestinal de Aluminio a partir de los 75 años de edad o a cambios de permeabilidad de la barrera hematoencefálica o al decaimiento de la función renal (Loreto y Ballester, 2002).

### **3.3. Variables de estudio**

#### **Variable Independiente:**

Matérias primas coagulantes:

- Policloruro de aluminio (PAC),
- Sulfato de aluminio líquido Tipo B 500

**Variable Dependiente.**

- Aluminio residual del agua tratada

**3.4. Hipótesis.**

La aplicación de dos materias primas coagulantes: sulfato de aluminio tipo B 500 y policloruro de aluminio, si influyen significativamente en el aluminio residual del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Diseño de contrastación de la hipótesis**

Para la contratación de la hipótesis se comparó con los estándares nacionales DS N° 031-2010-SA, Dirección General de Salud Ambiental Perú (DIGESA), con los estándares internacionales y la Organización Mundial de la Salud que establecen los límites máximo permisibles para agua de consumo humano.

### **4.2. Población y muestra**

En la presente investigación se evaluó el contenido de aluminio residual en agua potable de consumo en el distrito de Pedro Ruiz Gallo y se realizaron un total de 14 ensayos los que se realizaron durante los meses de Noviembre a Diciembre del 2015; para la realización de los ensayos se tomaron muestras de agua de la quebrada El Ingenio que es la fuente principal que abastece a la planta de tratamiento de Pedro Ruiz.

### **4.3. Unidad experimental**

Este estudio se realizó en dos fases:

- FASE 1: en esta fase se utilizó sulfato de aluminio Tipo B 500
- FASE 2: en esta fase se utilizó Policloruro de Aluminio (PAC).

En cada una de las fases se llevó a cabo el mismo procedimiento.

### **4.4. Muestras de agua**

Se utilizaron muestras de agua cruda de origen superficial de la planta de tratamiento y la quebrada El Ingenio del distrito de Pedro Ruiz Gallo, que es la fuente de abastecimiento de agua a la población.

Para cada fase se tomaron muestras de agua con diferentes características fisicoquímicas; cada muestra con un volumen aproximado de 25 litros.

Las muestras se trasladaron en un recipiente plástico para su posterior análisis.

A cada una de las muestras de agua cruda se le determino los parámetros fisicoquímicos de calidad, recomendadas por los estándares establecidos:

**Tabla 4:** Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

| Parámetros              | Unidad de medida                   | Límite máximo permisible |
|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Olor                    | -                                  | Aceptable                |
| Sabor                   | -                                  | Aceptable                |
| Color                   | UPC escala Pt/Co                   | 15                       |
| Turbiedad               | UNT                                | 5                        |
| Ph                      | Unidad de pH                       | 6,5 a 8,5                |
| Conductividad eléctrica | $\mu\text{S/cm}$                   | 1500                     |
| Cloruros                | $\text{mg Cl} \cdot \text{L}^{-1}$ | 250                      |
| Sulfatos                | $\text{mg SO}_4 = \text{L}^{-1}$   | 250                      |
| Dureza total            | $\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$   | 500                      |
| Amoniaco                | $\text{mg N L}^{-1}$               | 1,5                      |
| Hierro                  | $\text{mg Fe L}^{-1}$              | 0,3                      |
| <b>Aluminio</b>         | $\text{mg Al L}^{-1}$              | <b>0,2</b>               |
| Cobre                   | $\text{mg Cu L}^{-1}$              | 2,0                      |
| Sodio                   | $\text{mg Na L}^{-1}$              | 200                      |

Fuente: DS N° 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

UNT: Unidades Nefelométricas de Turbidez.

mg/L = ppm.

**Tabla 5.** Métodos utilizados para determinar los parámetros fisicoquímicos de calidad.

| Parámetro         | Método              | Unidades             | Equipo utilizado              |
|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|
| Temperatura       | Termométrico        | $^{\circ}\text{C}$   | Termómetro de mercurio        |
| Turbiedad         | Nefelométrico       | UNT                  | Turbidímetro HACH             |
| Color             | Espectrofotométrico | UPC                  | Espectrofotómetro HACH DR2800 |
| Alcalinidad       | Titulación          | ppm $\text{CaCO}_3$  | Equipo de titulación          |
| Acidez            | Titulación          | ppm $\text{CaCO}_3$  | Equipo de titulación          |
| pH                | Potenciométrico     | Unidad               | pH metro METROHM 826          |
| Aluminio residual | Eriocromo cianina   | ppm $\text{Al}^{+3}$ | Equipo de emisión atómica     |

Para la realización de los análisis de aluminio residual se siguieron las instrucciones del protocolo establecido por el laboratorio responsable de los análisis, de manera que las determinaciones analíticas se realizaron siempre antes de transcurridos el tiempo establecido para análisis de muestras, en el laboratorio de aguas y suelo de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza INDES-CES – Amazonas y el laboratorio de química de la universidad.

#### **4.5. Prueba de jarras**

Es un método de simulación de los procesos de Coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por decantación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes. La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas de consumo.

Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor. La prueba de Jarra es un método experimental que se utilizan para imitar las condiciones y procesos que tienen lugar en la parte de clarificación de agua y plantas de tratamiento de aguas de consumo. Los valores que se obtienen a través del experimento se correlacionan y ajustado para tener en cuenta para el sistema de tratamiento actual (Andia, 2000).

##### **4.5.1. Determinación de la dosis de coagulante**

Equipos utilizados: se utilizaron recipiente de vidrio y plástico para la mezcla se utilizaron recipiente de plástico

Se utilizó un equipo compuesto por cuatro recipientes de plástico, cada uno de los cuales tiene 5 litros de capacidad.

Para evaluar la dosis óptima de cada uno de los coagulantes utilizados, se agregó al agua cruda contenida en los recipientes, concentraciones variables de los coagulantes en estudio, dependiendo de las condiciones iniciales del agua cruda.

El tiempo de mezcla dependió de la efectividad del coagulante, la sedimentación y coagulación se llevó a cabo durante 15 minutos; estas condiciones serán las mismas que se utilizaron en la planta de tratamiento durante el proceso de tratamiento.

Luego se determinó la turbiedad, el color y el pH. Se consideró como dosis la menor concentración de coagulante necesario para obtener el color y la turbiedad más baja.

Una vez que se halló la dosis del coagulante, se procedió utilizando el siguiente esquema de trabajo:

|            |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nº Ensayos | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| Dosis:     | 1,0 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,0 | 1,5 | 1,5 |

Cada ensayo tiene la misma dosis de coagulante (Sulfato de aluminio y policloruro de aluminio o PAC).

Después de realizada la prueba con la dosis de cada coagulante, se determina turbiedad.

#### 4.6. Cálculo de la dosis:

1. Cuando la dosificación se efectúa en la planta por pesada del coagulante sólido, la dosis se expresará en mg de coagulante por litro de agua tratada (o en  $g/m^3$ , o ppm). En este caso la dosis se obtiene con la fórmula:

$$D = n \times f \text{ (mg/litro)}$$

Donde n es el número de ml. de solución de coagulante añadidos al vaso correspondiente, y f es un factor que depende de la dilución. Si el reactivo se prepara al 1%,  $f=10$ . Si el reactivo se prepara al 0,1%,  $f = 1$ . Si la concentración es otra, se deberá calcular el valor de f.

2. Cuando la dosificación se efectúa midiendo el volumen de una solución de coagulante, la dosis se expresará en ml de solución por litro de agua tratada (o en  $litros/m^3$ ). En este caso, la dosis se obtiene con la fórmula:

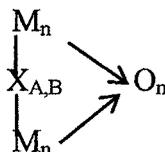
$$D = n \times V / 100 \text{ (ml/litro)}$$

Donde  $n$  tiene el mismo significado que en el párrafo anterior, y  $V$  es el volumen de solución concentrada de coagulante medio para preparar la solución diluida.

#### 4.7. Diseño de Investigación

Diseño de Investigación

Diseño descriptivo comparativo



Dónde:

$M_n$ . Muestras de Aguas tomadas distrito de Pedro Ruiz Gallo

$O_n$  Observación y determinación de Aluminio en muestras de agua.

$X_{A-B}$  Sal empleada

#### 4.8. Área de estudio

El distrito de Pedro Ruiz Gallo, capital del Distrito de Jazán, se ubica a una altura de 1 325 m.s.n.m a  $5^{\circ}56'54''$  de latitud sur y a  $77^{\circ}58'45''$  de latitud Oeste del Meridiano de Greendwich, a una distancia de 60 km de la ciudad de Bagua Grande y a 52 km. de Chachapoyas, capital del Departamento de Amazonas. Cuenta con una población de 6 998 habitantes. El Distrito representa el 0.23% de la superficie de la Región, alberga al 2.13% de la población regional y al 35% de la población provincial (INEI, 2015).

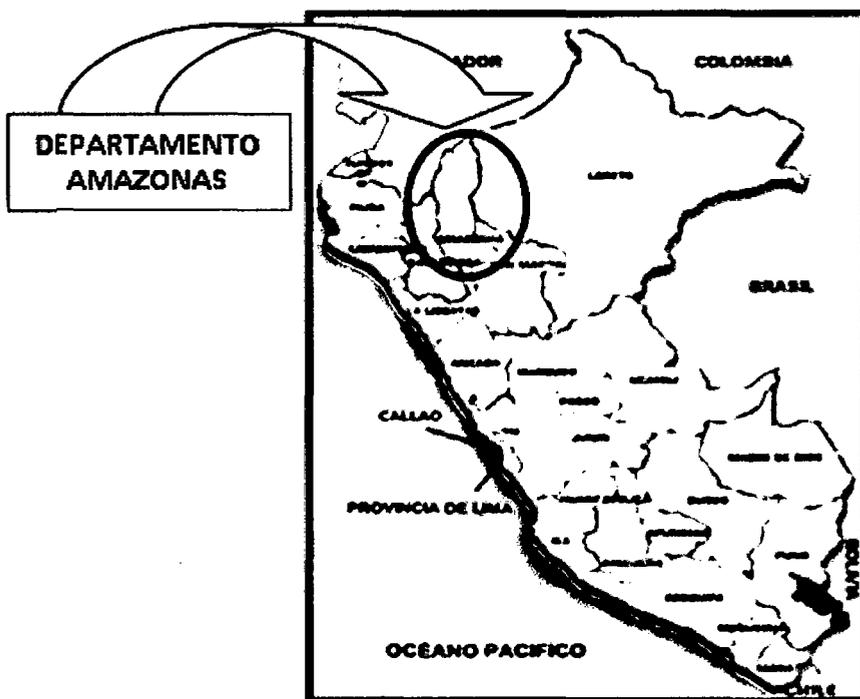


Figura 01: Ubicación nacional del distrito de Pedro Ruiz Gallo

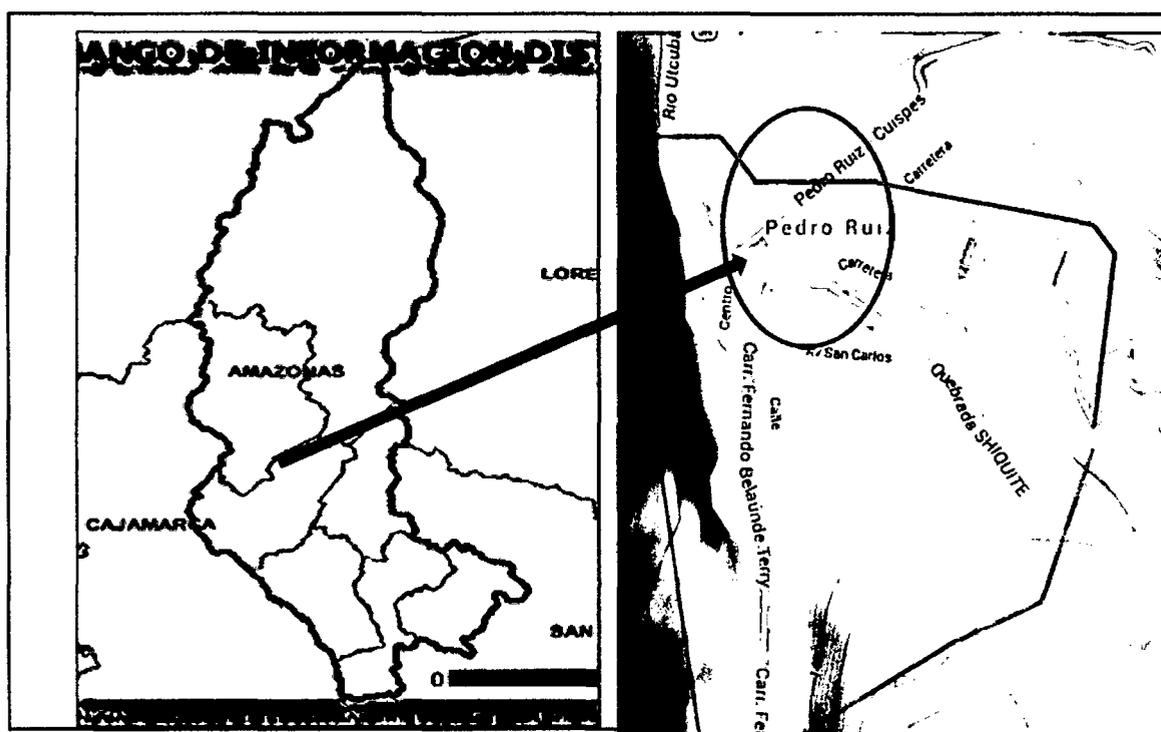


Figura 02: Ubicación regional y distrital

Departamento de Amazonas

Distrito de Pedro Ruiz Gallo

## 4.9. Muestreo y Análisis

### A. Puntos de Muestreo

Con la finalidad de tener la ubicación geográfica exacta donde se realizó el estudio, la ubicación fue referenciada con un navegador GPS marca Garmin, modelo Oregon 650. Se tomó la ubicación de la planta de tratamiento de agua del distrito de Pedro Ruiz Gallo las cuales fueron georreferenciadas según el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) (Datum WGS 84, Zona 17 y 18 Sur). 5° 56' 21.12" latitud sur y 77° 58' 04.43" latitud oeste a una altura de 1363m.



**Figura 03:** Ubicación distrital: Distrito de Pedro Ruiz Gallo

### 4.10. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Se colocó en cada uno de los vasos debidamente rotulados 3 500 ml del agua recolectada de la quebrada El Ingenio y de la planta de tratamiento a ensayar previamente agitada para suspender las partículas fácilmente sedimentables y con una espátula, se añade en forma sucesiva a los distintos vasos cantidades de sulfato

de aluminio tipo B 500, vaso uno, 1g. , vaso dos 1,3g. , vaso tres 1,4g. , vaso cuatro 1,5g, vaso cinco 1g. , vaso seis 1,5g y vaso siete 1,5g., realizando el mismo procedimiento para los demás ensayos con policloruro de aluminio (PAC)

b) Después de un período de agitación adecuado, se dejó de agitar, esperando el tiempo suficiente para que se produzca la sedimentación parcial del coágulo formado. Durante este período se observó las características físicas del coágulo, así como la velocidad de sedimentación en los distintos vasos.

c) Se decantó con cuidado la porción superior de líquido de cada uno de los vasos, tomando justamente el volumen necesario para efectuar la determinación de turbiedad. Luego, se realizó la filtración del agua para determina color; y se determinó, como dato complementario el pH.

e) Para determinar la dosis óptima, se seleccionaron aquellos vasos que presentaron un coágulo compacto, netamente visible a simple vista, y que sedimentaron con suficiente velocidad. El líquido existente entre las partículas del coágulo debe ser limpio (un aspecto opalescente indica una coagulación defectuosa). Como requisitos adicionales, las dosis adecuadas deben dar una turbiedad y un color aceptablemente bajos, de acuerdo a la naturaleza del agua natural; conviene además que el pH del agua tratada tenga un valor cercano al óptimo establecido.

f) De todas las dosis que se emplearon y que cumplieron satisfactoriamente las condiciones anteriores, se eligieron las más bajas, que fueron consideradas como la dosis óptima del ensayo y se les determino aluminio residual con el equipo de emisión atómica.

#### **4.10.1. Método de Investigación.**

##### **4.10.1.1. Trabajo de campo**

- Muestreo.

El período de muestreo se dividió en dos etapas, muestreo en época de avenida y época de estiaje considerando los impactos negativos que se generan en los recursos hídricos y la disponibilidad de recursos económicos necesarios para el análisis de las muestras en el laboratorio.

Se realizaron cuatro muestreos, dos en el mes de noviembre y dos en el mes de diciembre del 2015, en cada muestreo se recolecto volúmenes de agua en recipiente

de plástico de 25 litros cada uno, tomadas por el mismo investigador, los envases con muestras de agua eran sellados herméticamente y debidamente rotulados y trasladados al laboratorio de química de la universidad Toribio Rodríguez de Mendoza para la realización de los ensayos y análisis.

Para la toma de las muestras de agua de la quebrada y la planta de tratamiento se evitó las áreas de turbulencia, considerando la profundidad, la velocidad de la corriente y la distancia de separación entre ambas orillas y considerando lo establecido en el protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales, Ministerio de Salud Dirección General de Salud Ambiental “DIGESA” (2007)

- Toma de datos

Los datos experimentales que se utilizaron en el presente estudio se obtuvieron del análisis de tratamiento de agua potable del distrito de Pedro Ruiz Gallo de la quebrada El Ingenio que se realizaron en el mes de noviembre a diciembre del 2015 en las instalaciones del laboratorio de aguas y suelo de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, INDES-CES–Amazonas y el laboratorio de química de la universidad.

#### **4.10.1.2. Trabajo de laboratorio**

- Análisis de las muestras

Los análisis para determinar la presencia de Aluminio residual en agua de consumo del distrito de Pedro Ruiz Gallo se realizaron en el laboratorio de aguas y suelos del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza y el laboratorio de química de la universidad.

#### **4.11. Análisis de los datos**

Para el análisis de datos se consideró los resultados obtenidos en el laboratorio de aguas y suelos del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza y se comparó con los parámetros establecidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú 2011 y los estándares internacionales,

se realizó mediciones de los parámetros físicos y químicos de cada muestras de agua obtenida comparándose con los límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica los que fueron analizados y comparados oportunamente. (tabla 4).

Pruebas estadísticas para determinar el análisis de datos y prueba de hipótesis. Asimismo, los datos fueron analizados utilizando como herramienta a la estadística descriptiva; se determinó porcentajes, media aritmética, desviación estándar, cálculo de datos y la diagramación de gráficos.

Los gráficos estadístico de los datos experimentales se realizaron con el sofwar estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 19,0.

#### **4.12. Análisis estadístico**

Las pruebas estadísticas aplicadas fueron el análisis descriptivo para establecer diferencia entre los niveles de color, turbiedad pH y las diferencias significativas para aluminio residual del agua de consumo, para determinar el análisis de los resultados obtenidos y realizar la comparación con el DS N° 031-2010-SA. (DIGESA), ECAs y los estándares internacionales, los cuales se procesaron, se analizaron, se representan en gráficas y se resumen numéricamente para establecer las correlaciones de los parámetros establecidos.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Primera fase:

Ensayos de tratabilidad con sulfato de aluminio tipo B 500

#### 5.1.1. Resultados de los ensayos de jarras con sulfato de aluminio tipo B 500 con muestras de agua en volumen de 3.500ml.

Tabla 6. Dosis empleada de sal sulfato de aluminio tipo B 500

| Número de ensayos | Dosis empleada sal g. | Dosis de cal g. |
|-------------------|-----------------------|-----------------|
| 1                 | 1,0                   | 0,2             |
| 2                 | 1,3                   | 0,3             |
| 3                 | 1,4                   | 0,4             |
| 4                 | 1,5                   | 0,5             |
| 5                 | 1,0                   | 0,1             |
| 6                 | 1,5                   | 0,2             |
| 7                 | 1,5                   | 0,3             |

Fuente: Elaboración propia. (2016). Anexo 19

Tabla 7. Comportamiento de la turbiedad con sulfato de aluminio tipo B 500

| Numero de Ensayos | Turbiedad inicial agua cruda (UNT) | Turbiedad final con sulfato de aluminio (UNT) |
|-------------------|------------------------------------|---|
| 1                 | 16,81                              | 1,23  |
| 2                 | 16,78                              | 1,39  |
| 3                 | 16,62                              | 1,11  |
| 4                 | 16,79                              | 0,77  |
| 5                 | 16,80                              | 1,12  |
| 6                 | 16,72                              | 1,15  |
| 7                 | 16,80                              | 1,10  |

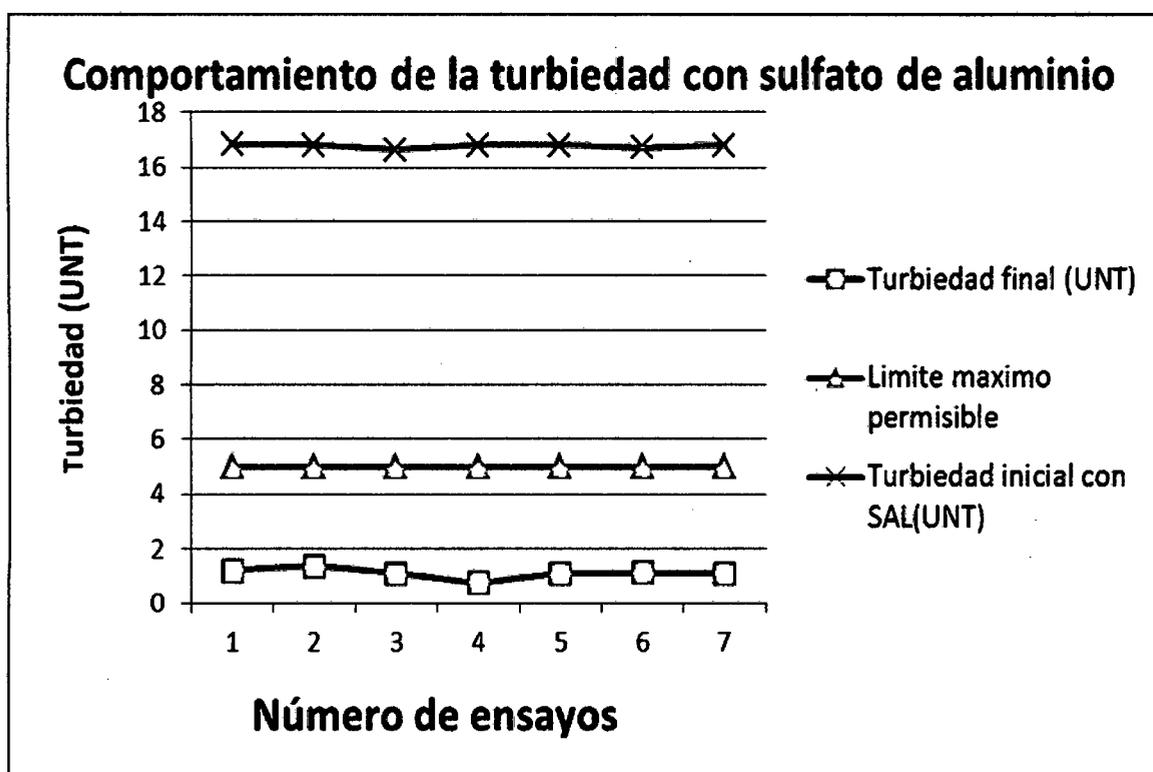
Fuente: Elaboración propia. (2016).

Tabla 8. Porcentaje de remoción de la turbiedad con sulfato de aluminio tipo B 500.

$$\% \text{ de remoción de turbiedad} = \frac{\text{Turbiedad inicial} - \text{Turbiedad final}}{\text{Turbiedad inicial}} \times 100$$

| Número de ensayo | % Remoción de turbiedad con la sal sulfato de aluminio tipo B 500 |
|------------------|---|
| 1                | 92,68   |
| 2                | 91,71   |
| 3                | 93,32   |
| 4                | 95,41   |
| 5                | 93,33   |
| 6                | 93,12   |
| 7                | 93,45   |

Fuente: Elaboración propia. (2016).



**Figura 04:** Comportamiento de la turbiedad con sulfato de aluminio tipo B 500  
Fuente: Elaboración propia. (2016).

### 5.1.2. Análisis de los resultados del comportamiento de la Turbiedad con sal sulfato de aluminio tipo B 500.

La dosis empleada de sulfato de aluminio tipo B 500 varía de 1g. hasta 1.5g.

La turbiedad final obtenida para la sal sulfato de aluminio tipo B 500 se obtuvieron turbiedades finales por debajo de la norma D.S. N° 031-2010 S.A donde se aprecia en el ensayo 4 con 0,77 de turbiedad, seguido por los ensayos 7, 3, 5, 6, 1 y 2 (turbiedad 1,10, 1,11; 1,12;1,15; 1,23 y 1,39) respectivamente

De la información de tabla 07, se desprende que los valores obtenidos antes de la aplicación del sulfato de aluminio tipo B 500 el promedio de turbiedad es de 16,76 con una variabilidad de 0,07, a demás el 50% de los muestras tienen un nivel de turbiedad comprendida entre 16,72 y 16,80, mientras que después de la aplicación de sulfato de aluminio tipo B 500 el promedio de turbiedad es de 1,12, con una variabilidad de 0,19 y además el 50% de las muestras su nivel de turbiedad se encuentran comprendidas entre 1,10 y 1,23, cuyos valores obtenidos son inferiores a los estándares internacionales (Anexo 04).

La distribución de las muestras antes de la aplicación de sulfato de aluminio tipo B 500 presenta una asimetría negativa y curtosis platicurtica no se aproxima a una distribución normal, mientras que después de aplicar sulfato de aluminio tipo B 500 tiene una ligera asimetría negativa y una curtosis leptocurtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 04).

De la tabla 08 se desprende los porcentajes de remoción de turbiedad después de aplicado el sulfato de aluminio tipo B 500, su promedio de turbiedad es de 93,28% con una variabilidad de 1,11, a demás el 50% de los muestras tienen un porcentaje de turbiedad comprendida entre 92,68 y 93,45 (Anexo 05).

La distribución de las muestras antes de la aplicación de sulfato de aluminio tipo B 500 presenta una ligera asimetría positiva y curtosis leptocurtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 05).

Tabla 9. Comportamiento del color con sulfato de aluminio tipo B 500.

| Numero de Ensayos | Color inicial (UPC) | Color final con sulfato de aluminio tipo B 500 (UPC) |
|-------------------|---------------------|--|
| 1                 | 52,00               | 3,0  |
| 2                 | 51,00               | 2,3  |
| 3                 | 51,50               | 2,5  |
| 4                 | 52,00               | 3,0  |
| 5                 | 52,00               | 3,0  |
| 6                 | 51,00               | 2,5  |
| 7                 | 52,00               | 3,0  |

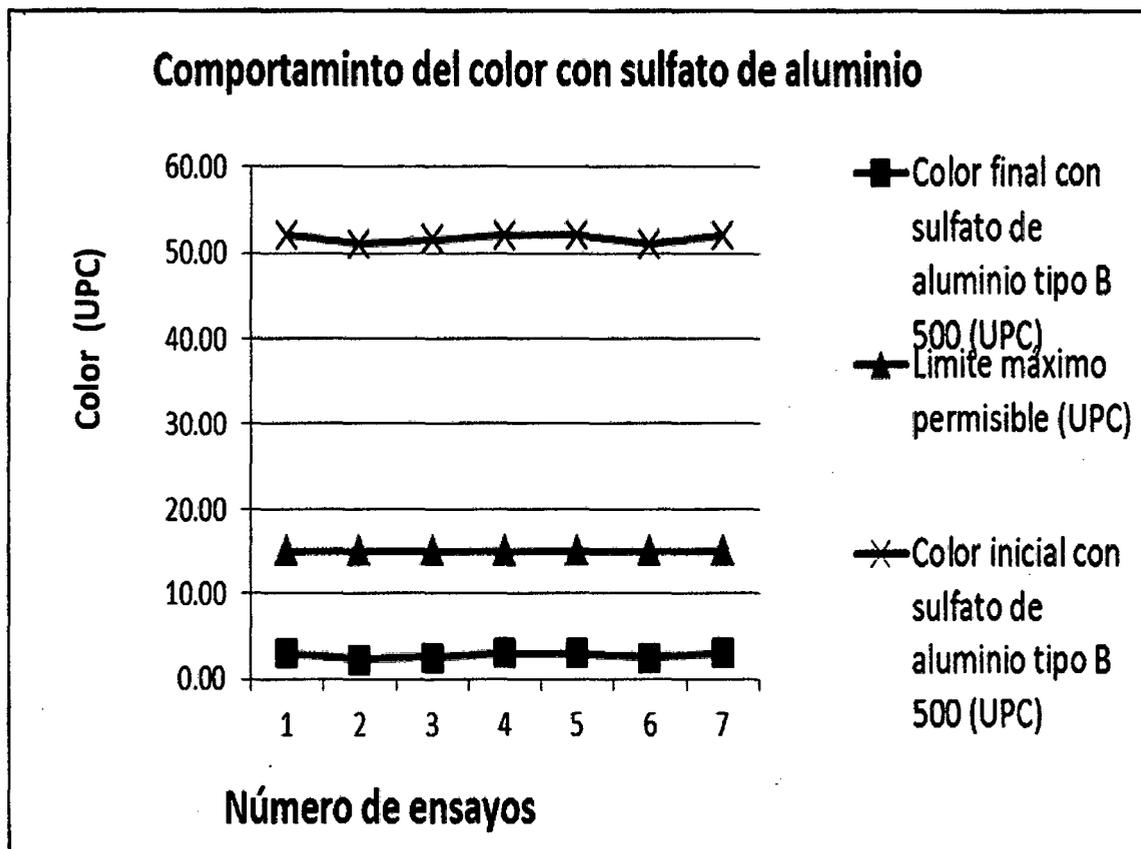
Fuente: Elaboración propia. (2016).

**Tabla 10.** Porcentaje de remoción de color con sulfato de aluminio tipo B 500.

$$\% \text{ Remoción color} = \frac{\text{Color inicial} - \text{Color final}}{\text{Color inicial}} \times 100$$

| Número de ensayos | % Remoción de color con sulfato de aluminio tipo B 500 |
|-------------------|--|
| 1                 | 94,23  |
| 2                 | 95,49  |
| 3                 | 94,17  |
| 4                 | 94,23  |
| 5                 | 94,23  |
| 6                 | 94,17  |
| 7                 | 94,23  |

Fuente: elaboración propia. (2016).



**Figura 05:** Comportamiento del color con sulfato de aluminio tipo B 500

Fuente: Elaboración propia. (2016).

### **5.1.3. Análisis de los resultados del comportamiento del color con sulfato de aluminio tipo B 500 .**

El color de los 7 ensayos realizados con la sal sulfato de aluminio tipo B 500 se obtuvieron por debajo de la norma (15 UPC) encontrándose entre los valores de 2,5 a 3,0 UPC respectivamente.

Los porcentajes de remoción de color con la sal sulfato de aluminio tipo B 500 no variaron mucho entre ellos. De forma general se obtuvieron porcentajes entre 94.17% y 95,49% de los ensayos realizados respectivamente, a medida que los valores de color se encuentran más altos, se obtienen mayor porcentaje de remoción de color.

De la información de la tabla N°9, se desprende que los valores obtenidos antes de la aplicación del sulfato de aluminio tipo B 500 promedio del nivel del color es de 51,64 con una variabilidad de 0,48, a demás el 50% de los muestras tienen un nivel de turbiedad comprendida entre 51,00 y 52,00, mientras que después de la aplicación del sulfato de aluminio tipo B 500 el promedio del nivel de color es de 2,76, con una variabilidad de 0,31 y además el 50% de las muestras su nivel de turbiedad se encuentran comprendidas entre 2,50 y 3,0, cuyos valores obtenidos son inferiores a los estándares internacionales (Anexo 06).

En las muestras de agua antes de la aplicación de sulfato de aluminio tipo B 500 presenta una ligera asimetría negativa y curtosis platicurtica no se comporta de manera normal sino se aproxima a una distribución normal, mientras que después de aplicar sulfato de aluminio tipo B 500 tiene una ligera asimetría negativa y una curtosis platicurtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 06).

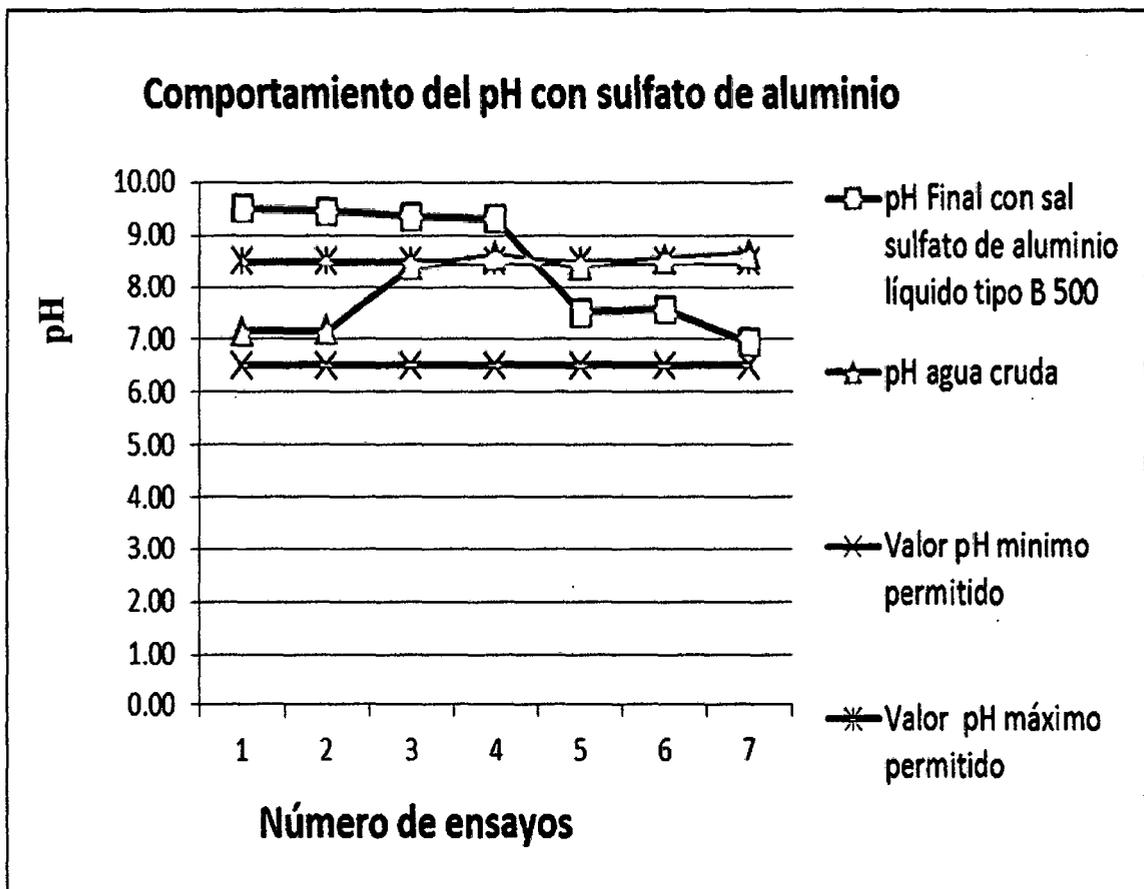
De la tabla 10, se desprende los porcentajes de remoción de los niveles de color después de aplicado el sulfato de aluminio tipo B 500, su promedio es de 94,39% con una variabilidad de 0,48, a demás el 50% de los muestras tienen un porcentaje de niveles de color comprendida entre 94,17 y 94,23, siendo estos porcentajes bastante próximos al 100% (Anexo 07)

La distribución de los porcentajes de las muestras presenta una asimetría positiva y curtosis leptocurtica, no se comporta de manera normal (Anexo 07).

**Tabla 11.** Comportamiento del pH con sulfato de aluminio tipo B 500.

| N° Ensayos | pH inicial | pH final con sal sulfato de aluminio tipo B 500 |
|------------|------------|---|
| 1          | 7,15       | 9,50  |
| 2          | 7,16       | 9,45  |
| 3          | 8,40       | 9,35  |
| 4          | 8,61       | 9,30  |
| 5          | 8,42       | 7,50  |
| 6          | 8,54       | 7,57  |
| 7          | 8,64       | 6,94  |

Fuente: Elaboración propia. (2016).



**Figura 06:** Comportamiento del pH con sulfato de aluminio tipo B 500.

Fuente: Elaboración propia. (2016).

#### **5.1.4. Análisis de los resultados del comportamiento del pH con sulfato de aluminio tipo B 500 .**

Los valores de pH para el agua cruda varían entre 7,15 y 8,54 respectivamente.

Los valores finales de pH en el agua tratada varían entre 6,94 y 9,50 debido a la reacción del aluminio con el agua que causan un brusco aumento y descenso en el pH siendo necesario el adicionamiento de cal para lograr un previo aumento de la alcalinidad y pH y que la reacción del aluminio con la alcalinidad y el agua sea más efectiva, la disminución del pH es mucho más lenta debido a las propiedades de agua.

La normativa D.S. N° 031-2010 S.A establece el rango para el pH que debe estar comprendido entre 6,5 y 8,5 unidades, de acuerdo a los rangos obtenidos experimentalmente se sugiere realizar el ajuste final del pH para el cumplimiento según la norma y ECAs.

De los 7 ensayos realizados solo en tres (7,5 y 6) se obtuvieron pH finales por debajo de la norma (6,94; 7,5 y 7,57) y en cuatro ensayos (1, 2, 3 y 4) por encima de la norma D.S. N° 031-2010 S.A.

De la información del Cuadro 11, se desprende que los valores obtenidos antes de la aplicación del sulfato de aluminio tipo B 500 promedio del nivel de pH es de 7,67 con una variabilidad de 0,36, a demás el 50% de las muestras tienen un nivel del pH comprendido entre 7,16 y 7,92, mientras que después de la aplicación de sulfato de aluminio tipo B 500 el promedio del nivel de pH es de 8,39, con una variabilidad de 0,31 y además el 50% de las muestras su nivel de pH se encuentran comprendidas entre 7,50 y 9,20, cuyos valores obtenidos no inferiores a los estándares internacionales (Anexo 08).

En las muestras de agua antes de la aplicación de sulfato de aluminio tipo B 500 presenta una asimetría negativa y una ligera curtosis platicúrtica no se comporta de manera normal sino se aproxima a una distribución normal, mientras que después de aplicar sulfato de aluminio tipo B 500 tiene una muy ligera asimetría negativa y una curtosis platicúrtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 08).

Tabla 12. Comportamiento del aluminio residual con sulfato de aluminio tipo B 500.

| Número de ensayos | Concentración inicial con sulfato de aluminio tipo B 500 ppm | Concentración final de aluminio residual con sulfato de aluminio tipo B 500 ppm |
|-------------------|--|---|
| 1                 | 0,0  | 0,33  |
| 2                 | 0,0  | 0,43  |
| 3                 | 0,0  | 0,51  |
| 4                 | 0,0  | 0,44  |
| 5                 | 0,0  | 0,06  |
| 6                 | 0,0  | 0,06  |
| 7                 | 0,0  | 0,05  |

Fuente: Elaboración propia. (2016).

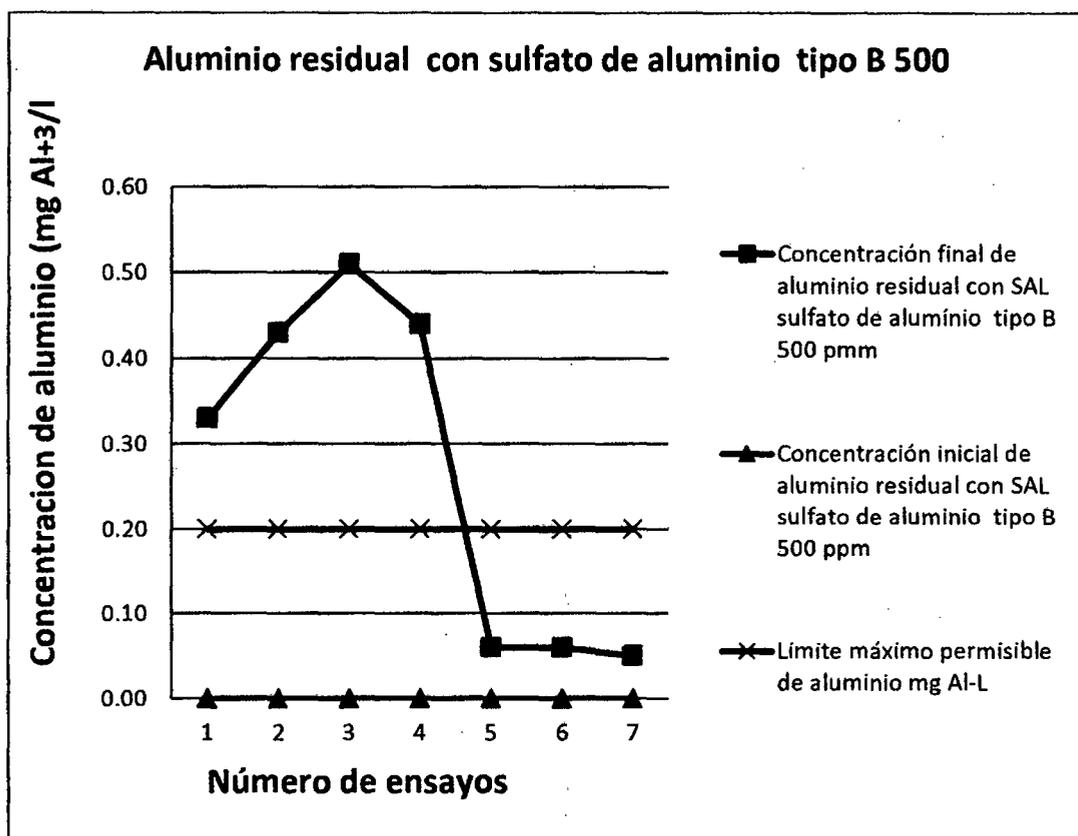
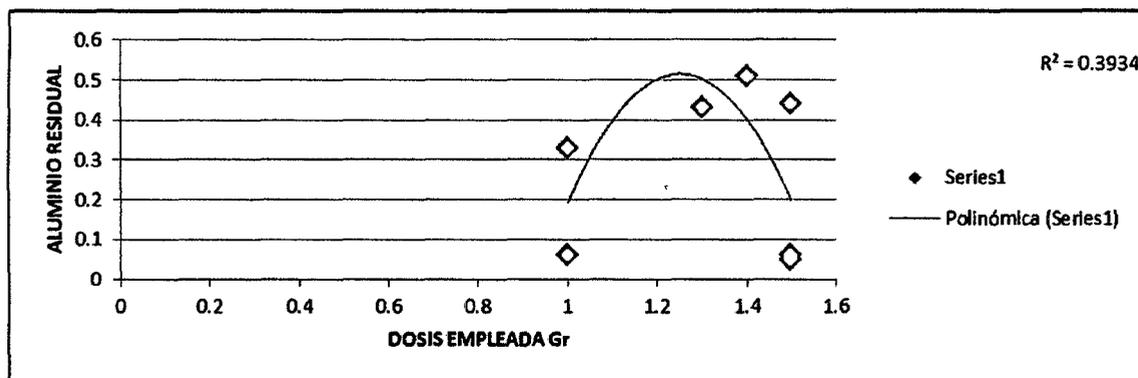


Figura 07. Comportamiento del aluminio residual con sulfato de aluminio tipo B 500

Fuente: Elaboración propia. (2016).



**Figura 08.** Resultados de los ensayos con sulfato de aluminio tipo B 500.

Fuente: Elaboración propia. (2016).

### 5.1.5. Análisis de los resultados del comportamiento del Aluminio residual con sulfato de aluminio tipo B 500.

Según los valores obtenidos de aluminio residual, se puede observar que en los ensayos 1, 2, 3 y 4 (0,33; 0,43; 0,51 y 0,49) están por encima de la norma según D.S. N° 031-2010 S.A y en los ensayos 5, 6 y 7 (0,06; 0,06 y 0,05) están por debajo de lo establecido por la norma y ECA que establece el límite máximo permisible de aluminio en 0,2 mgAl<sup>+3</sup>/L.

De la tabla 12, se desprende que después de aplicado el sulfato de aluminio tipo B 500, su promedio de residuo de aluminio en el agua es de 0,27 con una variabilidad de 0,21, además el 50% de los muestras tienen un nivel de aluminio comprendido entre 0,06 y 0,44 (anexo 09).

En las muestras de agua después de la aplicación del sulfato de aluminio tipo B 500 presenta una ligera asimetría negativa y curtosis platicurtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 09).

Se puede determinar que en algunos de los ensayos donde el agua cruda tiene poca turbiedad el aluminio tiende a salirse de la norma esto probablemente se debe a las características del agua cruda, ya que la turbiedad del agua ayuda al floc a precipitar y permite la reacción del aluminio.

En la figura 08 se observa que existe una correlación baja entre la dosis empleada y los ensayos con sulfato de aluminio tipo B 500, mostrando  $R^2 = 0,3934$

## 5.2. Segunda fase:

Ensayos de tratabilidad con Policloruro de Aluminio (PAC)

### 5.2.1. Resultados de los ensayos de jarra con Policloruro de Aluminio (PAC) con muestras de agua en volumen de 3.500ml.

Tabla 13. Dosis empleada de sal policloruro de aluminio (PAC)

| Número de ensayos | Dosis empleada g. | Dosis de cal |
|-------------------|-------------------|--------------|
| 1                 | 1,0               | 0,2          |
| 2                 | 1,3               | 0,3          |
| 3                 | 1,4               | 0,4          |
| 4                 | 1,5               | 0,5          |
| 5                 | 1,0               | 0,1          |
| 6                 | 1,5               | 0,2          |
| 7                 | 1,5               | 0,3          |

Fuente: Elaboración propia. (2016). Anexo 20

Tabla 14. Comportamiento de la turbiedad con PAC

| Número de Ensayos | Turbiedad inicial (UNT) | Turbiedad final con PAC (UNT) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1                 | 19,86                   | 1,15                          |
| 2                 | 20,30                   | 1,45                          |
| 3                 | 20,08                   | 1,20                          |
| 4                 | 20,45                   | 0,90                          |
| 5                 | 19,97                   | 0,80                          |
| 6                 | 20,00                   | 0,85                          |
| 7                 | 19,94                   | 0,65                          |

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Tabla 15. Porcentaje de remoción de la turbiedad con policloruro de aluminio (PAC).

$$\% \text{ DE REMOCION DETURBIEDAD} = \frac{\text{Turbiedad inicial} - \text{Turbiedad final}}{\text{Turbiedad inicial}} \times 100$$

| Número de ensayo | % Remoción con policloruro de aluminio (PAC). |
|------------------|---|
| 1                | 94,20   |
| 2                | 92,85   |
| 3                | 94,02   |
| 4                | 95,59   |
| 5                | 95,99   |
| 6                | 95,75   |
| 7                | 96,74   |

Fuente: Elaboración propia. (2016).

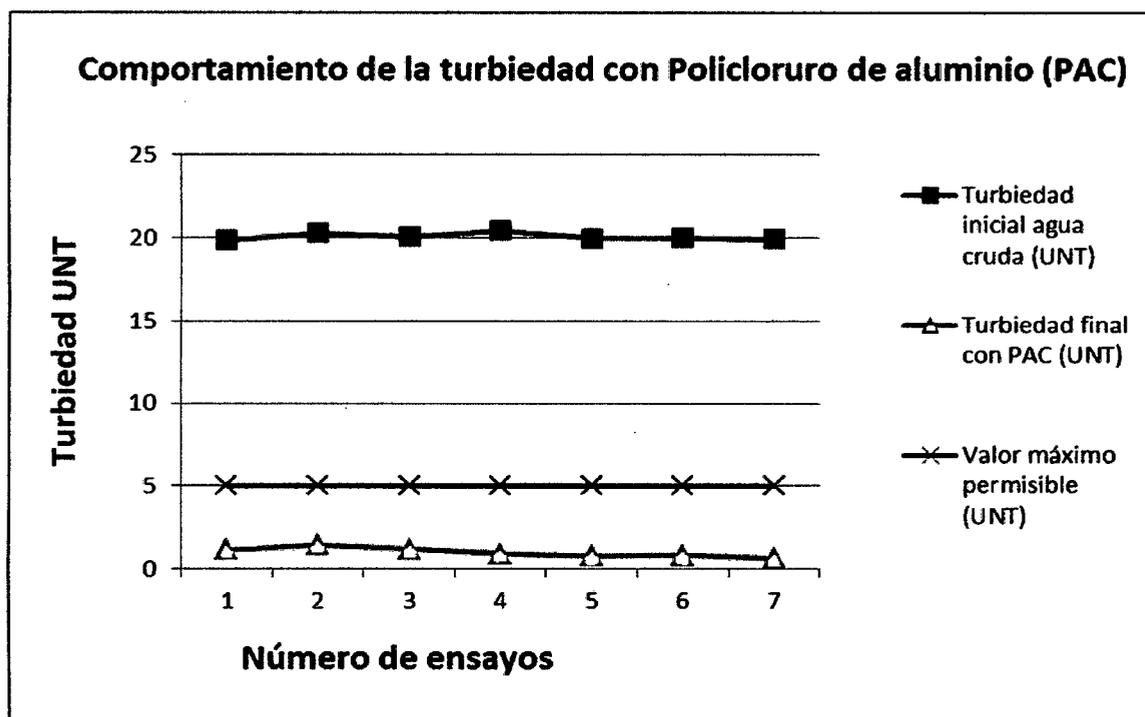


Figura 09. Comportamiento de la turbiedad con PAC

Fuente: Elaboración propia. (2016).

### 5.2.2. Análisis de los resultados del comportamiento de la turbiedad con PAC

La dosis utilizada de Policloruro de Aluminio (PAC) se encuentra entre 1,0 y 1,5 g.

De los 7 ensayos realizados todos se encuentran por debajo de lo establecido por la norma D.S. N° 031-2010 S.A que establece como límite máximo permisible de turbiedad de 5 UNT para el agua de consumo humano y Organización Mundial para la Salud, y estará idealmente por debajo de 1 UNT.

Los porcentajes de remoción de turbiedad se obtuvieron valores relativamente muy altos que se encuentran entre 92,85 y 96,74% de remoción de turbiedad en los ensayos realizados respectivamente.

De la información de la tabla 14, se desprende que los valores obtenidos antes de la aplicación del PAC el promedio de turbiedad es de 20,09 con una variabilidad de 0,21, a demás el 50% de los muestras tienen un nivel de turbiedad comprendida entre 19,94 y 20,30, mientras que después de la aplicación del PAC el promedio de turbiedad es de 1,00, con una variabilidad de 0,28 y además el 50% de las muestras

su nivel de turbiedad se encuentran comprendidas entre 0,80 y 1,20 cuyos valores obtenidos son muy inferiores a los estándares internacionales (Anexo 10).

En las muestras de agua antes de la aplicación del PAC presenta una asimetría positiva y curtosis platicurtica no se aproxima a una distribución normal, mientras que después de aplicar PAC tiene una ligera asimetría positiva y una curtosis platicurtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 10).

De la tabla 15, se desprende los porcentajes de remoción de turbiedad después de aplicado el PAC, su promedio de turbiedad es de 95,02% con una variabilidad de 1,36 a demás el 50% de los muestras tienen un porcentaje de turbiedad comprendida entre 94,02 y 95,99 (Anexo 11).

En las muestras de agua antes de la aplicación del PAC presenta una ligera asimetría negativa y una ligera curtosis platicurtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 11).

Tabla 16. Comportamiento del color con policloruro de aluminio (PAC).

| Numero de Ensayos | Color inicial (UPC) | Color final con policloruro de aluminio (UPC) |
|-------------------|---------------------|---|
| 1                 | 53,00               | 2,0   |
| 2                 | 51,00               | 1,3   |
| 3                 | 51,50               | 1,5   |
| 4                 | 52,00               | 2,0   |
| 5                 | 53,00               | 2,0   |
| 6                 | 51,00               | 1,3   |
| 7                 | 51,00               | 1,2   |

Fuente: Elaboración propia. (2016).

Tabla 17. Remoción de color con policloruro de aluminio (PAC).

$$\% \text{ De remoción del color} = \frac{\text{Color inicial} - \text{Color final}}{\text{Color inicial}} \times 100$$

| Número de ensayos | % Remoción de color con policloruro de aluminio (PAC). |
|-------------------|--|
| 1                 | 96,22  |
| 2                 | 97,45  |
| 3                 | 97,08  |
| 4                 | 96,15  |
| 5                 | 96,22  |
| 6                 | 97,45  |
| 7                 | 97,64  |

Fuente: Elaboración propia. (2016).

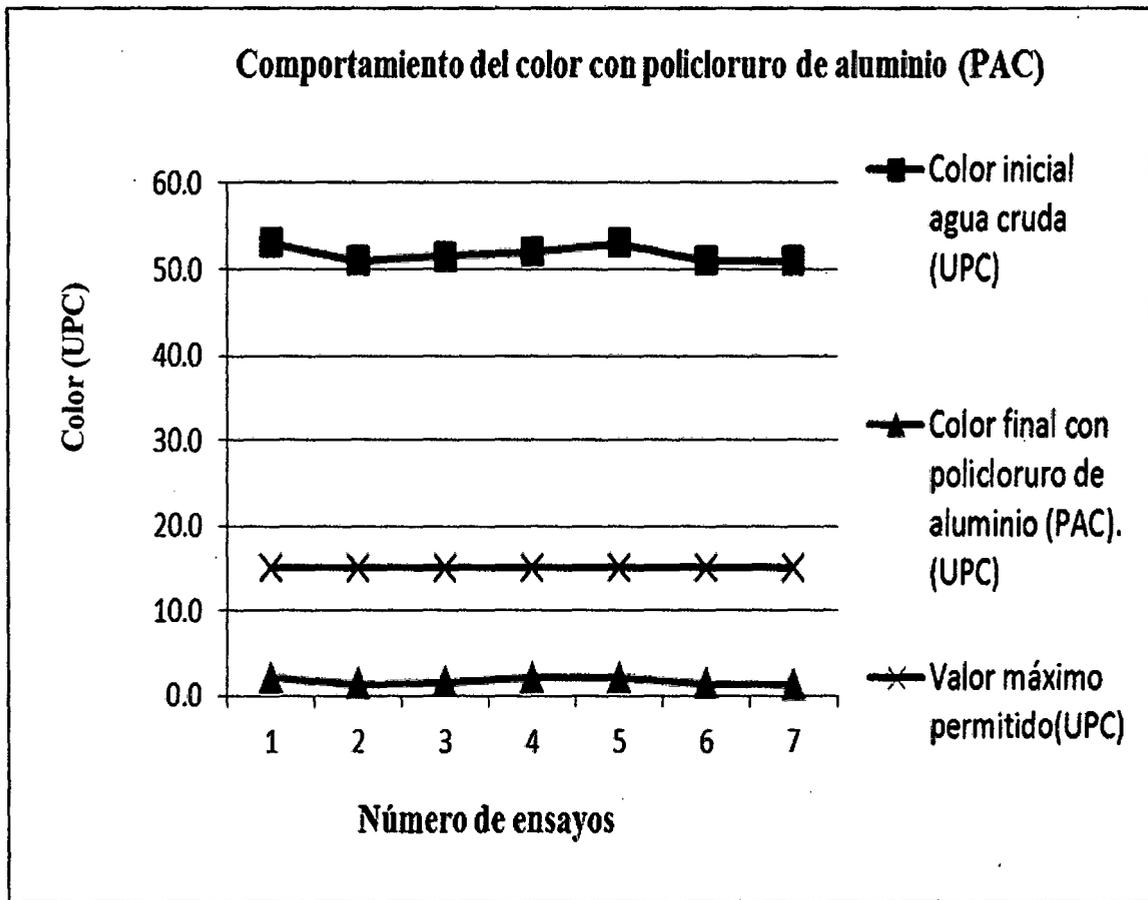


Figura 10. Comportamiento del color con PAC

Fuente: Elaboración propia. (2016).

### **5.2.3. Análisis de los resultados del comportamiento del color con PAC**

De los 7 ensayos realizados se obtuvieron valores por debajo de lo establecido por la norma D.S. N° 031-2010 S.A y la OMS (15 UPC) que se encuentran entre 1,2 y 2,0 UPC respectivamente.

Con el PAC los valores obtenidos en la remoción del color en los 7 ensayos se han obtenido coloraciones óptimas de color por debajo de la norma, los Estándares de Calidad Ambiental para agua y la OMS es 15 unidades de color (UC) para aguas de bebida.

Como consecuencia de estos valores la eficiencia de remoción con el PAC podemos afirmar que presenta valores más bajos de eficiencia como se aprecia en el ensayo 7 con 1,2 UPC seguido por los ensayos 6, 3 y 1 respectivamente.

De la información de la tabla 16, se desprende que los valores obtenidos antes de la aplicación del PAC promedio del nivel de color es de 51,79 con una variabilidad de 0,91, a demás el 50% de las muestras tienen un nivel de turbiedad comprendida entre 51,00 y 53,00, mientras que después de la aplicación del PAC el promedio del nivel de color es de 1,61, con una variabilidad de 0,37 y además el 50% de las muestras su nivel de turbiedad se encuentran comprendidas entre 1,30 y 2,00, cuyos valores obtenidos son inferiores a los estándares internacionales (Anexo 12).

En las muestras de agua antes de la aplicación del PAC presenta una ligera asimetría positiva y curtosis platicurtica no se comporta de manera normal sino se aproxima a una distribución normal, mientras que después de aplicar PAC tiene una ligera asimetría positiva y una curtosis platicurtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 12).

De la tabla 17, se desprende los porcentajes de remoción de los niveles de color después de aplicado el PAC, su promedio es de 96,89% con una variabilidad de 0,67, a demás el 50% de los muestras tienen un porcentaje de niveles de color comprendida entre 96,22 y 97,45, siendo estos porcentajes bastante próximos al 100% (Anexo 13)

La distribución de los porcentajes de las muestras presenta una ligera asimetría negativa y curtosis platicúrtica, no se comporta de manera normal, pero aproximada a la normal (Anexo 13)

Tabla 18. Comportamiento del pH con policloruro de aluminio (PAC).

| N° Ensayos | pH inicial policloruro de aluminio (PAC) | pH final con policloruro de aluminio (PAC) |
|------------|--|--|
| 1          | 7,15                                     | 8,80                                       |
| 2          | 7,16                                     | 8,90                                       |
| 3          | 7,82                                     | 9,20                                       |
| 4          | 7,92                                     | 9,90                                       |
| 5          | 7,84                                     | 7,50                                       |
| 6          | 7,92                                     | 7,50                                       |
| 7          | 7,81                                     | 6,94                                       |

Fuente: Elaboración propia. (2016).

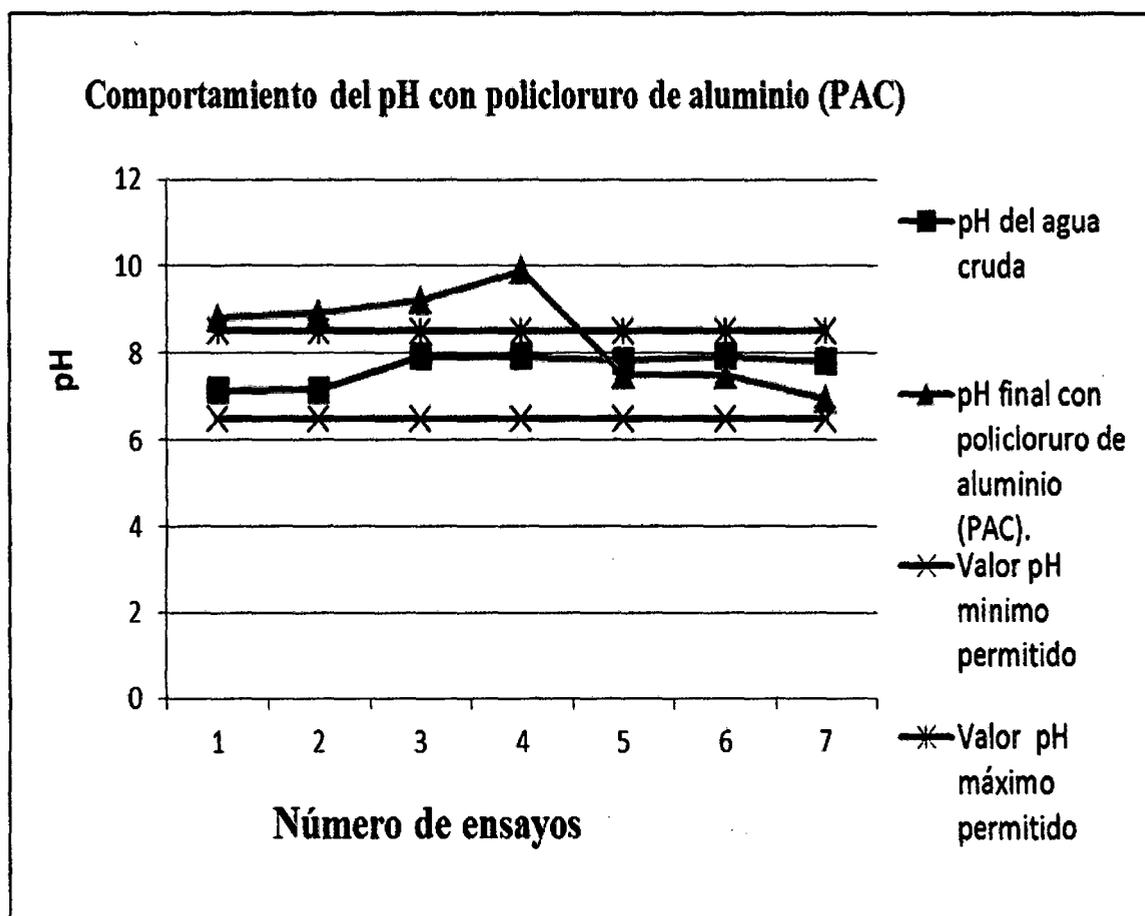


Figura 11. Comportamiento del pH con PAC

Fuente: Elaboración propia. (2016).

#### **5.2.4. Análisis de los resultados del comportamiento del pH con PAC**

Los valores del pH para el agua cruda varían entre 7,15 y 7,92 respectivamente.

Los valores de pH obteniendo después del tratamiento con la sal policloruro de aluminio (PAC) en los ensayos 5, 6 y 7 muestran una ligera disminución que se encuentran entre 6,94 y 7,50 por debajo de los estándares establecidos (6,5 -8,5), debido a la reacción del aluminio con el agua que causan un brusco descenso en el pH siendo necesario el adicionamiento de cal para lograr un previo aumento de la alcalinidad y pH y que la reacción del aluminio con la alcalinidad y el agua desciendan, la disminución del pH es mucho más lenta por eso se observan valores en los ensayos 1, 2, 3 y 4 (8,80-9,90) por encima de lo establecido por la norma D.S. N° 031-2010 S.A que dichos valores es necesario realizar el proceso de ajuste en el pH final mediante el encalado del agua.

La normativa para el pH D.S. N° 031-2010 S.A. establece el rango para el pH que debe estar comprendido entre 6.5 y 8.5 unidades, de acuerdo a los rangos obtenidos experimentalmente y se sugiere realizar el ajuste final del pH para el cumplimiento de la norma y los ECA.

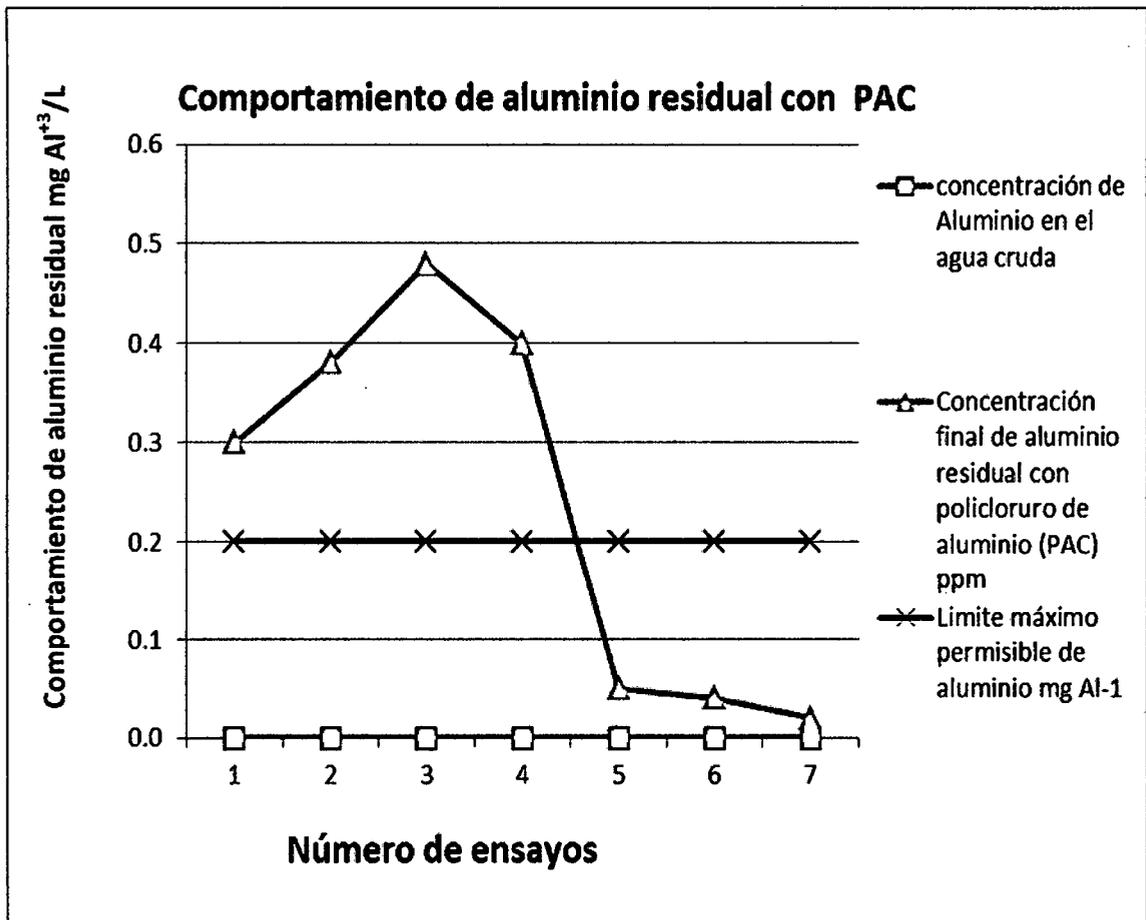
De la información de la tabla 18, se desprende que los valores obtenidos antes de la aplicación del PAC promedio del nivel de pH es de 7,66 con una variabilidad de 0,35, a demás el 50% de los muestras tienen un nivel del pH comprendido entre 7,16 y 7,92, mientras que después de la aplicación de PAC el promedio del nivel de pH es de 8,39, con una variabilidad de 1,08 y además el 50% de las muestras su nivel de pH se encuentran comprendidas entre 7,50 y 9,20, cuyos valores obtenidos no inferiores a los estándares internacionales (Anexo 14).

En las muestras de agua antes de la aplicación del PAC presenta una asimetría negativa y una ligera curtosis platicurtica no se comporta de manera normal sino se aproxima a una distribución normal, mientras que después de aplicar el PAC tiene una muy ligera asimetría negativa y una curtosis platicurtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 14).

**Tabla 19.** Comportamiento del aluminio residual con policloruro de aluminio (PAC)

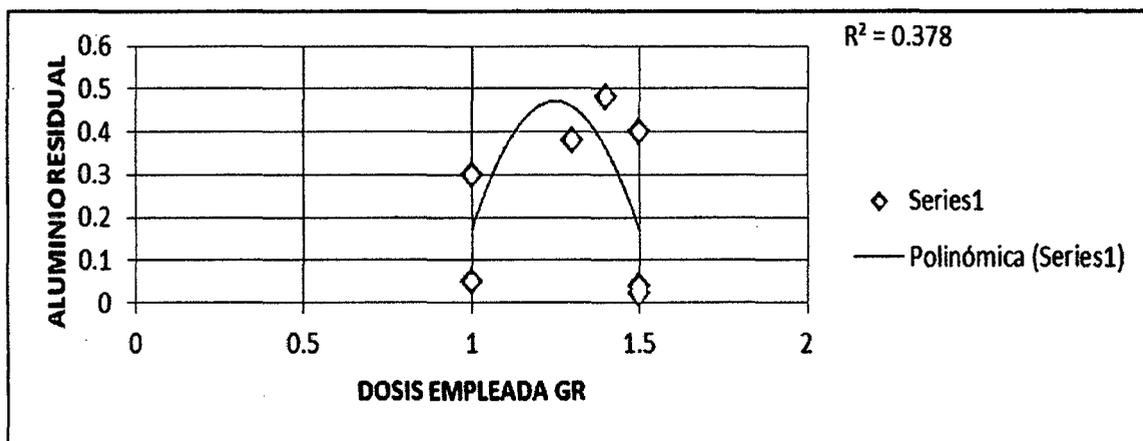
| Número de ensayos | Concentración inicial de aluminio residual con (PAC) ppm | Concentración final de aluminio residual con policloruro de aluminio (PAC) ppm |
|-------------------|--|--|
| 1                 | 0,0  | 0,30   |
| 2                 | 0,0  | 0,38   |
| 3                 | 0,0  | 0,48   |
| 4                 | 0,0  | 0,40   |
| 5                 | 0,0  | 0,05   |
| 6                 | 0,0  | 0,04   |
| 7                 | 0,0  | 0,02   |

Fuente: Elaboración propia. (2016).



**Figura 12.** Comportamiento del Aluminio Residual con PAC

Fuente: Elaboración propia. (2016).



**Figura 13.** Resultados de los ensayos de jarras con policloruro de aluminio (PAC).  
**Fuente:** Elaboración propia. (2016).

### 5.2.5. Análisis de los resultados del comportamiento del aluminio residual con PAC

En la tabla 19 se observa los resultados de aluminio residual con policloruro de aluminio (PAC) los valores de aluminio residual que se obtuvieron para los ensayos 7, 6 y 5 (0,02; 0,04 y 0,05) por debajo de la norma, los ECA y la OMS, sin embargo hay una tendencia marcada que se observa en 4 ensayos 1, 2, 4 y 3 (0,30; 0,38; 0,40 y 0,48) valores de aluminio residual más altos por fuera de la norma respectivamente.

En la figura 13 se observa que existe una correlación baja entre la dosis empleada y los ensayos con policloruro de aluminio (PAC) mostrando un  $R^2=0,378$ .

De la tabla 15, se desprende que después de aplicado el PAC, su promedio de residuo de aluminio en el agua es de 0,24 con una variabilidad de 0,20, además el 50% de los muestras tienen un nivel de aluminio comprendido entre 0,04 y 0,40, el estándar de calidad se encuentra entre ese rango (Anexo 15)

La distribución de las muestras después de la aplicación de PAC presenta una ligera asimetría negativa y curtosis platicúrtica, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a una distribución normal (Anexo 15).

## VI. DISCUSIÓN

Se pudo observar que en los 7 ensayo se logró obtener buenos resultados después del tratamiento con el sulfato de aluminio tipo B 500 y policloruro de aluminio donde los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro del rango que exige el decreto D.S. N° 031-2010 S.A que la hace apta para el consumo humano.

En los ensayos se obtuvieron valores de turbiedad por debajo de la norma (5 UNT) con sulfato de aluminio tipo B 500 (0,77; 1,10; 1,11; 1,12; 1,15; 1,123 y 1,23) y con el policloruro de aluminio (0,65; 0,80; 0,85; 0,90; 1,15; 1,20 y 1,45), mejores valores se obtuvieron con el PAC lo que es más efectivo el uso de este tratamiento en cuanto a turbiedad y aluminio residual, a comparación en los ensayos realizados (Castrillon y Giraldo 2012) en la planta de tratamiento de Villa Santa Ecuador, en sus resultados obtenidos se obtuvieron ensayos con turbiedades bajas y se requieren mayores dosis de coagulantes que en ensayos con turbiedades altas que requieren dosis de coagulantes entre 35mg/l y 47 mg/l, los ensayos realizados con policloruro de aluminio en Pereira, los mayores porcentajes de remoción de turbiedad se obtuvieron valores de turbiedad relativamente altos, mientras que para los valores menores el porcentaje de remoción varió entre el 30 y el 85%, con sulfato de aluminio en cada ensayo no variaron mucho entre sí, de forma general estos estuvieron entre el 50% y el 96% de remoción según Murillo (2011). El porcentaje de remoción de turbiedad indica la eficiencia del sistema de clarificación y mide la fracción de la turbiedad inicial del agua cruda removida durante el proceso y se observa que al usar hidroxiclورو de aluminio, se obtienen mayores porcentajes de remoción de turbiedad que los logrados con el sulfato de aluminio tipo B (Cogollo, 2010)

En todos los ensayos realizados con sulfato de aluminio tipo B 500 y PAC se obtuvieron valores para el color por debajo del máximo permitido (15 UPC), valores que se encuentra para el sulfato de aluminio en 2,3 y 3,0 UPC respectivamente, el PAC valores entre 1,2 y 2,0 UPC, obteniendo mejores resultados en color con el PAC., a comparación en los ensayos realizados en dos muestras se obtuvieron valores para el color por encima de

máximo permitido, 35 y 22 UPC (Castrillón y Giraldo 2012), y Murillo (2011) de los 30 ensayos con sulfato de aluminio solo cuatro valores estuvieron por encima de la norma (15 UPC), tres de ellos corresponden al sal C y uno al sal A. Los colores finales en tres ensayos con sal C se encuentran al límite de la norma. Con sal A en un ensayo se obtiene un color final de 23,5 UPC, los porcentajes de remoción de color, estos estuvieron entre el 54% y el 98% de remoción, con PAC de los 30 ensayos 16 estuvieron por encima de la norma (15 UPC), y 14 por debajo de la norma.

En los ensayos realizados para la determinación del pH, se lograron resultados en cuanto a los parámetros y están dentro del rango con sulfato de aluminio tipo B 500, cuatro ensayo (1; 2; 3 y 4) se obtuvieron pH entre 9,30 y 9,50 por encima de lo establecido por la norma para ambos ensayos y en tres ensayos (5; 6; 7) entre valores 6,94 y 7,5; con PAC en cuatro ensayos (1; 2; 3 y 4) se obtuvieron valores de 8,80 y 9,90 y en tres ensayos (5, 6 y 7) que se encuentran entre 6,94 y 7,50 obteniéndose mejores resultados con el PAC, a esto se debe al tiempo de reacción de los coagulantes, a comparación de los resultados obtenidos que en solo dos ensayos se obtuvieron pH óptimos y se encuentran dentro de los valores permisibles que exige la norma Murillo (2011), en la planta de tratamiento de Villa Santa Ecuador, los valores de pH finales varían entre 6,38 y 7,19 los que se encuentran dentro de lo establecido por la norma (Castillon y Giraldo 2012).

En las muestras analizadas de los ensayos 5, 6 y 7 arrojaron resultados óptimos en cuanto aluminio residual (0,06; 0,06 y 0,05) con sulfato de aluminio tipo B 500 por debajo de los estándares establecidos de igual manera con el PAC se obtuvieron mejores resultados en los ensayos 5, 6 y 7 con valores de aluminio residual (0,05; 0,04 y 0,02) los que se encuentran por debajo de la norma y los estándares establecidos para agua de consumo humano, en los ensayos 1; 2; 3 y 4 se encuentran fuera de lo establecido por la norma para ambos tratamientos (0,2 mg/l). Los ensayos realizados con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio en Pereira, los dos productos arrojaron valores mayores de aluminio residual establecido por la norma con sulfato de aluminio, con PAC ninguno de los ensayos presento valores por fuera de la norma, sin embargo sí hay una tendencia marcada en cuanto a que un sólo producto presento los valores de aluminio residual más altos 0,174 ppm. Murillo (2011). En varios experimentos de clarificación de aguas usando

un PAC como coagulante se ha encontrado que el aluminio residual en el agua tratada se reduce con respecto al agua cruda. En los resultados obtenidos se observa que en el proceso de clarificación con hidroxiclورو de aluminio se logra una disminución de la cantidad de aluminio residual presente en el agua cruda; mientras que en el proceso con sulfato de aluminio tipo B se produce un incremento en dicha variable. (Cogollo, 2010).

Se pone de manifiesto que al dejar almacenada el agua por cierto tiempo antes de su consumo, la concentración de aluminio disminuye y también se puede observar que esta disminución no es un valor constante, dado que la sedimentación es función del tiempo que se deja el agua en reposo y se aumenta el tiempo de sedimentación la concentración de aluminio residual disminuye considerablemente. González y Hernández (1991) al hacer un análisis de los resultados se observa la gran disminución en la concentración de los iones, en especial del aluminio, al pasar el agua por un filtro casero. Esto significa que el aluminio total determinado en el agua está parcialmente en forma disuelta y parcialmente en forma de flóculos en suspensión, por esa razón es posible encontrar valores muy elevados, como en el caso de Lomas del Este 1,147 mg/l, Michelena 1,780 mg/l, Ciudad Alianza 1,080 mg/l. González y Hernández (1991). En condiciones operativas adecuadas, la concentración de aluminio puede reducirse hasta 0,1 mg/l o menos en instalaciones de tratamiento del agua de gran tamaño y en instalaciones pequeñas, es factible alcanzar una concentración de 0,2 mg/l o menos de aluminio en el agua tratada OMS (1993)

Al momento de pasar de la teoría a la práctica el agua se comporta siempre de una manera diferente, debido a que no solo influyen los factores estudiados, turbiedad y color, sino también factores como la alcalinidad y la dureza. El comportamiento de las características de alcalinidad total y dureza total es prácticamente invariable a lo largo del proceso de clarificación con PAC's y se nota que el grado afectación de la alcalinidad total es 5 veces menor y el de la dureza total 9 veces menor en el proceso con hidroxiclورو de aluminio con respecto al experimentado por estas variables en el proceso de clarificación con sulfato de aluminio tipo B Cogollo (2010).

La concentración de sustancias disueltas en el agua varía dependiendo de la localización geográfica y la estación del año. En lo que respecta a componentes activos, los iones calcio y magnesio son dos de los componentes químicos más importantes presentes en las aguas

de consumo público y constituyen el mayor porcentaje de lo que se conoce como dureza del agua que influye a la hora del tratamiento.

El agua siempre se comporta de una manera diferente debido a las sustancias que pueden venir disueltas en ella lo que altera los parámetros fisicoquímicos de esta y hace que su tratamiento no siempre sea igual y sencillo, además las aguas procedentes de los ríos necesitan un tratamiento complejo y caro antes de ser suministradas a los consumidores, debido a que las precipitaciones traen cantidades apreciables de material sólido a la tierra como el polvo, polen, bacterias, esporas, e incluso, organismos mayores.

Se observa que los porcentajes de remoción de la turbiedad con sulfato de aluminio tipo B 500 se encuentran por encima del 91,71% y los del color en 94,23%, y con policloruro de aluminio (PAC) los porcentajes de remoción de turbiedad se encuentran por encima 94,20% y los de color se eleva al 96,22 % lo cual demuestra que es el más efectivo en comparación con el sulfato de aluminio al utilizarlo en el tratamiento de aguas, pero también se indica que las dosis de coagulante halladas son efectivas; teniéndose en cuenta que en la mayoría de los ensayos se logró remover la turbiedad y el color inicial, dejando como resultados muestras tratadas aptas para el consumo con parámetros fisicoquímicos finales de color y turbiedad dentro del rango permisibles que exige la norma D.S. N° 031-2010 S.A. El porcentaje de remoción de turbiedad indica la eficiencia del sistema de clarificación y mide la fracción de la turbiedad inicial del agua cruda removida durante el proceso y se observa que al usar hidroxicloriguro de aluminio, se obtienen mayores porcentajes de remoción de turbiedad que los logrados con el sulfato de aluminio tipo B, (Cogollo, 2010)

Al agregarse sulfato de aluminio al agua este se hidroliza provocando una disminución del pH, debido a esto se puede observar que el comportamiento del pH en todos los ensayos no es el mismo en el agua tratada de la quebrada El Ingenio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

De los análisis realizados muchas veces el pH del agua después del tratamiento con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio quedan fuera del rango permisible en cuatro ensayos con ambos tratamientos pero este se puede lograr realizando un ajuste en el pH adicionándole cal. Después de la dosificación con sulfato de aluminio el pH de las muestras disminuye, entonces a mayor dosificación de sulfato de aluminio granulado tipo

B menor pH. Castrillón y Giraldo (2012), el rango de pH es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo entonces se debe aumentar la cantidad del coagulante; por lo tanto la dosis requerida es alta Andía (2000).

## VII. CONCLUSIONES

1. Los ensayos de tratabilidad realizados en la planta de tratamiento de agua potable con Sulfato de Aluminio tipo B 500 y Policloruro de Aluminio presentaron un comportamiento similar en cuanto a la remoción de la turbiedad y de color; para todos los ensayos, los valores obtenidos cumplieron con las exigencias del D.S. N° 031-2010 S.A, ECA y OMS que establece que la turbiedad del agua tratada no debe exceder el valor de 5 UNT, y para el color no debe exceder el valor de 15 UPC. Y se observó que existe una correlación lineal entre la dosis empleada de coagulante y la turbiedad del agua cruda dado que en los ensayos experimentales se obtuvo mejores resultados con el Policloruro de aluminio (PAC) en las muestras de agua tratadas de la planta de tratamiento de agua del distrito de Pedro Ruiz Gallo.
2. Sin embargo la efectividad de cada producto arrojaron valores en los parámetros de color, turbiedad y pH obtenidos en los ensayos con Sulfato de Aluminio tipo B 500 mostraron valores en los 7 ensayos muy por debajo de la norma en relación a la remoción del color valores entre 2,5 y 3,0 UPC; turbiedad valores entre 0,77 y 1,39 en el pH arrojaron valores en cuatro ensayos muy por encima de la norma y en tres ensayo valores entre 6,94 y 7,57 muy por debajo de la norma respectivamente, sin embargo el PAC es más eficiente como coagulante en el tratamiento de agua para el consumo en la planta de tratamiento del distrito de Pedro Ruiz Gallo mostrando mejores resultados en la efectividad de remoción del color debido a que se logró mayor remoción en los siete ensayos que se encuentran entre 1,2 y 2,0 (UPC) por debajo de los estándares establecidos siendo más efectivo el PAC, en relación a la remoción de turbiedad se logró mayor remoción obteniéndose valores en los siete ensayos que se encuentran entre 0,65 y 1,45 UNT muy por debajo de los estándares establecidos, sin embargo el PAC resulto ser más eficiente en relación al pH del agua tratada mostrando mejores resultados en tres ensayos valores que se encuentra entre 6,94 y 7,50 por debajo de lo establecido y en 4 ensayos (8,80; 9,90) por encima de la norma demostrando ser el más efectivo el PAC en comparación con el sulfato de aluminio. El Policloruro de Aluminio (PAC) es el más efectivo en 3

ensayos presentaron aluminio residual por debajo de la norma, ensayos 7; 6 y 5 (0,02; 0,04 y 0,05 ppm) estos 3 tratamiento son los más eficientes con esta metodología debido a los valores que cumplieron con las exigencias de la norma D.S. N° 031-2010 S.A, ECA y OMS. Demostrando que el PAC es más efectivo en los ensayos de tratabilidad en el tratamiento de agua de la planta del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

3. El Policloruro de Aluminio es el coagulante más efectivo en los procesos de tratabilidad del agua potable del distrito de Pedro Ruíz Gallo, por demostrar buenos resultados en los ensayos con la presencia de menor aluminio residual por debajo de los límites máximo permisibles como se demuestran en tres ensayos 7; 6 y 5 (0,02; 0,04 y 0,05 ppm) y debe ser establecido como coagulante por su efectividad en la planta de agua potable del distrito de Pedro Ruíz Gallo.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que la municipalidad del distrito de Pedro Ruiz Gallo realice el tratamiento del agua de consumo en la planta de tratamiento empleando la metodología usada para la determinación de aluminio residual usando el coagulante PAC ya que existe una correlación entre las dosis óptimas empleadas en los ensayos experimentales obteniéndose mejores resultados con este coagulante muy por debajo de los estándares establecidos.
2. Las dos materias primas utilizadas en esta investigación demostraron su eficiencia en la remoción de turbiedad, color y aluminio residual en la planta de tratamiento de agua de consumo del distrito de Pedro Ruiz Gallo, sin embargo se recomienda usar el Policloruro de Aluminio (PAC) ya que demostró significativamente mejores resultados en los parámetros físicos y aluminio residual según los estándares nacionales e internacionales.
3. Debido a las características físicas del agua que se presenta en la planta de tratamiento de agua en el distrito de Pedro Ruiz Gallo se recomienda a la municipalidad distrital hacer uso del séptimo tratamiento en el proceso de tratabilidad del agua de consumo con el Policloruro de Aluminio por que presenta aluminio residual de 0,05 ppm muy por debajo de lo establecido en D.S. N° 031-2010 S.A.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua: coagulación y floculación. Documento técnico. Planta de Tratamiento de Agua Sedapal, Lima, Perú, 167 p.
2. Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. (3ª. ed.). Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería. 128 p.
3. Castillón, B; Giraldo, M. (2012). Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana. Tesis de grado profesional, Universidad Tecnológica de Pereira, Ecuador. 128 p.
4. Castro, M. (1997). Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y el tratamiento de agua, Lima, CEPIS p.1-72.
5. Cogollo, J. (2010). Clarificación de aguas usando coagulantes Polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. Colombia, Dyna. p. 18-27.
6. Cogollo, J. y Rhenals, A. (2003). Optimización del proceso de clarificación en la planta de tratamiento de aguas de una embotelladora de bebidas, Tesis de Grado Ingeniero de Alimentos, Universidad de Córdoba. 159 p.
7. DIGESA (2011). DS N° 031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano Lima-Perú: DIGESA. 46 p.
8. DIGESA. (2007). Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales. Lima: DIGESA. 21 p.
9. González, M y Hernández, C. (1991). Determinación de aluminio en el agua potable de Valencia y localidades cercanas. Departamento de Química General Universidad de Carabobo, Venezuela, 198 p.
10. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) - Censo Nacional 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Lima, Perú. 229 p.
11. Loreto, S; Ballester, F. (2002). Unidad de epidemiología y estadística, cancillería de sanidad, general. Revista española de salud pública N°6, Valencia, 25 p.
12. MINAM. (2008). D.S N° 002. Estándares de calidad ambiental para aguas. Lima, Perú: MINAM. 79 p.

13. Murillo, D. (2011). Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada, Tesis de grado Universidad Tecnológica de Pereira escuela de tecnologías química industrial. Pereira, 128 p.
14. Parra, C. (2004). Evaluación de aluminio residual en el proceso de clarificación en el agua de la planta de tratamiento de Florida. Tesis de grado, Bucaramanga, Universidad de Santander, 213 p.
15. Pradilla, F. (1994). Clarificación de aguas. Documento técnico. Química Nalco de Colombia S.A, Barranquilla, 105 p.
16. Pérez, J. (1986). Manual de Potabilización del agua. Universidad Nacional de Colombia, Seccional de Medellín, 502 p.
17. Potabilización con diferentes coagulantes de Aluminio y Hierro, XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería Sanitaria y Ambiental “El Reto” , 157p.
18. Quintana, R. (2000). Cómo tratar el agua. Documento técnico, Coca Cola de Colombia, Bogotá D. C., 179 p.
19. Ramírez. F. (2007). El muestreo del agua. Toma y conservación de muestras. Bogota D.C. 87 p.
20. Rodríguez, C. (1995). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá, 225 p.
21. Romero, J. (2002). Calidad del agua. (1ª.ed.) Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería, 67-71p.
22. Romero, J. (2009). Calidad del agua. (3a.ed.) Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería, 67-71 p.
23. Romero R. (1996). Acuiquímica. (1ª. ed). Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería, 56p.
24. Severiche, C. y Castillo, M. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos básicos en aguas, Eumed.net. Cartagena, Colombia, 212p.
25. SENA. “Operación de sistemas de potabilización de aguas” código 280201010 norma 3 Monitorear y Ajustar la Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas, 129 p.

26. Uzcátegui, J., González, S. (2006). Evaluación cuantitativa de la presencia de trihalometanos en agua destinada al consumo humano de la ciudad de Mérida, Venezuela. Tesis de grado, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 129 p.
27. Valencia, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua Tomo I, Colombia. McGraw -Hillp, 836p.

## **ANEXOS**

## Anexo 01

Informe técnico del servicio de saneamiento de agua potable y alcantarillado de la  
localidad de Pedro Ruiz.



**PROCONSQUI SRLtda. Ingeniería & Construcción**  
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° C3714 - EJECUTORES N° 11614



## INFORME TECNICO

### MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE SANEAMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA LOCALIDAD DE PEDRO RUIZ

**TURBIDEZ:** Es la medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Indica el grado o cantidad de materia en suspensión presente en el agua. Este puede ser de carácter orgánico e inorgánico. En este caso es de carácter orgánico lo cual trae consigo microorganismos patógenos y no patógenos.

Máximo permisible: 5 NTU

Se considera como IDEAL por debajo de 1 NTU

**Turbiedad (25,95 NTU)**

**DUREZA:** Indica la presencia de calcio y magnesio, y en menor proporción por el hierro y el aluminio, puede ser de dos tipos de carbonatos y no carbonatos la dureza se puede eliminar por tratamiento con Cal, Carbonato de Sodio (cenizas de soda), permutación catiónica o una combinación de las tres.

Existe una relación entre las enfermedades cardiovasculares y los cálculos renales en los hombres. Rangos de dureza:

0-75 : agua suave  
75-150 : agua poco dura  
150-300 : agua dura

Mayor a 300: agua muy dura

**Dureza total: 52.00 ppm**



MUNICIPALIDAD DISTRICTAL  
PEDRO RUIZ

TEODORO TAUMA CAMAN  
ALCALDE

DNI 33733742



**JEFFERSON REYES FARJE**  
INGENIERO QUIMICO  
CIP. 11111

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 - Chachapoyas - Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: jeffersonrefa@hotmail.com (041-9973934) / proconsqui@gmail.com / alvarosedano3h@hotmail.com



## PROCONSQUI SRLtd. Ingenieria & Construccion

Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° 23714 - EJECUTORES N° 11614



**ALCALINIDAD:** Tiene como propósito proporcionar resultados que se apliquen para el cálculo de la dosis de reactivas (Hidróxido de calcio y sulfato de aluminio) que se demanden en el proceso de coagulación y de ablandamiento.

Alcalinidad P = 0 (no presencia de carbonato de sodio, ni de hidróxidos)

**Alcalinidad M = 90.00 ppm (presencia de bicarbonatos)**

**CLORUROS:** Es necesario conocer ya que por la adición del cloro como desinfectante se puede obtener un pequeño aumento en la concentración de cloruro.

**Cloruros: 0,90 ppm**

Rango máximo para agua potable 250ppm.

**ACIDEZ:** Se debe a la presencia de bióxido de carbono no combinado, ácido mineral y sales de ácidos fuertes y bases débiles (como sales de fierro y aluminio) es importante la prueba por que el bióxido de carbono libre aumenta la corrosividad, ya que el ácido carbónico ataca a los metales con las que entra en contacto.

Rango máximo para agua potable 2 ppm.

**Acidez total como CO<sub>2</sub> libre es 0,00 ppm.**

**CLORO:** es importante saber su dosificación ya que aparte de usarse para esterilizar el agua, se emplea para controlar a las algas y cuidar el desarrollo de Lamas Bacterianas.

- Hipoclorito de calcio al 70% de cloro
- Cloruro de calcio al 25% de cloro.
- Hipoclorito de sodio al 10% de cloro
- Lejía al 5%

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:** **HAY PRESENCIA** de microorganismos patógenos. Procedentes de los excrementos de humanos y animales (contaminación fecal). Forma de remover en un 99.9% es mediante sedimentación, coagulación y floculación y finalmente una desinfección.

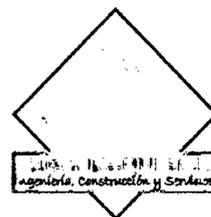


Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: jeffersonrefa@hotmail.com (041-9973934) / proconsqui@gmail.com / alvarosedano3h@hotmail.com



**PROCONSQUI SRLtda. Ingenieria & Construccion**  
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° 3714 - EJECUTORES N° 11614



Sedimentación, coagulación y floculación y finalmente una desinfección.

Desinfección (Remoción de coliformes termo tolerantes) 99.9 %

**PH:** Indica la acidez o basicidad del agua (concentración de hidrogeno). Los resultados son importantes para determinar estequiometricamente la cantidad de producto químico a usar para coagulación y sedimentación del agua.

La reacción del cloro solo tiene lugar cuando el PH esta entre 6.5 y 8.

**PH= 7,67**

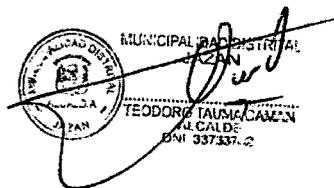
**COLOR:** debido al arrastre de materias orgánicas en descomposición tipo lignina, taninos, ácidos húmicos y algunos minerales disueltos en el agua como hierro y manganeso la cual es necesaria remover.

Máximo permisible: 20 NTU

**Color = 52.00 NTU**

**CONDUCTIVIDAD:** Nos otorga la capacidad conductora de electricidad, en función del contenido de materiales disueltos, especialmente iones (aniones o cationes)

**Conductividad = 240 uS/cm**

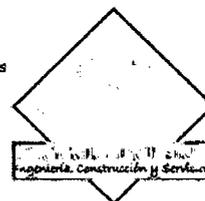


Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 - Chachapoyas - Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: [jeffersonrefa@hotmail.com](mailto:jeffersonrefa@hotmail.com) (041-9973934) / [proconsqui@gmail.com](mailto:proconsqui@gmail.com) / [alvarosedano3h@hotmail.com](mailto:alvarosedano3h@hotmail.com)



**PROCONSQUI SRLtd. Ingeniería & Construcción**  
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° 3714 - EJECUTORES N° 11614



EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE  
LA EMPRESA PROCONSQUI SRL

## CERTIFICA:

Que de los análisis físicos – químico y microbiológico practicado a las muestras de agua procedente de la localidad de PEDRO RUIZ, se obtuvo los siguientes resultados:

### ANALISIS FISICO QUIMICO:

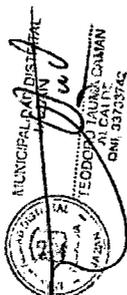
|                         |        |
|-------------------------|--------|
| ▪ Turbidez (NTU)        | 25,95  |
| ▪ Dureza (ppm)          | 52,00  |
| ▪ Alcalinidad (ppm)     | 90,00  |
| ▪ Color (NTU)           | 52,00  |
| ▪ Cloruros (ppm)        | 0,90   |
| ▪ Acidez (ppm)          | 0,00   |
| ▪ Conductividad (Us/cm) | 240,00 |
| ▪ pH                    | 6,67   |
| ▪ Temperatura (oC)      | 19,00  |
| ▪ Cloro Residual (ppm)  | 0,50   |
| ▪ Cloro Total (ppm)     | 1,35   |

### ANALISIS BACTERIOLOGICO:

- Hay presencia de coliformes totales.

### CONCLUSIONES:

- ✓ Se agregó una cantidad de hipoclorito de calcio al 70 % para determinar el grado de contaminación, se determinó que para un metro cubico de agua se debe agregar 1,80 g para obtener un cloro residual de 0.50 ppm.
- ✓ Por lo tanto se concluye que el agua no es apta para el consumo humano.



Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: jeffersonrefa@hotmail.com (041-9973934) / proconsqui@gmail.com / alvarosedano3h@hotmail.com



**PROCONSQUI SRLtd. Ingeniería & Construcción**  
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° C3714 - EJECUTORES N° 11614



## RECOMENDACIONES:

- Por la turbidez y el color que están muy por encima de los parámetros establecidos se recomienda la construcción de un sistema de floculación para eliminar turbidez y color, y por el pH del agua se debe usar como coagulante un compuesto de aluminio.
- Por la contaminación microbiana instalar un sistema de cloración para que el agua sea apta para el consumo humano.



Chachapoyas, agosto del 2010



Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: [jeffersonreya@hotmail.com](mailto:jeffersonreya@hotmail.com) (041-9973934) / [proconsqui@gmail.com](mailto:proconsqui@gmail.com) / [alvarosedano3h@hotmail.com](mailto:alvarosedano3h@hotmail.com)

## Anexo 02

Informe técnico del servicio de saneamiento de agua potable y alcantarillado de la localidad de Pedro Ruiz.



**PROCONSQUI SRLtda. Ingeniería & Construcción**  
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° 63714 - EJECUTORES N° 11614



## INFORME TECNICO

### MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE SANEAMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA LOCALIDAD DE PEDRO RUIZ

**TURBIDEZ:** Es la medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Indica el grado o cantidad de materia en suspensión presente en el agua. Este puede ser de carácter orgánico e inorgánico. En este caso es de carácter orgánico lo cual trae consigo microorganismos patógenos y no patógenos.

Máximo permisible: 5 NTU

Se considera como IDEAL por debajo de 1 NTU

#### Turbiedad (20,00 NTU)

**DUREZA:** Indica la presencia de calcio y magnesio, y en menor proporción por el hierro y el aluminio, puede ser de dos tipos de carbonatos y no carbonatos. La dureza se puede eliminar por tratamiento con Cal, Carbonato de Sodio (cenizas de soda), permutación catiónica o una combinación de las tres.

Existe una relación entre las enfermedades cardiovasculares y los cálculos renales en los hombres. Rangos de dureza:

0-75 : agua suave  
75-150 : agua poco dura  
150-300 : agua dura

Mayor a 300: agua muy dura

Dureza total: 55.00 ppm



Jr. Sachapuyes N° 411 Telf. (041) 478356 - Chachapoyas - Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: jeffersonrefa@hotmail.com (041-9973934) / proconsqui@gmail.com / alvarosedano3h@hotmail.com



## PROCONSQUI SRLtda. Ingenieria & Construccion

Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° C3714 - EJECUTORES N° 11614



**ALCALINIDAD:** Tiene como propósito proporcionar resultados que se apliquen para el cálculo de la dosis de reactivas (Hidróxido de calcio y sulfato de aluminio) que se demanden en el proceso de coagulación y de ablandamiento.

Alcalinidad P = 0 (no presencia de carbonato de sodio, ni de hidróxidos)

**Alcalinidad M = 90.00 ppm (presencia de bicarbonatos)**

**CLORUROS:** Es necesario conocer ya que por la adición del cloro como desinfectante se puede obtener un pequeño aumento en la concentración de cloruro.

**Cloruros: 0,00 ppm**

Rango máximo para agua potable 250ppm.

**ACIDEZ:** Se debe a la presencia de bióxido de carbono no combinado, ácido mineral y sales de ácidos fuertes y bases débiles (como sales de fierro y aluminio) es importante la prueba por que el bióxido de carbono libre aumenta la corrosividad, ya que el ácido carbónico ataca a los metales con las que entra en contacto.

Rango máximo para agua potable 2 ppm.

**Acidez total como CO<sub>2</sub> libre es 0,00 ppm.**

**CLORO:** es importante saber su dosificación ya que aparte de usarse para esterilizar el agua, se emplea para controlar a las algas y cuidar el desarrollo de Lamas Bacterianas.

- Hipoclorito de calcio al 70% de cloro
- Cloruro de calcio al 25% de cloro.
- Hipoclorito de sodio al 10% de cloro
- Lejía al 5%

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:** **HAY PRESENCIA** de microorganismos patógenos. Procedentes de los excrementos de humanos y animales (contaminación fecal). Forma de remover en un 99.9% es mediante sedimentación, coagulación y floculación y finalmente una desinfección.

JEFFERSON REYES FARJE  
INGENIERO QUIMICO  
CIP. 59110

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL  
TEODORO TALLANA CARRANZA  
CALLES  
DISTRITO DE CALLES  
CALLE  
CALLE

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 - Chachapoyas - Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: [jeffersonreya@hotmail.com](mailto:jeffersonreya@hotmail.com) (041-9973934) / [proconsqui@gmail.com](mailto:proconsqui@gmail.com) / [alvarosedano3h@hotmail.com](mailto:alvarosedano3h@hotmail.com)



**PROCONSQUI SRLtd. Ingenieria & Construccion**  
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Analisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° 03714 - EJECUTORES N° 11614



Sedimentación, coagulación y floculación y finalmente una desinfección.

Desinfección (Remoción de coliformes termo tolerantes) 99.9 %

**PH:** Indica la acidez o basicidad del agua (concentración de hidrogeno). Los resultados son importantes para determinar estequiometricamente la cantidad de producto químico a usar para coagulación y sedimentación del agua.

La reacción del cloro solo tiene lugar cuando el PH esta entre 6.5 y 8.

**PH= 7,70**

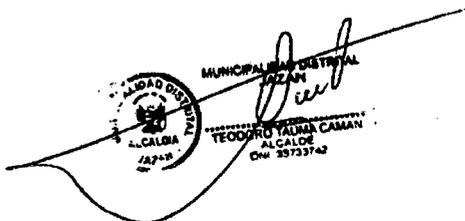
**COLOR:** debido al arrastre de materias orgánicas en descomposición tipo lignina, taninos, ácidos húmicos y algunos minerales disueltos en el agua como hierro y manganeso la cual es necesaria remover.

Máximo permisible: 20 NTU

**Color = 40.00 NTU**

**CONDUCTIVIDAD:** Nos otorga la capacidad conductora de electricidad, en función del contenido de materiales disueltos, especialmente lones (aniones o cationes)

**Conductividad = 245 uS/cm**



Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 - Chachapoyas - Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: [jeffersonreya@hotmail.com](mailto:jeffersonreya@hotmail.com) / [proconsqui@gmail.com](mailto:proconsqui@gmail.com) / [alvarosedano3h@hotmail.com](mailto:alvarosedano3h@hotmail.com)



EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE  
LA EMPRESA PROCONSQUI SRL

## CERTIFICA:

Que de los análisis físicos – químico y microbiológico practicado a las muestras de agua procedente de la localidad de PEDRO RUIZ, se obtuvo los siguientes resultados:

### ANALISIS FISICO QUIMICO:

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| • Turbidez (NTU)        | 20,00  |
| • Dureza (ppm)          | 55,00  |
| • Alcalinidad (ppm)     | 90,00  |
| • Color (NTU)           | 52,00  |
| • Cloruros (ppm)        | 0,00   |
| • Acidez (ppm)          | 0,00   |
| • Conductividad (Us/cm) | 245,00 |
| • pH                    | 6,98   |
| • Temperatura (oC)      | 19,00  |
| • Cloro Residual (ppm)  | 0,50   |
| • Cloro Total (ppm)     | 1,30   |

### ANALISIS BACTERIOLOGICO:

- Hay presencia de coliformes totales.

### CONCLUSIONES:

- ✓ Se agregó una cantidad de hipoclorito de calcio al 70 % para determinar el grado de contaminación, se determinó que para un metro cubico de agua se debe agregar 1,70 g para obtener un cloro residual de 0.50 ppm.  
Por lo tanto se concluye que el agua no es apta para el consumo humano.





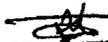
**PROCONSQUI SRLtd. Ingenieria & Construccion**  
Innovación Arquitectónica - Asesores - Consultores - Ejecutores y Proveedores Generales  
Laboratorio & Análisis

REGISTRO NACIONAL CONSUCODE CONSULTORES N° C3714 - EJECUTORES N° 11614



## RECOMENDACIONES:

- Por la turbidez y el color que están muy por encima de los parámetros establecidos se recomienda la construcción de un sistema de floculación para eliminar turbidez y color, y por el pH del agua se debe usar como coagulante un compuesto de aluminio.
- Por la contaminación microbiana instalar un sistema de cloración para que el agua sea apta para el consumo humano.

  
 **JEFFERSON REYES FARJE**  
INGENIERO QUIMICO  
CIP. 59100

Chachapoyas, julio del 2015

  
 **MUNICIPALIDAD DISTRITAL  
JAZAN**  
**TEODORO TALMA CAMAN**  
ALCALDE  
DNI: 33733742

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 - Chachapoyas - Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311  
Email: [jeffersonrefa@hotmail.com](mailto:jeffersonrefa@hotmail.com) (041-9973934) / [proconsqui@gmail.com](mailto:proconsqui@gmail.com) / [alvarosedano3h@hotmail.com](mailto:alvarosedano3h@hotmail.com)

Estudios epidemiológicos que examinan la asociación entre exposición al aluminio y la enfermedad de Alzheimer

| AUTORES; AÑO PUBLICACIÓN/LUGAR DEL ESTUDIO   | TIPO DE ESTUDIO             | POBLACIÓN A ESTUDIO   | DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD   | VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN   | VARIABLES DE CONTROL  | RESULTADOS   |
|--|-----------------------------|---|--|---|---|--|
| Martyn et al; 1989 <sup>21</sup><br>88 distritos de Inglaterra y Gales   | Estudio geográfico          | Tasas de 4 tipos de demencia en personas de menos de 70 años.   | Tomografía computarizada (TC)  | Concentraciones de Al en los últimos 10 años en el agua de bebida.  | Distancia al centro de TC y tamaño de la población atendida en cada centro.   | Para Alzheimer probable RR=1,5, IC=[1,1-2,2] distritos con [Al] > 0.11 mg/l comparado con distritos con [Al] < 0.01 mg/l   |
| Graves et al; 1990 <sup>22</sup><br>Seattle, E.E.U.U.  | Casos y controles apareados | 130 pares de casos y controles  | Diagnóstico clínico enf. Alzheimer: DSM-III. Criterio de exclusión: MMSE > 26.                               | Concentraciones de Al en desodorantes y antiácidos durante al menos un año antes del año de aparición de la enfermedad.                         | Edad, sexo, relación con el entrevistado, educación y estatus social. Historia familiar de enfermedad de Alzheimer y episodio de trauma cefálico. | Desodorantes con contenido de Al, OR= 1,6 IC= 1,04-2,4. Antiácidos, sin considerar contenido de Al, OR= 3,1 IC=1,2-7,9   |
| Rifat et al; 1990 <sup>23</sup><br>Ontario, Canadá   | Transversal                 | Mineros del norte de Ontario: 631 expuestos a «polvo de Aluminio», 722 no expuestos; 308 pares expuestos-no expuestos | Historia referida de trastornos neurodegenerativos. Medida del estado cognitivo: MMSE (< 18), y otros tests. | Historia de exposición al programa laboral profilaxis para la silicosis con «polvo de Melnyre»  | En el análisis de los pares: edad, año de la primera experiencia minera en Ontario y tiempo total de trabajo en las minas subterráneas.           | No diferencias en cuanto a trastornos neurodegenerativos. Diferencias significativas en los tests: la proporción de hombres con puntuaciones indicativas de daño fue mayor en los expuestos. |
| Wetstein et al; 1991 <sup>24</sup><br>Zurich, Suiza  | Transversal                 | 800 residentes de entre 81-85 años que han vivido más de 15 años en dos áreas de Zurich                               | Medida del estado cognitivo: MMSE, variante de Zurich.   | Concentración de Al en agua de bebida en los últimos 15 años.   | No diferencias en edad, renta ni nivel educativo entre las dos áreas.   | No diferencias de los tests entre las dos áreas ((0,1mg/l) vs (0,004mg/l)).  |
| Jacquia et al; 1994 <sup>5</sup><br>Estudio Paqid (Gironde y Dordogne, en SO de Francia)                       | Transversal                 | 3469 individuos = 65 años   | Daño cognitivo: Índice de MMSE < 24.   | Concentraciones de Al, Ca, F y pH de 72 áreas de distribución de agua de bebida.  | Edad, sexo, nivel educativo y ocupación de los participantes  | Interacción con pH: OR=1,3(pH 7); OR=0,5(pH 8,5), [Al] 0,1mg/l vs 0,005mg/l  |
| Estudio CSHA; 1994 <sup>4</sup><br>10 provincias de Canadá   | Casos y controles           | 258 casos de diagnóstico reciente (< 3 años) de Alzheimer y 535 controles   | Diagnóstico clínico enf. Alzheimer: DSM-III-R  | Evalúan la exposición al aluminio de té, desodorantes y antiácidos con contenido de Al.   | Edad, sexo, educación y centro de estudio y de residencia.  | Para desodorantes con contenido en Al: OR=4,81, IC=1,67-13,9 No asociación con antiácidos o té.  |
| Forster et al; 1995 <sup>6</sup> y Taylor et al, 1995 <sup>25</sup><br>Región de salud del Norte de Inglaterra | Casos y controles apareados | 109 pares de casos y controles, < 65 años.  | Diagnóstico clínico de demencia presenil tipo Alzheimer. Índice de MMSE < 25                                 | Exposición al Al de antiácidos, té y del agua de bebida (10 años antes enfermedad) Concentración de Al y Si en el agua de bebida. <sup>25</sup> | Edad y sexo Historia familiar.  | OR=0,8 IC=0,44-1,49 para individuos expuestos a >= 0,1 mg/l de Al en los últimos 10 años. No hay diferencias significativas entre [Si] y [Al] en los domicilios de casos y controles.        |

Estudios epidemiológicos que examinan la asociación entre exposición al aluminio y la enfermedad de Alzheimer

| AUTORES; AÑO PUBLICACIÓN/LUGAR DEL ESTUDIO                           | TIPO DE ESTUDIO                               | POBLACIÓN A ESTUDIO  | DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD  | VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN   | VARIABLES DE CONTROL  | RESULTADOS   |
|--|---|--|---|---|---|--|
| McLachlan et al; 1996 <sup>26</sup><br>Ontario, Canadá               | Casos y controles                             | 385 casos y 295 controles.   | Historia clínica de demencia tipo Alzheimer con confirmación histopatológica. | [Al] en agua de bebida en el momento de la muerte.<br>Exposición al Al en agua de bebida en los últimos 10 años (en 119 casos y 51 controles) | No se indican   | OR= 1,7 IC=1,2-2,6 para individuos expuestos a $\geq 0,1$ ng/l de Al en el momento de la muerte.<br>OR=2,6 IC=1,2-5,7; para individuos expuestos a $\geq 0,1$ mg/l de Al en los últimos 10 años. |
| Martyn et al; 1997 <sup>12</sup><br>8 regiones de Inglaterra y Gales | Casos y controles                             | 106 casos y 746 controles (99 otras demencias, 226 cáncer cerebro, 441 otros). Varones entre 42-75 años.                               | Historia clínica enf. Alzheimer y TC.   | Estimación exposición a Al y Si en agua de bebida en el periodo de 25 años.   | Edad en el momento de TC, centro de diagnóstico y distancia al mismo.   | Resultados no significativos: OR=0,51 IC=0,23-1,14), expuestos $\geq 0,11$ mg/l vs expuestos $< 0,015$ mg/l en los últimos 25 años.<br>Relación inversa entre [Al] y [Si].                       |
| Mjüberg et al; 1997 <sup>27</sup><br>Uppsala, Suecia.                | Estudio piloto de casos y controles apareados | 13 pares de casos y controles  | Diagnóstico clínico enf. Alzheimer: DSM-III-R.                                | [Al] en biopsias de hueso   | Edad, sexo  | Contenido de Al en hueso, significativamente más alto en los casos que en los controles.   |
| Graves et al; 1998 <sup>28</sup><br>Seattle, USA                     | Casos y controles apareados                   | 89 pares de casos y controles  | Diagnóstico enf. de Alzheimer mediante el criterio de NINCDS/ADRDA            | Exposición laboral a aluminio desde los 16 años.  | Edad, sexo, tipo de informador (emparejamiento) y nivel de educación.   | OR= 1,46 IC=0,62-3,42  |
| Roberts et al; 1998 <sup>29</sup><br>Pusan, Sur de Corea.            | Casos y controles                             | Casos:<br>— 8 diagnosticados demencia<br>— 8 tratados con Aludrox<br>— 20 con insuficiencia renal<br>114 controles sanos y más jóvenes | No se indican los criterios diagnósticos                                      | [Al] en suero de pacientes y controles sanos  | No se indican   | [Al] en pacientes con demencia es similar a la de los que toman Aludrox y significativamente mayor que en los controles sanos.   |
| Rogers y Simon; 1999 <sup>11</sup><br>Syracuse, N.Y., EEUU           | Casos y controles apareados                   | 23 pares, residentes en una residencia geriátrica, con una media de edad de 73 años.   | Diagnóstico enf. de Alzheimer mediante el criterio de NINCDS/ADRDA            | Cuestionario para valorar el aluminio en la dieta, desde 5 años antes de la aparición de la enfermedad.                                       | Edad, sexo, entrafía al centro geriátrico (emparejamiento), kcal ingeridas, índice de masa corporal, educación e ingesta de vitaminas A, C y E. | Mayor consumo de productos manufacturados con alto contenido en Al en los casos (p=0,025)  |

| AUTORES; AÑO PUBLICACIÓN/LUGAR DEL ESTUDIO                    | TIPO DE ESTUDIO             | POBLACIÓN A ESTUDIO   | DIAGNÓSTICO DE LA ENFERMEDAD  | VALORACIÓN DE LA EXPOSICIÓN   | VARIABLES DE CONTROL   | RESULTADOS  |
|---|-----------------------------|---|---|---|--|---|
| Rondeau et al; 2000 <sup>30</sup><br>Estudio Paquid (Francia) | Cohorte prospectiva         | 3777 individuos de = 65 años, 2698 sin demencia. Se siguen durante 8 años, desde 1988. 253 casos incidentes de demencia (182 Alzheimer) | Diagnosticados en dos fases: demencia mediante DSM-III-R y posteriormente diagnóstico Alzheimer mediante el NINCDS/ADRDA. | Estimación exposición a Al y Si en agua de bebida en el periodo de 10 años previos al diagnóstico.  | Edad, sexo, nivel de educación, lugar de residencia y consumo de vino.   | RR Alzheimer=2,14, I.C.= [1,21-3,80]<br>distritos con [Al] ≥ 0,1 mg/l vs [Al] < 0,1 mg/l.   |
| Gauthier et al; 2000 <sup>31</sup><br>Québec (Canadá)         | Casos y controles apareados | 68 parejas de = 70 años.  | Diagnóstico en tres fases con un test 3MS de screening (índice = 78), el criterio DSM IV y el criterio de NINCDS/ADRDA.   | Estimación exposición Al en diferentes formas (total, disuelto, orgánico...) en agua de bebida en el momento del diagnóstico y a lo largo de la vida. | Edad y sexo (emparejamiento). Nivel de educación, casos de demencia familiares en primer grado, presencia de alelos APOE ε4. | Al total: OR=2,11<br>IC=0,83-4,63 ([Al] ≥ 0,1 mg/l)<br>Al orgánico monomérico*<br>OR= 2,67,<br>I.C.= [1,04-6,90] ambos en el momento de aparición de la enfermedad. |
| Tyas et al; 2001 <sup>23</sup><br>Manitoba, Canadá            | Cohorte prospectiva         | 694 individuos sin demencia, seguidos durante 5 años de los cuales 36 desarrollan enfermedad de Alzheimer.                              | Diagnosticado en dos fases con un test 3MS de screening índice = 78 y el criterio de NINCDS/ADRDA.                        | Evalúan la exposición al Al por consumo de antiácidos con Al y la ingesta de té.  | Edad, sexo y educación.  | No encuentran asociación entre el consumo de antiácidos con Al ni con la ingesta de té.   |

RR: riesgo relativo; OR: odds ratio; IC: intervalo de confianza al 95%

DSM: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders<sup>31</sup>

MMSE: Mini Mental State Examination<sup>32</sup>

NINCDS/ADRDA: National Institute of Neurological & Communicative Disorders & Stroke & the Alzheimer's Disease Association

**Análisis descriptivo con sulfato de aluminio tipo B 500 del agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz**

**Anexo 04**

Índice descriptivo del comportamiento de la turbiedad antes y después de aplica el sulfato de aluminio tipo B 500 Sal, al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz.

|                             |          | TURBIEDAD INICIAL<br>CON LOS<br>TRATAMIENTOS<br>SULFATO DE<br>ALUMINIO B 500 | TURBIEDAD FINAL CON<br>LOS TRATAMIENTOS<br>SULFATO DE ALUMINIO<br>B 500 |
|-----------------------------|----------|--|---|
| N                           | Válido   | 7  | 7   |
|                             | Perdidos | 0  | 0   |
| Media                       |          | <b>16,76</b>   | <b>1,12</b>   |
| Desviación estándar         |          | <b>0,07</b>  | <b>0,19</b>   |
| Varianza                    |          | 0,01   | 0,04  |
| Asimetría                   |          | -1,83  | -0,88   |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79   | 0,79  |
| Curtosis                    |          | <b>3,03</b>  | <b>2,64</b>   |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59   | 1,59  |
| Mínimo                      |          | 16,62  | 0,77  |
| Máximo                      |          | 16,81  | 1,39  |
| Percentiles                 | 25       | <b>16,72</b>   | <b>1,10</b>   |
|                             | 75       | <b>16,80</b>   | <b>1,23</b>   |

**Anexo 05**

Índice descriptivo del comportamiento en porcentaje de remoción de turbiedad al aplicar el sulfato de aluminio tipo B 500 Sal del agua tratada del distrito de Pedro Ruiz.

|                             |          |       |
|-----------------------------|----------|-------|
| N                           | Válido   | 7,00  |
|                             | Perdidos | 0,00  |
| Media                       |          | 93,29 |
| Desviación estándar         |          | 1,11  |
| Varianza                    |          | 1,24  |
| Asimetría                   |          | 0,91  |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79  |
| Curtosis                    |          | 2,72  |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59  |
| Rango                       |          | 3,70  |
| Mínimo                      |          | 91,71 |
| Máximo                      |          | 95,41 |
| Percentiles                 | 25       | 92,68 |
|                             | 75       | 93,45 |

### Anexo 06

Índice descriptivo del comportamiento del color antes y después de aplicar el sulfato de aluminio tipo B 500 Sal al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz.

|                             |          | COLOR<br>INICIAL<br>CON EL<br>TRATA<br>B500 | COLOR<br>FINAL<br>CON EL<br>TRATA<br>B500 |
|-----------------------------|----------|---|---|
| N                           | Válido   | 7,00  | 7,00                                      |
|                             | Perdidos | 0,00  | 0,00                                      |
| Media                       |          | 51,64                                       | 2,76                                      |
| Desviación estándar         |          | 0,48  | 0,31                                      |
| Varianza                    |          | 0,23  | 0,10                                      |
| Asimetría                   |          | -0,76                                       | -0,57                                     |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79  | 0,79                                      |
| Curtosis                    |          | -1,69                                       | -2,06                                     |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59  | 1,59                                      |
| Mínimo                      |          | 51,00                                       | 2,30                                      |
| Máximo                      |          | 52,00                                       | 3,00                                      |
| Percentiles                 | 25       | 51,00                                       | 2,50                                      |
|                             | 75       | 52,00                                       | 3,00                                      |

### Anexo 07

Índice descriptivo del comportamiento del porcentaje remoción del color al aplicar el sulfato de aluminio tipo B 500 Sal al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          |       |
|-----------------------------|----------|-------|
| N                           | Válido   | 7,00  |
|                             | Perdidos | 0,00  |
| Media                       |          | 94,39 |
| Desviación estándar         |          | 0,48  |
| Varianza                    |          | 0,24  |
| Asimetría                   |          | 2,63  |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79  |
| Curtosis                    |          | 6,92  |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59  |
| Rango                       |          | 1,32  |
| Mínimo                      |          | 94,17 |
| Máximo                      |          | 95,49 |
| Percentiles                 | 25       | 94,17 |
|                             | 75       | 94,23 |

### Anexo 08

Índice descriptivo del comportamiento del pH antes y después de aplicar el sulfato de aluminio tipo B 500 Sal, al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          | PH_INICIAL | PH_FINAL |
|-----------------------------|----------|------------|----------|
| N                           | Válido   | 7,00       | 7,00     |
|                             | Perdidos | 0,00       | 0,00     |
| Media                       |          | 7,67       | 8,39     |
| Desviación estándar         |          | 0,36       | 1,08     |
| Varianza                    |          | 0,13       | 1,18     |
| Asimetría                   |          | -1,17      | -0,06    |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79       | 0,79     |
| Curtosis                    |          | -0,89      | -1,55    |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59       | 1,59     |
| Rango                       |          | 0,77       | 2,96     |
| Mínimo                      |          | 7,15       | 6,94     |
| Máximo                      |          | 7,92       | 9,90     |
| Percentiles                 | 25       | 7,16       | 7,50     |
|                             | 75       | 7,92       | 9,20     |

### Anexo 09

Índice descriptivo del comportamiento del aluminio residual en el agua después de aplicar el sulfato de aluminio tipo B 500 Sal, del agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          |       |
|-----------------------------|----------|-------|
| N                           | Válido   | 7,00  |
|                             | Perdidos | 0,00  |
| Media                       |          | 0,27  |
| Desviación estándar         |          | 0,21  |
| Varianza                    |          | 0,04  |
| Asimetría                   |          | -0,14 |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79  |
| Curtosis                    |          | -2,49 |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59  |
| Rango                       |          | 0,46  |
| Mínimo                      |          | 0,05  |
| Máximo                      |          | 0,51  |
| Percentiles                 | 25       | 0,06  |
|                             | 75       | 0,44  |

**Análisis descriptivo con PAC del agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo**

**Anexo 10**

Índice descriptivo del comportamiento de la turbiedad antes y después de aplicar el policloruro de aluminio (PAC) del agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          | TURBIEDAD INICIAL SIN EL PAC | TURBIEDAD FINAL CON EL PAC |
|-----------------------------|----------|------------------------------|----------------------------|
| N                           | Válido   | 7,00                         | 7,00                       |
|                             | Perdidos | 0,00                         | 0,00                       |
| Media                       |          | 20,09                        | 1,00                       |
| Desviación estándar         |          | 0,21                         | 0,28                       |
| Varianza                    |          | 0,05                         | 0,08                       |
| Asimetría                   |          | 1,00                         | 0,52                       |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79                         | 0,79                       |
| Curtosis                    |          | -0,16                        | -0,61                      |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59                         | 1,59                       |
| Mínimo                      |          | 19,86                        | 0,65                       |
| Máximo                      |          | 20,45                        | 1,45                       |
| Percentiles                 | 25       | 19,94                        | 0,80                       |
|                             | 75       | 20,30                        | 1,20                       |

**Anexo 11**

Índice descriptivo del comportamiento de porcentaje remoción de turbiedad al aplicar el PAC al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          |       |
|-----------------------------|----------|-------|
| N                           | Válido   | 7,00  |
|                             | Perdidos | 0,00  |
| Media                       |          | 95,02 |
| Desviación estándar         |          | 1,36  |
| Varianza                    |          | 1,86  |
| Asimetría                   |          | -0,48 |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79  |
| Curtosis                    |          | -0,84 |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59  |
| Mínimo                      |          | 92,85 |
| Máximo                      |          | 96,74 |
| Percentiles                 | 25       | 94,02 |
|                             | 75       | 95,99 |

### Anexo 12

Índice descriptivo del comportamiento del color antes y después de aplicar el PAC al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          | COLOR INICIAL SIN EL PAC | COLOR FINAL CON EL PAC |
|-----------------------------|----------|--------------------------|------------------------|
| N                           | Válido   | 7,00                     | 7,00                   |
|                             | Perdidos | 0,00                     | 0,00                   |
| Media                       |          | 51,79                    | 1,61                   |
| Desviación estándar         |          | 0,91                     | 0,37                   |
| Varianza                    |          | 0,82                     | 0,14                   |
| Asimetría                   |          | 0,66                     | 0,17                   |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79                     | 0,79                   |
| Curtosis                    |          | -1,60                    | -2,57                  |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59                     | 1,59                   |
| Mínimo                      |          | 51,00                    | 1,20                   |
| Máximo                      |          | 53,00                    | 2,00                   |
| Percentiles                 | 25       | 51,00                    | 1,30                   |
|                             | 75       | 53,00                    | 2,00                   |

### Anexo 13

Índice descriptivo del comportamiento del porcentaje remoción del color al aplicar el PAC al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          |       |
|-----------------------------|----------|-------|
| N                           | Válido   | 7,00  |
|                             | Perdidos | 0,00  |
| Media                       |          | 96,89 |
| Desviación estándar         |          | 0,67  |
| Varianza                    |          | 0,45  |
| Asimetría                   |          | -0,16 |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79  |
| Curtosis                    |          | -2,54 |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59  |
| Mínimo                      |          | 96,15 |
| Máximo                      |          | 97,64 |
| Percentiles                 | 25       | 96,22 |
|                             | 75       | 97,45 |

### Anexo 14

Índice descriptivo del comportamiento del pH antes y después de aplicar PAC al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          | pH INICIAL SIN EL PAC | pH FINAL CON EL PAC |
|-----------------------------|----------|-----------------------|---------------------|
| N                           | Válido   | 7,00                  | 7,00                |
|                             | Perdidos | 0,00                  | 0,00                |
| Media                       |          | 7,66                  | 8,39                |
| Desviación estándar         |          | 0,35                  | 1,08                |
| Varianza                    |          | 0,12                  | 1,18                |
| Asimetría                   |          | -1,16                 | -0,06               |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79                  | 0,79                |
| Curtosis                    |          | -0,89                 | -1,55               |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59                  | 1,59                |
| Mínimo                      |          | 7,15                  | 6,94                |
| Máximo                      |          | 7,92                  | 9,90                |
| Percentiles                 | 25       | 7,16                  | 7,50                |
|                             | 75       | 7,92                  | 9,20                |

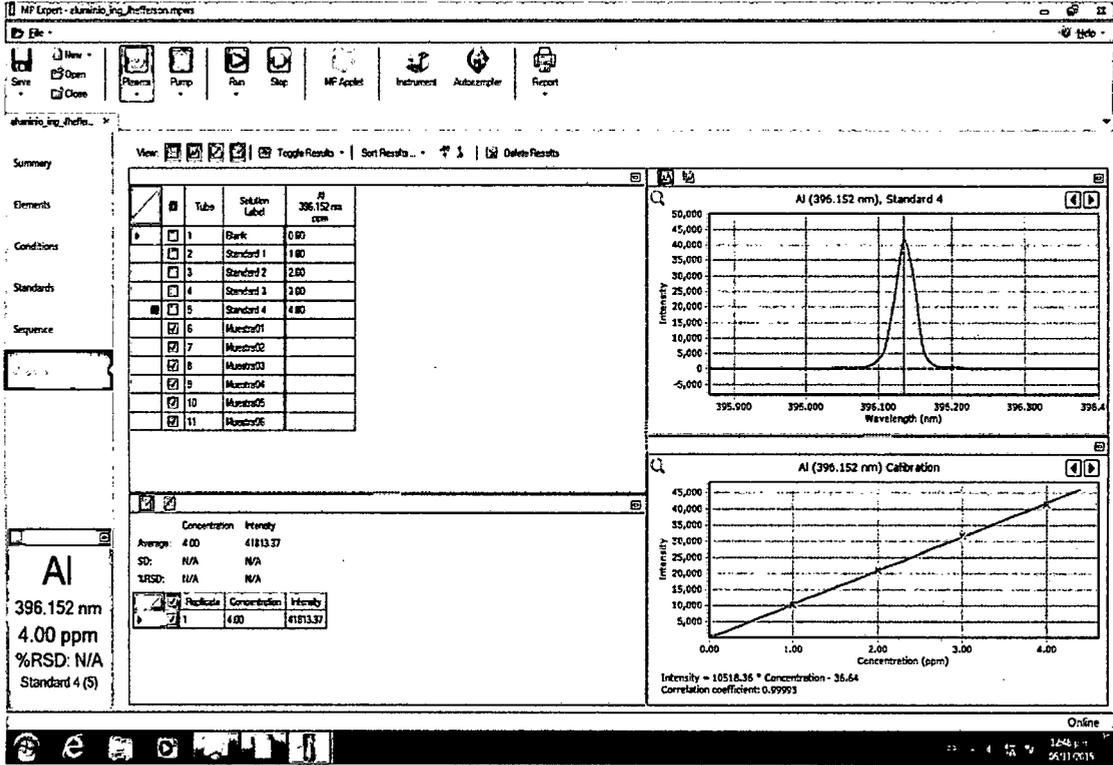
### Anexo 15.

Índice descriptivo del comportamiento del aluminio residual en el agua después de aplicar el PAC al agua en estudio del distrito de Pedro Ruiz Gallo.

|                             |          |       |
|-----------------------------|----------|-------|
| N                           | Válido   | 7,00  |
|                             | Perdidos | 0,00  |
| Media                       |          | 0,24  |
| Desviación estándar         |          | 0,20  |
| Varianza                    |          | 0,04  |
| Asimetría                   |          | -0,11 |
| Error estándar de asimetría |          | 0,79  |
| Curtosis                    |          | -2,38 |
| Error estándar de curtosis  |          | 1,59  |
| Mínimo                      |          | 0,02  |
| Máximo                      |          | 0,48  |
| Percentiles                 | 25       | 0,04  |
|                             | 75       | 0,40  |

# Anexo 16

## Curva de calibración para determinar aluminio residual.





**"UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE CEJA DE SELVA\***  
**LABORATORIO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y AGUAS**



**Solicitante :** JULIO CESAR SAMAME VIDAURRE  
**Departamento :** Amazonas  
**Distrito :** Pedro Ruiz Gallo  
**Referencia :**

**Fecha :** 17/12/2015  
**Provincia :** Chachapoyas  
**Cel.**  
**B.V. :**

| Nº de Lab. | MUESTRAS  | TURBIEDAD INICIAL (UNT) | TURBIEDAD FINAL (UNT) | pH Inicial | pH Final | Al Inicial con      | Al Residual con     | Color Inicial | Color Final | Alcalinidad Inicial | Alcalinidad Final |
|------------|-----------|-------------------------|-----------------------|------------|----------|---------------------|---------------------|---------------|-------------|---------------------|-------------------|
|            |           |                         |                       |            |          | sulfato de aluminio | sulfato de aluminio |               |             | ppm                 | ppm               |
|            |           |                         |                       |            |          | ppm                 | ppm                 | UNT           | UNT         | ppm                 | ppm               |
| 301        | Ensayo 01 | 16.81                   | 1.23                  | 7.15       | 9.50     | 0.0                 | 0.33                | 52.00         | 3.0         | 58.00               | 37.70             |
| 301        | Ensayo 02 | 16.78                   | 1.39                  | 7.16       | 9.45     | 0.0                 | 0.43                | 51.00         | 2.3         | 56.55               | 21.75             |
| 301        | Ensayo 03 | 16.62                   | 1.11                  | 8.40       | 9.35     | 0.0                 | 0.51                | 51.50         | 2.5         | 56.54               | 46.40             |
| 301        | Ensayo 04 | 16.79                   | 0.77                  | 8.61       | 9.30     | 0.0                 | 0.44                | 52.00         | 3.0         | 56.00               | 40.60             |
| 301        | Ensayo 05 | 16.80                   | 1.12                  | 8.42       | 7.50     | 0.0                 | 0.06                | 52.00         | 3.0         | 56.80               | 47.40             |
| 301        | Ensayo 06 | 16.72                   | 1.15                  | 8.54       | 7.57     | 0.0                 | 0.06                | 51.00         | 2.5         | 57.43               | 47.40             |
| 301        | Ensayo 07 | 16.80                   | 1.10                  | 8.54       | 6.94     | 0.0                 | 0.05                | 52.00         | 3.0         | 57.00               | 43.40             |

Resultados de análisis de parámetros físico y aluminio residual de agua del distrito de Pedro Ruiz Gallo con sulfato de aluminio

Anexo 17

UNIVERSIDAD NACIONAL  
 TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS  
  
 Ing. Segundo Manuel Oliva Cruz  
 RESPONSABLE LABIRAG



**"UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE CEJA DE SELVA'**  
**LABORATORIO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y AGUAS**



**Solicitante :** JULIO CESAR SAMAME VIDAURRE  
**Departamento:** Amazonas  
**Distrito :** Pedro Ruiz Gallo  
**Referencia :**

**Fecha :** 17/12/2015  
**Provincia :** Chachapoyas  
**Cel.**  
**B.V. :**

| Nº de Lab. | MUESTRAS  | TURBIEDAD INICIAL<br>(UNT) | TURBIEDAD FINAL<br>(UNT) | Ph Inicial | pH final | Aluminio Inicial              | Aluminio Residual           | Color Inicial | Color Final | Alcalinidad Inicial | Alcalinidad Final |
|------------|-----------|----------------------------|--------------------------|------------|----------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|---------------------|-------------------|
|            |           |                            |                          |            |          | Policloruro de aluminio (PAC) | Policloruro de Aluminio PAC |               |             | ppm                 | ppm               |
|            |           | UNT                        | UNT                      |            |          | ppm                           | ppm                         | UNT           | UNT         | ppm                 | ppm               |
| 301        | Ensayo 01 | 19.86                      | 1.15                     | 7.15       | 8.80     | 0.0                           | 0.30                        | 53.00         | 2.0         | 58.00               | 35.70             |
| 301        | Ensayo 02 | 20.30                      | 1.45                     | 7.16       | 8.90     | 0.0                           | 0.38                        | 51.00         | 1.3         | 56.55               | 20.75             |
| 301        | Ensayo 03 | 20.08                      | 1.20                     | 7.82       | 9.20     | 0.0                           | 0.48                        | 51.50         | 1.5         | 56.54               | 46.00             |
| 301        | Ensayo 04 | 20.45                      | 0.90                     | 7.92       | 9.90     | 0.0                           | 0.40                        | 52.00         | 2.0         | 56.00               | 41.00             |
| 301        | Ensayo 05 | 19.97                      | 0.80                     | 7.84       | 7.50     | 0.0                           | 0.05                        | 53.00         | 2.0         | 57.27               | 20.10             |
| 301        | Ensayo 06 | 20.00                      | 0.85                     | 7.92       | 7.50     | 0.0                           | 0.04                        | 51.00         | 1.3         | 58.00               | 22.50             |
| 301        | Ensayo 07 | 19.94                      | 0.65                     | 7.81       | 6.94     | 0.0                           | 0.02                        | 51.00         | 1.2         | 57.00               | 21.5              |

Resultados del análisis físico y aluminio residual del agua del distrito de Pedro Ruiz Gallo  
con Policloruro de Aluminio (PAC).

**Anexo 18**

UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS  
  
Ing. Segundo Manuel Oliva Cruz  
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS

### Anexo 19

#### Resultados de los ensayos de jarras con sulfato de aluminio tipo B 500

| Número de Ensayos | Dosis de sulfato de aluminio | Dosis de cal g. | Turbiedad inicial (UNT) | Turbiedad final (UNT) | % Remoción de turbiedad | Color inicial (UPC) | Color final (UPC) | % Remoción de color (UPC) | pH inicial | pH final | Aluminio inicial ppm | aluminio residual ppm |
|-------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|------------|----------|----------------------|-----------------------|
| 1                 | 1,0                          | 0,2             | 16,81                   | 1,23                  | 92,68                   | 52,00               | 3,0               | 94,23                     | 7,15       | 9,50     | 0,0                  | 0,33                  |
| 2                 | 1,3                          | 0,3             | 16,78                   | 1,39                  | 91,71                   | 51,00               | 2,3               | 95,49                     | 7,16       | 9,45     | 0,0                  | 0,43                  |
| 3                 | 1,4                          | 0,4             | 16,62                   | 1,11                  | 93,32                   | 51,50               | 2,5               | 94,17                     | 8,40       | 9,35     | 0,0                  | 0,51                  |
| 4                 | 1,5                          | 0,5             | 16,79                   | 0,77                  | 95,41                   | 52,00               | 3,0               | 94,23                     | 8,61       | 9,30     | 0,0                  | 0,44                  |
| 5                 | 1,0                          | 0,1             | 16,80                   | 1,12                  | 93,33                   | 52,00               | 3,0               | 94,23                     | 8,42       | 7,50     | 0,0                  | 0,06                  |
| 6                 | 1,5                          | 0,2             | 16,72                   | 1,15                  | 93,12                   | 51,00               | 2,5               | 94,17                     | 8,54       | 7,57     | 0,0                  | 0,06                  |
| 7                 | 1,5                          | 0,3             | 16,80                   | 1,10                  | 93,45                   | 52,00               | 3,0               | 94,23                     | 8,64       | 6,94     | 0,0                  | 0,05                  |

### Anexo 20

#### Resultados de los ensayos de jarras con policloruro de Aluminio (PAC)

| Número de Ensayos | Dosis con PAC | Dosis de cal g. | Turbiedad inicial (UNT) | Turbiedad final (UNT) | % Remoción de turbiedad | Color inicial (UPC) | Color final (UPC) | % Remoción de color (UPC) | pH inicial | pH final | Aluminio inicial ppm | Aluminio residual |
|-------------------|---------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|------------|----------|----------------------|-------------------|
| 1                 | 1,0           | 0,2             | 19,86                   | 1,15                  | 94,20                   | 53,00               | 2,0               | 96,22                     | 7,15       | 8,80     | 0,0                  | 0,30              |
| 2                 | 1,3           | 0,3             | 20,30                   | 1,45                  | 92,85                   | 51,00               | 1,3               | 97,45                     | 7,16       | 8,90     | 0,0                  | 0,38              |
| 3                 | 1,4           | 0,4             | 20,08                   | 1,20                  | 94,02                   | 51,50               | 1,5               | 97,08                     | 7,82       | 9,20     | 0,0                  | 0,48              |
| 4                 | 1,5           | 0,5             | 20,45                   | 0,90                  | 95,59                   | 52,00               | 2,0               | 96,15                     | 7,92       | 9,90     | 0,0                  | 0,40              |
| 5                 | 1,0           | 0,1             | 19,97                   | 0,80                  | 95,99                   | 53,00               | 2,0               | 96,22                     | 7,84       | 7,50     | 0,0                  | 0,05              |
| 6                 | 1,5           | 0,2             | 20,00                   | 0,85                  | 95,75                   | 51,00               | 1,3               | 97,45                     | 7,92       | 7,50     | 0,0                  | 0,04              |
| 7                 | 1,5           | 0,3             | 19,94                   | 0,65                  | 96,74                   | 51,00               | 1,2               | 97,64                     | 7,81       | 6,94     | 0,0                  | 0,02              |

**Comentario:** Se agregó la cal para aumentar el pH como aparece en el cuadro para que los coagulantes actúen, luego como estos coagulantes son ácidos el pH bajo que vendría a ser el pH final. Y hacer hincapié que con el Policloruro, el Aluminio residual fue menor por las condiciones que se le dio para que reaccione casi en su totalidad.

## Anexo 21

### Resultados del análisis de aluminio residual del agua de la provincia de Bagua



"UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE CEJA DE SELVA  
 LABORATORIO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y AGUAS



Solicitante : JULIO CESAR SAMAME VIDAURRE  
 Departamento : Amazonas  
 Distrito : Bagua  
 Referencia :

FECHA : 07/07/2016  
 Provincia: Chachapoyas  
 celular :  
 B.V. :

| N° de Lab. | MUETRAS | TURBIEDAD INICIAL (UNT) | TURBIEDAD FINAL (UNT) | pH Inicial | pH final | Aluminio residual ppm | color inicial | color final | Alcalinidad Inicial | Alcalinidad final |
|------------|---------|-------------------------|-----------------------|------------|----------|-----------------------|---------------|-------------|---------------------|-------------------|
| 301        | 01      | --                      | --                    | --         | --       | 0,72                  | --            | --          | --                  | --                |
| 301        | 02      | --                      | --                    | --         | --       | 0,68                  | --            | --          | --                  | --                |
|            |         |                         |                       |            |          |                       |               |             |                     |                   |
|            |         |                         |                       |            |          |                       |               |             |                     |                   |

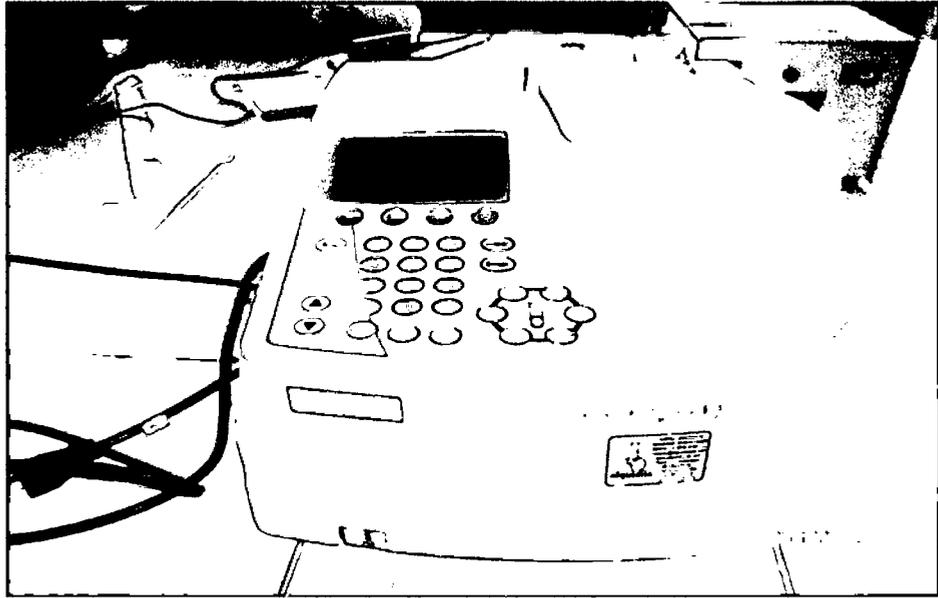
UNIVERSIDAD NACIONAL  
 TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS  
  
 Ing. Segundo Mendiola Oliva Cruz

Comentario: Con respecto al agua de la provincia de Bagua la muestra N°01 su aluminio residual fue de 0.72 y de la segunda muestra fue de 0.68 lo que indica que la cantidad de coagulante versus cal no está siendo la adecuada o podría suceder que el tiempo de reacción en el floculador no es el óptimo y termina reaccionando en el agua final lo que hace elevado su aluminio residual, sobre pasando lo establecido por la norma DS N° 031-2010-SA, Dirección General de Salud Ambiental Perú (DIGESA), y la Organización Mundial de la Salud.

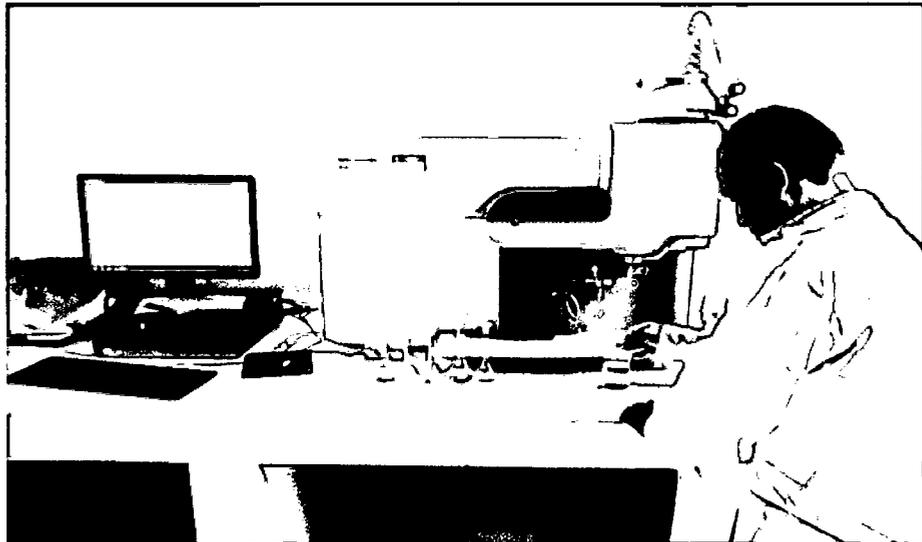
## Anexo 21

### Fotografías de equipos utilizados.

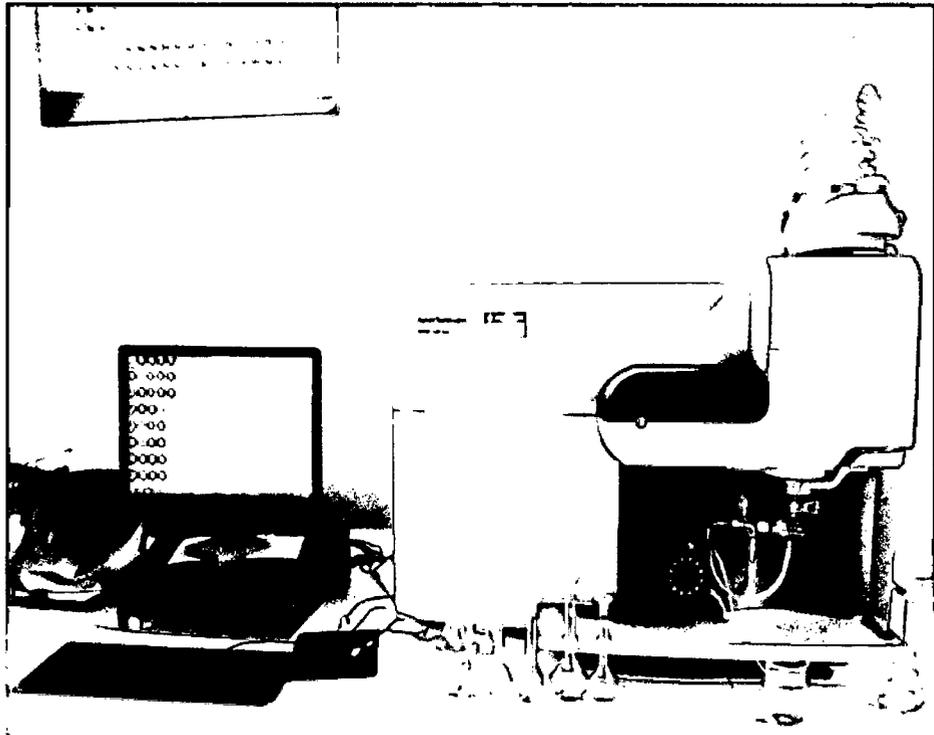
Fotografía 01. Espectrofotómetro



Fotografía 02. Realizando el análisis para determinar aluminio residual en el equipo de emisión atómica



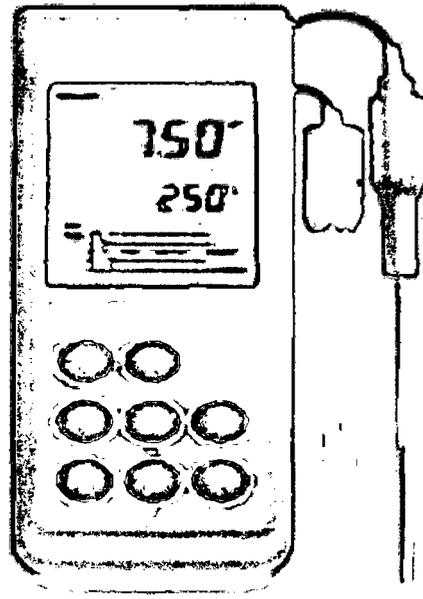
Fotografía 03. Equipo de emisión atómica del laboratorio de agua y suelo del instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza.



Fotografía 04. Turbidímetro



Fotografía 05. Peachimetro



Fotografía 06. Etapa de filtración del agua tratada



Fotografía 07. Agua filtrada



Fotografía 08. Toma de muestra de agua de la quebrada El Ingenio Pedro Ruiz.



Fotografía 09. Muestras de agua de la quebrada El Ingenio Pedro Ruiz para la realización de los ensayos.

