INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

INFORME FINAL DE PROYECTO

"DESARROLLO DE COAGULANTES Y FLOCULANTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS EN PAÍSES EN DESARROLLO"

INVESTIGADORES

Licda. MARICRUZ VARGAS C.

MSc LUIS GUILLERMO ROMERO E

Resumen

En el tratamiento de aguas el proceso de coagulación y floculación se lleva a cabo usando productos comerciales como el sulfato de aluminio o el cloruro de hierro, polímeros naturales y/o artificiales que son de alto costo y podrían ser sustituidos por productos naturales y residuos de la industria metalúrgica cuyo tratamiento y disposición además, de poseer, un gran impacto ambiental representan un costo para las empresas que los generan. En este estudio evaluó la efectividad de dos residuos industriales, uno con alta concentración de aluminio y otro de hierro, en la remoción de la turbiedad en el agua. Ambos residuos presentaron buenos resultados en cuanto a la presencia de aluminio o hierro residual en el agua de prueba tratada, así como una adecuada remoción de la turbiedad del agua. La cantidad necesaria, del residuo de Prolex S.A., para la remoción de la turbiedad fue muy similar al producto comercial para el caso del hierro (entre 0.5 ppm y 2.0 ppm). En las pruebas con el residuo con aluminio se necesito una concentración del orden de las 10 veces mayor que la utilizada con el sulfato de aluminio. De estos resultados se concluyo de forma preliminar, que ambos productos son factibles para su uso en el tratamiento de aguas residuales , principalmente el residuo con alta concentración de aluminio por su homogeneidad y facilidad de manejo. Este último fue evaluado en la segunda etapa del proyecto con una muestra agua residual de la planta de tratamiento de Clorox de Centroamérica S.A. que presentaba una turbiedad inicial y DQO alta. Ambos parámetros fueron reducidos eficientemente por el residuo en comparación con el sulfato de aluminio aunque necesito una concentración 6 veces mayor de aluminio. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluyo que el residuo de la empresa Extralum S.A. presenta resultados satisfactorios en el tratamiento de agua residuales . Adicionalmente se evaluó el producto natural Triumfetta semitriloba (mozote de caballo) como floculante natural comparado con un polímero aniónico comercialmente utilizado , en donde el mozote de caballo presentó remociones de turbiedad alrededor del 99% y remociones de 100% de DQO, estos resultados son equiparables con los obtenidos con el polímero sintético, indicando la potencialidad de utilización del mozote de caballo para el tratamiento de aguas, en el proceso de floculación.

Palabras claves: *coagulación, floculación, pH, residuos industriales, sulfato de aluminio cloruro de hierro (III), Triumfetta semitriloba* ,mozote de caballo.

Abstract

In the water treatment process of coagulation and flocculation is carried out using commercial products such as aluminum sulfate or ferric chloride, natural polymers and / or artificial which are expensive and could be replaced by natural products and waste the metallurgical industry whose treatment and disposal in addition, have a significant environmental impact represent a cost for companies that generate them. This study evaluated the effectiveness of two industrial wastes, a high concentration of aluminum and another iron, the removal of turbidity in the water. Both residues had good results with respect to the presence of residual aluminum or iron in the treated test water and adequate removal of water turbidity. Additionally we evaluated the natural product Triumfetta semitriloba (Mozote de Caballo) as compared to natural flocculant anionic polymer used commercially, where the Mozote de Caballo presented turbidity removals around 99% and 100% removal of COD, these results are comparable with those obtained with the synthetic polymer, indicating the potential use of the Mozote de Caballo for water treatment, in the process of flocculation.

Índice General

Resumen ii

Abstrac iii

Indice General iv

Indice de Cuadros vi

Indice de Figuras viii

Indice de Anexos xi

Introducción 1

Revisión de literatura 4

Objetivo General 15

Objetivos específicos 15

Metodología 16

Toma de Muestras 16

Prueba de Jarras 16

Preparación de disoluciones 17

Evaluación de las variables pH,dosis de coagulante y dosis de floculante 18

Parámetros utilizados para la selección de los mejores tratamientos 19

Medición de la turbiedad 19

Medición del aluminio residual en el agua tratada 20

Determinación del , hierro y metales pesados en los residuos a evaluar 20

Medición del Mozote 20

Resultados y Discusión 22

1 Etapa : Evaluación Sulfato de aluminio y residuo Extralum 22

Evaluación Residuo Prolex 32

2 Etapa: Evaluación de la actividad coagulante del residuo de la empresa Extralum S. A. en comparación con el sulfato de aluminio para el tratamiento de una muestra de agua residual de la planta de tratamiento de 42

la empresa Clorox de Centroamérica S. A.
3 Etapa: Evaluación de *Triumfetta semitriloba* (mozote de caballo) 49
Conclusiones 55
Literatura citada 56
Anexos 59

Índice de Cuadros

Núm.	Título	Pág.
1	Volumen de solución madre de Caolín utilizado para la preparación de agua turbia sintética para las diferentes turbiedades	19
2	Comparación de los requerimientos químicos para el sulfato de aluminio exigidos a los proveedores por el laboratorio de Acueductos y Alcantarillados con los resultados del análisis de residual de Extralum S.A.	23
3	Comparación del limite máximo de impurezas químicas exigido por el laboratorio de acueductos y alcantarillados en el sulfato de aluminio con el resultado del análisis de los mismos parámetros en le residuo Prolex S.A.	23
4	Condiciones de trabajo del residuo de la empresa Extralum S.A.	24
5	pH óptimo para la acción del sulfato de aluminio comparada con la muestra de la planta Extralum S.A. para la eliminación de las diferentes turbiedades	25
6	Comparación de la dosis óptima del sulfato de aluminio con la muestra de la planta Extralum S.A. para la eliminación de las diferentes turbiedades	28
7	Dosis óptima de floculante para las distintas turbiedades de acuerdo al coagulante utilizado, sulfato de aluminio o el residuo de la empresa Extralum S.A.	31
8	Análisis químico del contenido de aluminio y hierro del agua una vez tratada con el residuo de la industria Extralum S.A	31
9	Análisis químico del residuo de la industria Prolex S.A	33
10	pH óptimo para la acción del cloruro de hierro (III) comparada con la Muestra de la planta Prolex S.A. para la eliminación de las diferentes turbiedades	35
11	Comparación de la dosis óptima del Cloruro de Hierro con la	38

muestra de la planta Proles S.A para la eliminación de las diferentes turbiedades

12 Análisis químico del contenido de hierro del agua una vez tratada con el residuo de la industria Prolex S.A. 39

13 Evaluación de distintos parámetros de una muestra de agua residual de la empresa Clorox de Centroamérica S. A 42

14 Evaluación de distintos parámetros de calidad de una muestra de agua residual de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. antes y después del tratamiento con sulfato de aluminio. 47

15 Evaluación de distintos parámetros de calidad de una muestra de agua residual de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. antes y después del tratamiento con el residuo de la planta Extralum S.A. 48

16 Análisis proximal del Mozote de Caballo 49

17 Valores de pH para cada turbiedad inicial. 50

18 Dosis óptimas del coagulante y floculante sintético y natural para cada turbiedad inicial. 51

Índice de Figuras

Núm.	Título	Pág.
1	Representación esquemática de una partícula de arcilla (Barrenechea, A. 2007).	6
2	Relación de pH-coagulación coagulación de 50 mg/L de caolín con sulfato de aluminio y sulfato férrico. Comparación del pH de coagulación del la turbiedad de arcillas mediante sulfato de aluminio y sulfato férrico. Los puntos en la curva presentan la dosis de coagulante requerida para reducir la turbiedad de arcillas a la mitad de su valor original. Fuente Schulz, C y okun, D. 1990.	11
3	Importacion anual de sulfato de aluminio en el periodo comprendico entre el 2002 y el 2005 según el ministerio de Hacienda	12
4	Importacion anual de Cloruro de Hierro en el periodo comprendido entre el 2002 y el 2005 según el ministerio de Hacienda	13
5	Imagen del instrumento utilizado para la realización de la “Prueba de Jarras”.	17
6	Curva de pH óptimo del Residuo de la planta Extralum S.A. para las distintas turbiedades iníciales en el agua y su efecto en las mismas.	25
7	Curva de pH óptimo del sulfato de aluminio para las distintas turbiedades iníciales en el agua y su efecto en las mismas.	26
8	Curva de solubilidad del aluminio a distintos pH (Cornel University. 1999).	27
9	Efecto en la turbiedad final del agua después de la aplicación de distinta dosis del residuo de Extralum S.A.	28
10	Efecto en la turbiedad final del agua después de la aplicación de distinta dosis de sulfato de aluminio.	29
11	Efecto de las distintas dosis de floculante sobre la turbiedad final del agua utilizando como coagulante sulfato de aluminio.	30

12	Efecto de las distintas dosis de floculante sobre la turbiedad final del agua utilizando como coagulante el residuo de la planta Extralum S.A.	30
13	Residuo Empresa Extralum.S.A.,rico en hidratos de aluminio	34
14	Comparación del resultado del aumento en el pH de dos muestras de la empresa Prolex S.A. tomadas a distintas horas del mismo día de proceso.	36
15	Curva de pH óptimo para la acción coagulante de una solución al 0,25% de cloruro de hierro ($FeCl_3$+6 H_2O) para las distintas turbiedades iníciales en el agua y su efecto en las mismas.	37
16	Curva de pH óptimo para la acción coagulante del residuo de la empresa Prolex S.A para las distintas turbiedades iníciales en el agua y su efecto en las mismas.	37
17	Efecto en la turbiedad final del agua después de la aplicación de distintas dosis una solución al 0.25% de cloruro de hierro ($FeCl_3$+6 H_2O).	38
18	Efecto en la turbiedad final del agua después de la aplicación de distintas dosis una muestra del residuo rico en hierro de la empresa Prolex S.A.	40
19	Efecto de las distintas dosis de floculante sobre la turbiedad final del agua utilizando como coagulante una solución al 0,25% de cloruro de hierro ($FeCl_3$+ 6H_2O).	40
20	Efecto de las distintas dosis de floculante sobre la turbiedad final del agua utilizando como coagulante una muestra del residuo de la empresa Prolex S.A.	43
21	Curva de pH óptimo para la disminución de la turbiedad del residuo de la planta Extralum en comparación con el sulfato de aluminio utilizando una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A.	44
22	Efecto en la turbiedad final de una muestra de agua de la planta de	44

tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. después de la aplicación de distinta dosis del residuo de Extralum S.A

23 Efecto en la turbiedad (FTU) final de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. después de la aplicación de distinta dosis de sulfato de aluminio (ppm). 45

24 Efecto de las distintas de las dosis de floculante sobre la turbiedad final de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. al ser combinado con un residuo de la planta Extralum en comparación con el sulfato de. 45

25 Flóculos producto del tratamiento de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. con un residuo de la planta Extralum después de el periodo de agitación. **B**- Flóculos producto del tratamiento de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. con sulfato de aluminio después de el periodo de agitación. **C**- Flóculos producto del tratamiento de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. con un residuo de la planta Extralum después de el periodo de reposo. **D**- Flóculos producto del tratamiento de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. con sulfato de aluminio después de el periodo de reposo. 50

26 pH óptimos para cada turbiedad inicial 52

27 Dosis optima de coagulante al 0.25% para cada turbiedad inicia 52

28 Dosis óptimas de floculante sintético al 0.02% para cada turbiedad inicial 53

29 Dosis óptimas de floculante natural solución 1:4 para cada turbiedad inicial 54

Índice de anexo

Núm.	Título	Pág.
1	Diagrama del proceso de coagulación y floculación seguido en el laboratorio	60
2	Datos experimentales obtenidos de las pruebas con una solución al 0.25% de sulfato de aluminio	62
3	Datos experimentales obtenidos de las pruebas con una solución al 50% del residuo de la industria Extralum S.A. filtrado	73
4	Datos experimentales obtenidos de las pruebas con una solución al 0.25% de cloruro de hierro ($FeCl_3$+ 6 H2O)	84
5	Datos experimentales obtenidos de las pruebas con residuo, rico en hierro, de la Empresa Prolex S.A	95
6	Datos experimentales obtenidos de las pruebas utilizando como coagulante sulfato de aluminio para el tratamiento de una muestra de agua tomada de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A	106
7	Datos experimentales obtenidos de las pruebas utilizando como coagulante sulfato de aluminio para el tratamiento de una muestra de agua tomada de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A	109
8	Análisis químicos	112
9	Datos experimentales pruebas con Mozote	120

Introducción

Toda actividad humana de una u otra forma involucra la utilización de agua en su desarrollo, desde el sector más dependiente como es el primario hasta el de servicios. Estas formas de uso generan residuos líquidos o aguas residuales que, de acuerdo a las regulaciones de cada país, deben de ser tratados para disminuir su impacto al ser retornadas a la naturaleza.

El tratamiento de aguas puede subdividirse en cuatro etapas: clarificación, desinfección, acondicionamiento químico y acondicionamiento organoléptico. La etapa de clarificación consiste en la eliminación de partículas finas y puede subdividirse en coagulación, floculación y sedimentación y/o filtración (Ciencia Abierta. 2007).

Para el caso de la etapa de clarificación, específicamente para la eliminación de los sólidos suspendidos en el agua, es factible la coagulación química que, es una etapa muy dependiente de las dosis de coagulantes, del floculante, del pH y de las concentraciones coloidales. Entre los agentes químicos más comúnmente utilizado es el sulfato de aluminio o alumbre ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) y el cloruro férrico ($FeCl_3$). Otros coagulantes comerciales usados son el aluminato de sodio, sales de hierro y el sulfato ferrico ($Fe_2(SO_4)_3$).

Además, de los productos mencionados existe una serie de residuos industriales que podrían presentar algún potencial como productos coagulantes para el tratamiento de aguas tanto de consumo como residuales, como menciona Schulz, C y okun, D. (1990) en su libro “Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo”. Muchos de estos residuos representan un problema para las empresas que los generan, pues no son aprovechados y su disposición es costosa. Estos deben de ser reducidos a lodos, inmovilizados en bloques de cemento y llevados a botaderos de basura, en el mejor de los casos.

Un estudio en este campo, realizado en el 2002 por Araya, W, logró identificar un total de 43800 ton/año de lodos industriales de distintos sectores industriales del área metropolitana de nuestro país. El mismo estudio realizado durante el 2007 calculó que durante el 2006 se generaron 100,000 toneladas anuales, producto en su mayoría del tratamiento de las aguas residuales de dichas industrias.

Aunque existen algunas iniciativas de acopio, recolección y transporte, en algunos casos estos lodos no reciben el tratamiento ni la disposición adecuada y muchos terminan en los rellenos, botaderos municipales o en los vertederos clandestinos. Opciones como la

reducción, reutilización, reciclaje o el co-procesamiento son más apropiadas para la gestión ambiental de los residuos industriales pues, además , de solucionar el problema de su disposición e impacto ambiental negativo, convierten algunos en productos con valor económico. A la vez, ayudan a las empresas a darle un mayor aprovechamiento de sus recursos, al proporcionarle un valor agregado a sus residuos de producción y convertirlos en fuente de ingresos.

Dos ejemplos de empresas de la industria metalúrgica que generan grandes cantidades de residuos industriales, son las empresas Extralum S.A y Prolex S.A. La primera esta ubicada en el Guarco de Cartago, es una industria dedicada a la manufactura de aluminio crudo, anodizado y lacado para su uso arquitectónico (Carranza, 2002). En el proceso de anodinado de las piezas de aluminio son inicialmente sometidas a una *limpieza alcalina o enjuague* con el objeto de eliminar los residuos de aceite, grasa, polvo y suciedad en general, adheridas a esta por la manipulación propia del proceso. A este proceso se le llama decapado y durante el mismo parte del aluminio se disuelve en el medio básico y al neutralizarlo genera un precipitado.

Como parte del proceso de disposición de residuos el precipitado es pasado por un filtro prensa que genera un lodo blanco (alrededor de 90 toneladas al mes), rico en oxido de aluminio hidratado y que esta siendo desechado en rellenos sanitarios. (Carranza, 2002). El costo por el transporte y disposición de los lodos tiene un valor promedio de $1100 /mes (Vargas, 2006).

La segunda empresa mencionada se encuentra ubicada en Parque industrial de Cartago y se dedica a la producción de puntas de Cautín. Este proceso conlleva una serie de baños ácidos a las piezas, antes de convertirse en un producto terminado. De estos baños, se generan aguas residuales ricas en metales como el Níquel, Cromo y hierro entre otros.

Ambas empresas deben de enfrentar el gasto asociado del proceso de tratamiento de las aguas y disposición de los residuos, por lo que han iniciado un programa de minimización de residuos y estudios de reutilización.

Es por estas razones que la investigación para un uso alternativo de estos residuos como coagulantes en el tratamiento de aguas, podría beneficiar económicamente a las empresas involucradas y contribuir al desarrollo de una opción para el tratamiento de sus residuos, de forma más amigable con la naturaleza.

Esta investigación pretende evaluar la potencialidad de coagulación de los residuos industriales de las empresas anteriormente mensionadas en el tratamiento de aguas comparado con los productos utilizados convencionalmente.

Adicionalmente Costa Rica, al ser un país con una alta biodiversidad , presenta una alta potencialidad de productos naturales que podrían eventualmente sustituir al menos de una manera parcial la importación de polímeros sintéticos para el proceso de floculación.

En nuestro país existe una especie vegetal conocida comúnmente como mozote de caballo o simplemente mozote, lo cual ha sido ampliamente utilizada para el tratamiento de enfermedades gástricas debido a que sus tallos poseen una savia mucilaginosa que se extrae remojando los palitos en agua durante toda la noche.

Para efectos del estudio realizado, su importancia radica en que algunos trapiches de Costa Rica, por ejemplo Turrialba y Guanacaste, se ha utilizado exitosamente la corteza de mozote machacada para la eliminación de impurezas en la fabricación del dulce (Araya 2004).

Es posible que así como se utiliza en los trapiches, esta planta también actúe como un coayudante en el proceso de coagulación (floculación). Por lo tanto, es objetivo también de este proyecto evaluar si la especie vegetal *Triumfetta semitriloba* cuyo nombre común es mozote de caballo, nativa de nuestro país si posee propiedad floculante que pueda utilizarse para el tratamiento de aguas.

Revisión de literatura

El agua puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles pero consta de tres tipos principales de impurezas: físicas, químicas y biológicas. Entre las impurezas físicas se encuentran los coloides. 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 (van Bremen, 2001; Degremont, 1991). Estas impurezas forman parte de lo que se denomina turbiedad, que se define como la propiedad óptica de una muestra de diseminar y absorber la luz en lugar de transmitirla en línea recta (Ciencia Abierta. 2007).

Existen dos tipos de equipos para medir turbiedad. En la primera clase de equipos están el turbidímetro de aguja de platino y la bujía de Jackson, los cuales son aptos para medir turbiedades altas. En la segunda clase de equipos está el turbidímetro Hach, que se utiliza para medir turbiedades bajas (nefelometría) (Ciencia Abierta. 2007). También puede ser medida en unidades de turbiedad formazin (FTU).

Además, de turbiedad es posible también definir color. El color del agua se debe principalmente a materia orgánica o minerales en suspensión o en estado coloidal. Se habla de dos tipos principales de color; aparente si no se ha removido la turbiedad y verdadero del agua en caso contrario. En general el color se determina con tubos Nessler. Como impurezas físicas se encuentran los sólidos totales que en el agua se pueden clasificar en tres categorías según el tamaño de las mismas:

- Sólidos suspendidos (mayor a 10^{-6} m): estos pueden ser de origen mineral (arena, arcillas, etc.) u orgánico (productos de la descomposición de plantas y animales, por ejemplo ácidos húmicos o fúlvicos) Además, de estos compuestos también se encuentran microorganismos como bacterias, plancton, algas y virus. Los sólidos suspendidos son los responsables de la turbidez y el color del agua.
- Partículas coloidales (entre 10^{-6} m y 10^{-9} m): estas son sólidos suspendidos originadas de igual manera que los anteriores pero con un tamaño inferior y una velocidad de sedimentación muy lenta. También son responsables de turbidez y color. Los coloides son normalmente estables en solución. En general priman los factores estabilizantes por sobre los desestabilizantes. Entre los factores estabilizantes se cuentan a todas las fuerzas o fenómenos que generan repulsión

entre ellos y por tanto, las fuerzas electrostáticas y la hidratación son favorables. Las fuerzas de atracción, en cambio, cumplen un papel opuesto y desestabilizan. Entre ellas la gravedad, el movimiento Browniano y las fuerzas de Van der Waals (Ciencia Abierta. 2007).

- Sustancias disueltas (menor a 10^{-9} m): estas son usualmente sustancias inorgánicas (como cationes y aniones) y sustancias orgánicas (como ácidos, alcoholes, aldehídos, etc.). También pueden haber gases presentes (oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, etc.).

El contenido de sólidos suspendidos en el agua para descarga a aun cuerpo de agua, en el caso de las aguas residuales se encuentra normado en 50 mg/L dentro del Reglamento de Vertido y Rehúso de Aguas Residuales 2007 (Decreto Nº 33601). En este reglamento no se encuentra normada la turbiedad en el agua al ser regresada a la naturaleza, pero el Reglamento para la Calidad del Agua Potable 2005 (Decreto Ejecutivo Nº 32327-S) lo limita a 5 FTU para las aguas potables.

La turbiedad puede ser producto de materia suspendida y esta puede ser removida por filtración o sedimentación y filtración especialmente cuando es mayor de 5 a 10 µm. Partículas de menor tamaño como los coloides se pueden remover por filtración lenta si el agua no esta altamente contaminada. Pero cuando las aguas son de muy baja calidad se presentan dificultades y la materia coloidal que puede tardar 755 días en sedimentar y otras impurezas no se pueden remover por filtración rápida o lenta (van Bremen, 2001). Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación (química o mecánica), floculación y sedimentación o de filtración.

Las suspensiones coloidales están sujetas a ser estabilizadas y desestabilizadas.

Entre las fuerzas de estabilización o repulsión podemos mencionar las siguientes:

a) La carga de las partículas.

b) La hidratación, que generalmente es importante para los coloides hidrofílicos, aunque tienen menor importancia en este caso.

Los factores de atracción o desestabilización son los siguientes:

a) La gravedad. Es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales y, por lo tanto, no se tratará con mayor detalle.

b) El movimiento browniano. Permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización.

c) La fuerza de Van der Waals. Una fuerza débil de origen eléctrico, postulada por primera vez por el químico holandés Johanns Diderick van der Waals. Es un factor muy importante, pues constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas fuerzas siempre atractivas, que decrecen rápidamente con la distancia, se deben a la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas.

En el tratamiento del agua, es común referirse a los sistemas coloidales como hidrófobos o suspensores cuando repelen el agua, e hidrófilos o emulsores cuando presentan afinidad con ella. Obviamente, los coloides hidrófobos no repelen completamente al agua, pues una película de ella es absorbida por los mismos pero pequeñas cantidades de electrolitos estabilizan un coloide hidrófobo. En los sistemas coloidales hidrófobos, las propiedades de la superficie de las partículas son muy importantes, principalmente en las aguas naturales, que pueden contener varios tipos de arcillas.

Las arcillas son los componentes más frecuentes y comunes de las aguas turbias y constituyen un material natural, terroso, de gránulos muy finos, que se vuelve plástico cuando se mezcla con cierta cantidad de agua. Los constituyentes más importantes de las arcillas son los silicatos hidratados de aluminio y hierro, también algunos elementos alcalinos y alcalino-térreos (Barrenechea, A. 2007).

Las arcillas y algunos óxidos metálicos son coloides hidrófobos muy importantes en el tratamiento del agua. Se caracterizan por ser termodinámicamente inestables con respecto a la formación de grandes cristales no coloidales. Morfológicamente, las partículas de arcillas se representan en forma de plaquetas compuestas de láminas muy finas, como muestra la figura 1 (obtenida en microscopio electrónico).

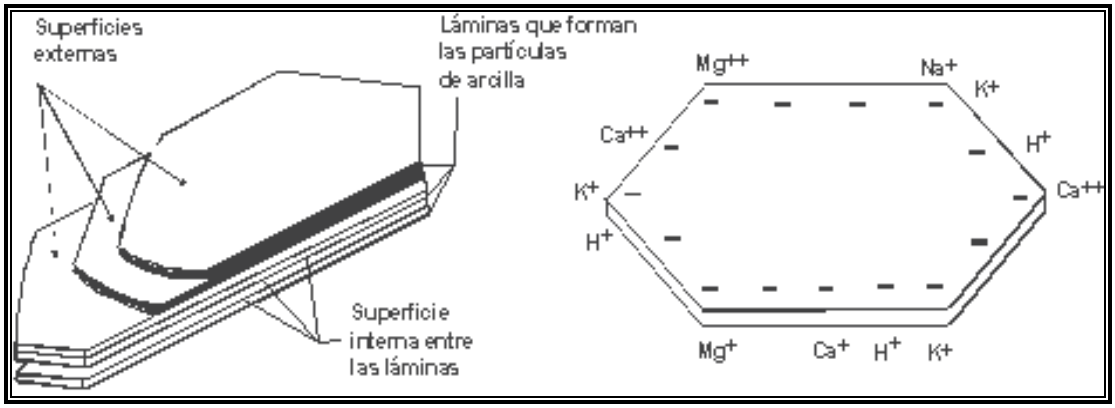


Figura 1. Representación esquemática de una partícula de arcilla (Barrenechea, A. 2007).

Actualmente existen productos derivados de arcillas que son utilizados en laboratorio para pruebas de coagulación entre otras. Uno de estos productos es el Caolín o silicato de aluminio hidratado, que es derivado de la Caolinita (Al$_4$ (Si$_4$O$_{10}$) (OH)$_8$ + A$_{l4}$ (Si$_4$O$_6$) (OH) $_{16}$).

Coagulación – Floculación:

Los términos Coagulación y Floculación son muchas veces mal utilizados y confundidos con la formación de agregados. La confusión proviene del hecho de que frecuentemente ambas operaciones se producen de manera simultánea.

La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas lo que produce que se aglutinen en pequeñas masas llamadas microfloculos tal que su peso específico supere a la del agua, mientras que la floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floculo suficientemente grande y pesado como para sedimentar (Ciencia Abierta. 2007).

La agitación suave, es indispensable para la floculación. Esta puede lograrse hidráulica, químicamente o mecánicamente (Ramírez, J. 2006). Existen muchos productos químicos utilizados para este fin, estos principalmente son polímeros de cadena larga de uso muy específico para cada tipo de agua a tratar. Un buen ejemplo es el la acrilamida de sodio (nombre comercial Aquamax Fluc Pha según la hoja técnica del proveedor), que es un floculante de tipo aniónico utilizado en la empresa Prolex S.A. para el tratamiento de sus aguas residuales y a la ves el utilizado en este proyecto como floculante.

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 coagulación es un método efectivo para el tratamiento del agua, reduciendo sus niveles de compuestos orgánicos, partículas suspendidas, iones y color 80 a 90% de remoción, (Metcalf & Eddy Inc. 2000). Se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

— El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.

— El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua: pH, temperatura, cantidad de partículas, etcétera. Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. De allí en adelante, se necesitará una agitación relativamente lenta, la cual se realiza dentro del floculador. En esta unidad las partículas chocarán entre sí, se aglomerarán y formarán otras mayores denominadas flóculos; estas pueden ser removidas con mayor eficiencia por los procesos de sedimentación, flotación o filtración rápida (Barrenechea, A. 2007).

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, etcétera.

La agitación suave favorece el que se ponga en contacto íntimo las partículas coaguladas, las bacterias y la materia suspendida "hasta que se adhieran entre sí, formando grandes masas de flóculos". Incluso solamente por agitación suave podrán crecer lo suficiente estas partículas coaguladas, para que se puedan depositar fácilmente en el tanque de sedimentación. (Ramírez, J. 2006).

Básicamente los coagulantes químicos trabajan utilizando las cargas positivas del aluminio o el hierro para neutralizar las cargas negativas de las sustancias disueltas y partículas suspendidas en el agua. Esta neutralización causa la formación de partículas

de mayor tamaño y puedan precipitar y ser posteriormente removidas (L. Braul and A. Leader. 2006). La neutralización en la superficie de coloides negativos es lograda por la adición de cationes en el caso de coagulantes inorgánicos. Para este efecto los iones trivalentes como los generados por las sales trivalentes del hierro y del aluminio son diez veces más eficaces que el ión bivalente.

La coagulación se puede presentar a un potencial pequeño sin necesidad de neutralizarlo por completo. El coagulante inorgánico debido a su hidrólisis cambia las características físico-químicas del agua que es tratada, dígase pH y conductividad entre otras y si se añade demasiado coagulante las partículas se cargan ahora con el signo contrario y pueden volver a dispersarse. También dependiendo de la alcalinidad presente en el agua se puede llevar a cabo diversas reacciones. Generalmente hay suficiente alcalinidad en el agua que se va ha tratar para completar el proceso de coagulación. No obstante en algunas ocasiones es necesario agregar alcalinidad, ya sea con cal o con sosa calcinada, cuando de por si no hay suficiente alcalinidad.

Aunque el alumbre es el coagulante que más se utiliza, hay algunos otros coagulantes que también se utiliza, entre ellos:

1- El alumbre activado, que contiene sílice.
2- El alumbre negro que contiene carbón activado
3- El aluminato de Sodio
4- El cloruro de polialuminio
5- El sulfato ferroso, caparrosa verde o vitriolo verde.
6- El cloruro férrico
7- El sulfato férrico

Al adicionar estas sustancia al agua en tratamiento se dan una serie de reacciones, por ejemplo al adicionar sulfato de aluminio se forma hidróxido de aluminio, que es poco soluble en agua alrededor de 0,05 ppm, arrastra las impurezas suspendidas o disueltas presentes en el agua (Water Treatment: Coagulation, 2005):

$$Al_2\,(SO4)_{3(s)} + 3\,Ca\,(HCO_3)_{2(s)} \rightarrow 3\,CaSO_{4(s)} + 2\,Al\,(OH)_{3(s)} + 6\,CO_{2(g)}$$

De manera similar al adicionar cloruro de hierro (III) en presencia de suficiente hidróxido de calcio se forma el hidróxido de hierro (III) que también arrastra las impurezas (Deremond):

$$2Fe\,Cl_{3(s)} + 3Ca\,(OH)_{2(s)} \rightarrow 2Fe\,(OH)_{3(s)} + CaCl_{2(s)}$$

Finalmente, en el caso de utilizar sulfato de hierro (II) se debe llevar a cabo la oxidación del hierro (II) a hierro (III) para obtener el hidróxido de hierro (III) (Water Treatment: Coagulation, 2005):

$$FeSO_{4(s)} + Ca(OH)_{2(s)} \rightarrow Fe(OH_{)2(s)} + CaSO_{4(s)} \rightarrow 4Fe(OH)_{2(s)} + 2H_2O + O_{2(g)} \rightarrow 4Fe(OH)_{3(s)}$$

Para el caso del aluminio, que es el coagulante de mayor utilización en nuestro país, trabaja en un intervalo entre 6,0 y 8,0 unidades de pH como se muestra en la figura 2 (Schulz, C y okun, D. 1990). Aunque, las aguas blandas de bajo contenido mineral se coagulan mejor dentro de un ámbito restringido de pH, entre 5,8 y 6,4, mientras que las aguas mas duras, se coagulan muy fácilmente a pH que varia desde 6,8 hasta 7,8 (Ramírez, J. 2006).

Coagulantes a base de hierro (III) como el sulfato férrico y el cloruro de hierro son muy eficientes y poseen dos intervalos de pH. El intervalo más bajo empieza en Aproximadamente 3,5 y termina en pH 7,0 para un agua con alcalinidad alta. El intervalo mas alto es de 8,0 hasta 9,5 (FAISAN. 2007). Esta amplitud del pH al cual realizan su acción se puede apreciar en la figura 2.

La preferencia del sulfato de aluminio se debe principalmente a sus excelentes resultados y su dosificación simple, pero a su vez el aluminio residual en el agua tratada representa un riesgo para la salud y el medio ambiente. Por esta razón se encuentra limitado por la organización mundial de la salud y de forma nacional por el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales y el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (El Presidente de la República y los Ministros de Salud y de Ambiente y Energía, 1997), a 0.2 ppm para aguas de consumo y 5 ppm para aguas residuales.

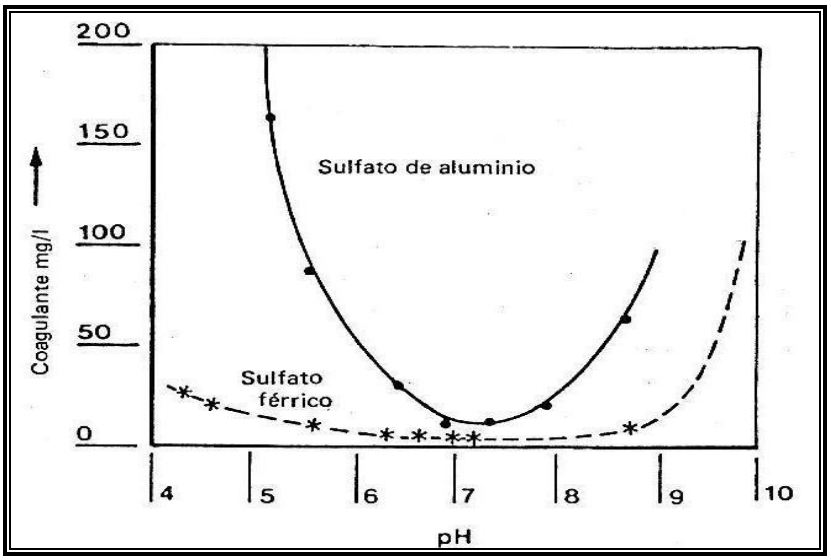


Figura 2. Relación de pH-coagulación. Coagulación de 50 mg/L de caolín con sulfato de aluminio y sulfato férrico. Comparación del pH de coagulación del la turbiedad de arcillas mediante sulfato de aluminio y sulfato férrico. Los puntos en la curva presentan la dosis de coagulante requerida para reducir la turbiedad de arcillas a la mitad de su valor original. Fuente Schulz, C y okun, D. 1990.

Además , del sulfato de aluminio es también utilizado en nuestro país, aunque en menor medida, el cloruro de hierro que según soto et all, da buenos resultados en cuanto a la remoción de iones Cr^{3+}, Fe^{3+}, Zn^{2+} y Ni^{2+} de aguas residuales, y en la remoción de la turbiedad en el agua. La literatura menciona que forma flóculos de mayor peso y no se vuelven a disolver a pH altos.

Soluciones ricas en hierro o aluminio y con potencial como coagulantes, pueden ser recuperados de aguas provenientes de la limpieza de metales en las acerías y demás industrias metalúrgicas (González, 2001).

Coagulantes derivados de residuos industriales

En varios procesos industriales se derivan una serie de residuos que se podrían utilizar como coagulantes. Un buen ejemplo es el sulfato de hierro (II), residuo de la fabricación de acero es ampliamente utilizado a nivel mundial (Kelderman y Kruis, 2001).

También se ha identificado que en la manufactura de aluminio para uso arquitectónico se genera un residuo rico en hidróxido de aluminio (alrededor del 65%). A nivel nacional exciten empresas como Extralum S.A. que llega a producir alrededor de 80 toneladas mensuales del residuo, el cual se debe evaluar su capacidad de coagulación (Vargas, 2004). Otro residuo, generado por la industria metalmecánica en el decapado

de los metales de hierro, genera un residuo rico en hierro (III) como el de la industria Prolex S.A. Dichos residuos se deben caracterizar y evaluar su potencial uso como coagulante (González, 2001).

La utilización de coagulantes comerciales importados para el tratamiento de aguas es una practica común en nuestro país. Según el Ministerio de Hacienda entre el 2002 y el 2006 se importaron alrededor de 15600 toneladas anuales de sulfato de aluminio, equivalentes a los 620000 dólares por año (costo en aduanas) (Ministerio de Hacienda, 2007) y 642 kg de cloruro de hierro, como se aprecia el las figuras 3 y 4.

La recuperación y reutilización de los residuos de producción, es una oportunidad para las empresas , ya que les permitiría disminuir los costos del tratamiento de sus aguas industriales y el de los coagulantes generados, pues se abaratarían al ser producidos nacionalmente. Además , la investigación del uso alternativo de estos residuos, como sustituyentes de coagulantes comerciales importados, podría contribuir al desarrollo de una tecnología, mas económica y amigable con la naturaleza.

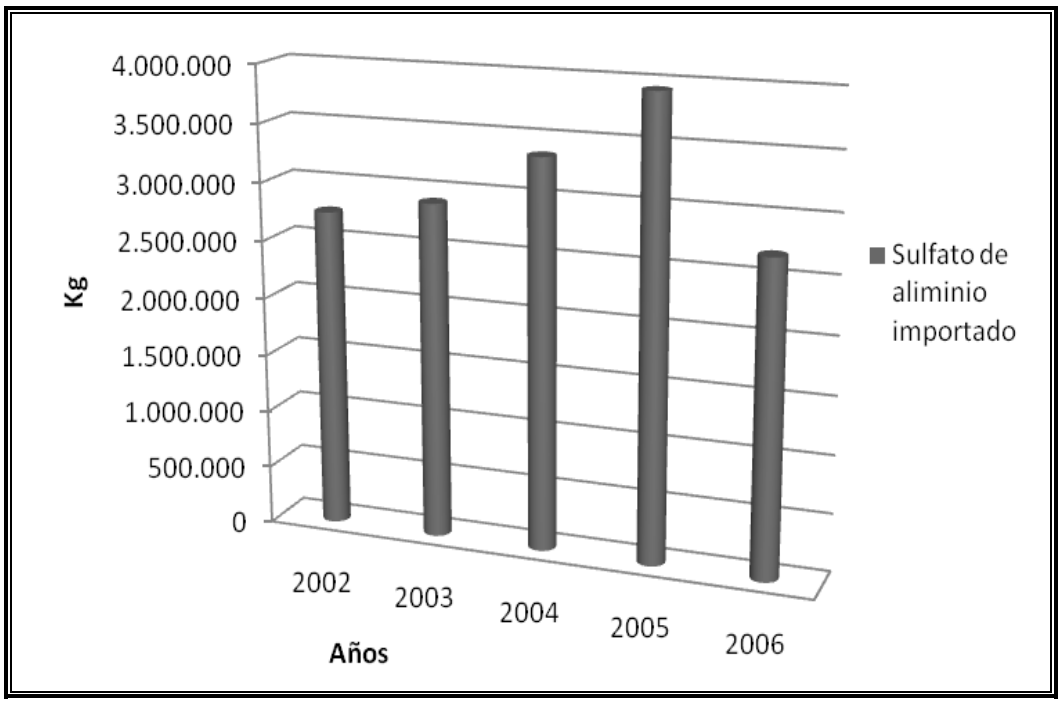


Figura 3. Importacion anual de sulfato de aluminio en el periodo comprendido entre el 2002 y el 2005 según el Ministerio de Hacienda

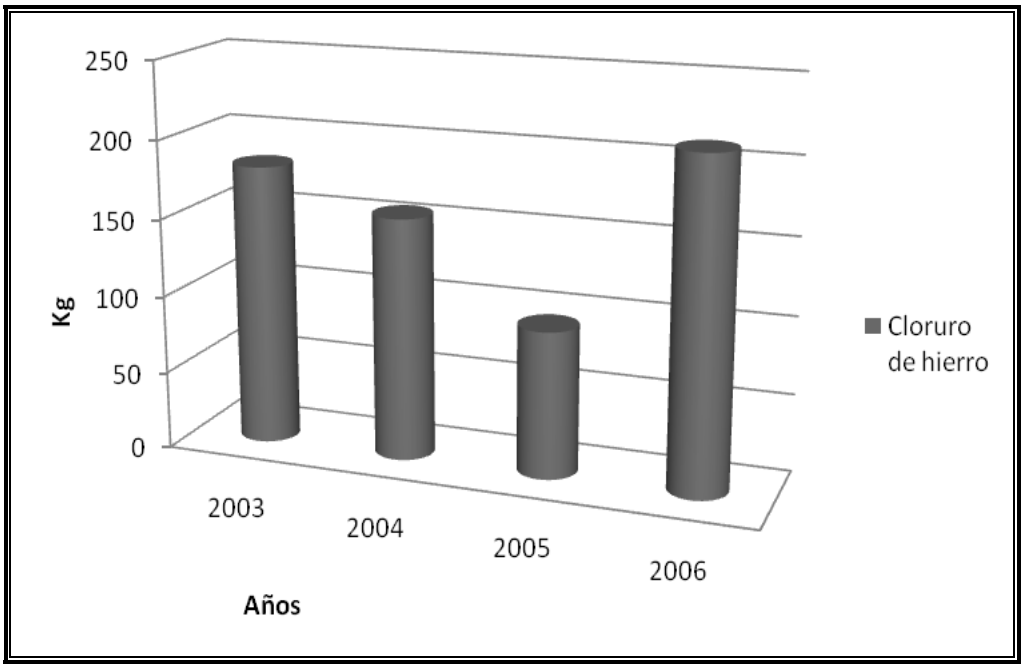


Figura 4. Importacion anual de cloruro de hierro en el periodo comprendido entre el 2002 y el 2005 según el Ministerio de Hacienda

Pero a pesar de que el aluminio ha sido el coagulante más usado por su fácil manejo y su disponibilidad, investigaciones recientes indican que existen algunos inconvenientes con el uso de este químico, ya que además de producirse grandes cantidades de sedimento, los altos niveles de aluminio remanente en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública debido a que en grandes concentraciones pueden ser causantes del síndrome de Alzheimer (Donato *et al* 2006).

En investigaciones médicas realizadas en Inglaterra se ha encontrado que los riesgos de contraer la Enfermedad de Alzheimer es 1,5 veces mayor en aquellos sitios donde las concentraciones de aluminio en el agua exceden los 0,110 mg/l (González 1991),

En cuanto a los floculantes, según su origen encontramos (Andía 2000):

- **Floculantes orgánicos:** son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales.

- **Floculantes sintéticos:** son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada, y se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros:
    - Aniónicos: copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico.
    - Neutros: poliacrilamidas.
    - Catiónicos: copolímero de archilamidas y un monómero catiónico.

Hoy día se usan una gran variedad de polímeros sintéticos. Pero para este tipo de polímeros se debe considerar la toxicidad del producto, pues en ocasiones los monómeros que los componen son tóxicos, por ejemplo, los monómeros acrílicos son tóxicos al sistema nervioso y pueden estar presentes en los productos comerciales (Van Bremen, 2001).

La importancia del uso de floculantes, además , de mejorar la sedimentación y firmeza del flóculo permitiendo periodos de sedimentación más cortos, es que reducen significativamente la dosis requerida de los coagulantes (por ejemplo, sulfato de aluminio), lo cual es un beneficio para los países en desarrollo que deben importar grandes cantidades de coagulantes (Christopher R. y Daniel A. 1990), y como ya se mencionó, se han asociado la enfermedad de Alzheimer con la concentración de aluminio presente en el agua potable (González 1991).

Dentro de esta concepción se propone la utilización de floculantes naturales que sean de fácil manejo y obtención, por ejemplo, los almidones extraídos de maíz, papa, yuca. Los extractos de semillas, hojas y corteza de algunas plantas han sido utilizados exitosamente en diversos países como floculante natural (Christopher R. y Daniel A. 1990).

Objetivos

Determinar, caracterizar y evaluar las posibilidades técnicas, ambientales de utilizar al menos cuatro materiales de origen nacional como coagulantes y/o floculantes en el tratamiento de aguas.

4.2 Objetivos específicos:

1) Identificar y caracterizar química y físicamente residuos industriales ó materiales naturales con propiedades coagulantes y/ó floculantes.

2) Determinar la eficiencia de los coagulantes y/ó floculantes en la remoción de sustancias suspendidas y coloidales.

3) Realizar pruebas en alguna (s) planta (s) de tratamiento de agua a nivel piloto.

Metodología

La investigación consta de tres partes una primera en la que se realizó la optimización del proceso utilizando dos coagulantes comerciales y de uso muy difundido en nuestro medio, el sulfato de aluminio y el cloruro de hierro. Ambos combinados con un floculante comercial (Aquamax Floc PHA), también de uso común en el tratamiento de aguas. En esta etapa se determinaron las condiciones y dosis óptimas para el buen funcionamiento de ambos productos, para utilizarlos como referencia y base de comparación.

Después de optimizar el procedimiento, se realizaron las mismas pruebas con dos residuos industriales, ambas sustancias líquidas, una de la empresa Extralum S.A. (rico en aluminio) y un segundo proveniente de Prolex S.A. (rico en hierro). Estas sustancias se obtienen como residuos de lavados y baños realizados en cada empresa.

En la segunda etapa se utiliza a nivel de escala piloto una muestra real en donde se valora la eficiencia del residuo que presentó mayor eficiencia en la remoción de turbiedad a nivel de laboratorio.

Tercera etapa se realizan pruebas a nivel de laboratorio a diferentes turbiedades con el mozote de caballo y se evalúa su eficiencia de remoción.

Toma de muestras:

La muestra del Residuo de la planta Extralum fue tomada directamente de la planta en proceso después del tratamiento de decapado. La muestra fue almacenada en un recipiente plástico hasta su utilización en el proyecto.

De la empresa Prolex.S.A , se tomaron dos muestras a diferentes horas del tanque de almacenamiento del agua producto del lavado de los baños de hierro. Dichas muestras fueron llevadas al laboratorio y mantenidas en recipiente plásticos.

La muestra de agua residual fue obtenida de la entrada de la planta de tratamiento de Clorox de Centroamérica S.A.

Prueba de jarras:

Para la evaluación de las características como coagulantes se siguió el procedimiento de “prueba de jarras” recomendado (Sapporo City Institute of Public Health, 2003); el

cuál por comparación de resultados de la turbidez final del agua permite determinar el material y la dosis mas efectiva.

Esta prueba consiste, en la preparación de seis litros de agua turbia sintética. El agua se dispenso en seis sendas jarras (un litro por jarra) y se inicio con una agitación de 100 rpm por un minuto para la adición del coagulante. Transcurrido este periodo se llevo la agitación a 60 rpm para la medición del pH inicial y su posterior ajuste. Este paso tomo entre 5 y 10 minutos para el ajuste de las 5 muestras. Con el pH fijado se adiciono el floculante y se agitaba por 5 min. a 50 rpm, para que una vez cumplido este lapso de agitación se dejo en reposo por 20 min.

Después del periodo de reposo se tomo una muestra de 10 ml con una micropipeta y se coloco en una celda de vidrio y por medio del espectrofotómetro se le determino su turbiedad residual (En el anexo 1 se presenta un esquema de esta prueba). En la figura 3 se muestra una imagen del instrumento utilizado para la "Prueba de Jarras".

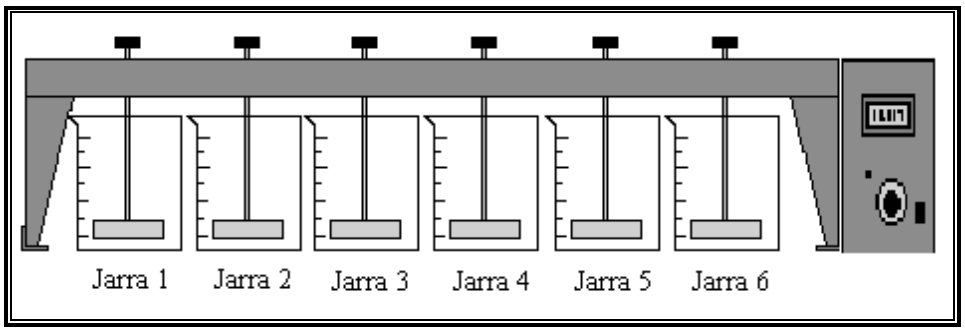


Figura 5. Imagen del instrumento utilizado para la realización de la "Prueba de Jarras".

Preparación de disoluciones:

Sulfato de aluminio: 2,5 g de sulfato de aluminio comercial (H_2SO_4+18 H_2O) granulado por litro de disolución para una concentración del 0,25 % m/v. Esta fue preparada de forma quincenal.

Cloruro de Hierro: a partir de una dilución madre al 1% de donde se tomaron las demás alicotas para las muestras al 0,25% que eran preparadas de forma semanal.

Floculante: 0,2 g por litro de disolución del polímero de tipo catiónico Aquamax Floc PHA. Se preparo de forma quincenal.

Residuo de Extralum:

-el residuo proveniente de la planta primeramente fue filtrado con un papel filtro cualitativo # 5 marca Whatman, para luego ser diluido al 50%. La dilución fue preparada de forma semanal.

- Sólido seco proveniente del proceso de neutralización de la planta de tratamiento

Agua turbia sintética:

El agua que se utilizó en las pruebas fue un agua turbia sintética preparada mediante la adición de 5 g de caolín en 1 L de agua del tubo, esta suspensión fue agitada por una hora para lograr una dispersión uniforme de las partículas de caolín. Luego se efectuaron sucesivas diluciones hasta obtener los valores prefijados para la turbidez iniciales de 10, 30, 100, 200 y 300 NTU, los cuales fueron verificados en un colorímetro, las alícuotas para preparar las distintas turbiedades utilizadas se muestra en la Cuadro 1.

Cuadro 1. VOLUMEN DE DILUCIÓN MADRE DE CAOLÍN UTILIZADO PARA LA DE PREPARACIÓN DE AGUA TURBIA SINTÉTICA PARA LAS DIFERENTES TURBIEDADES.

TURBIEDAD FINAL (FTU)	SOLUCIÓN MADRE (ML)	VOLUMEN TOTAL (L)
10	12	6
30	40	6
100	150	6
200	280	6
300	400	6

Muestra del residuo Prolex S.A: la muestra cruda se tomó tal cual se trajo de la planta y se utilizo, en la medida de lo posible, en un periodo no mayor a una semana.

Ácidos y bases para regulación del pH: Hidróxido de sodio 1 Normal (NaOH) y Acido sulfúrico (H_2SO_4) 1Normal.

Evaluación de las variables pH, dosis de coagulante y dosis de floculante:

Mediante la prueba de jarras se evaluaron tres variables el pH, la dosis de coagulante y la de floculante, por medio de corridas con las seis jarras cada una. La definición de las mismas se realizaron de forma consecutiva, primero se efectuaron tres corridas para fijar el pH optimo, utilizando dosis estándar de coagulante y floculante. Luego se determinaba la dosis óptima de coagulante mediante tres corridas más, utilizando el pH antes determinado y una dosis modelo de floculante. El floculante utilizado a lo largo de

todo el proyecto fue el Aquamax Floc PHA, que esta compuesto de acrilamida y es el utilizado por la empresa Prolex S.A., para el tratamiento de sus aguas residuales

Una vez obtenido el pH óptimo y la dosis óptima de coagulante, se evaluaba las dosis óptimas de floculante mediante tres corridas más del equipo. A la última corrida de esta variable se le evaluaba el aluminio y el hierro residual respectivamente, una vez transcurrido el proceso. Para este fin se utilizaba espectrofotometría o se enviaban muestras del agua al laboratorio CEQIATEC.

Parámetros utilizados para la selección de los mejores tratamientos.

Para evaluar la eficacia del tratamiento y la dosificación óptima de floculantes y coagulantes en una muestra se evaluaban tres parámetros principales, la turbidez residual, el aluminio residual y las características de los flóculos. La turbiedad residual se evaluó mediante un espectrofotómetro en FTU y se seleccionaban los tratamientos que presentaran la menor turbidez residual en el agua tratada.

Para la evaluación del el aluminio residual se utilizo como parámetro la norma para agua potable vigente en le país que es de 0,2 ppm y de 5 ppm para aguas residuales (Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. 1997.). este metal se midió utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer 3300.

Los flóculos fueron evaluados de forma visual en cuanto a su consistencia, tamaño, velocidad de formación y deposición. Se entendió como bueno o adecuado flóculos de buen tamaño, con una densidad aparente alta y de formación y deposición rápida.

Medición de la turbiedad:

Para medir la turbiedad inicial así como la residual se utilizo un espectrofotómetro (marca LAMOTTE, Smart 2 Test Producer 2,04), el cual ya poseía de forma interna las curvas de calibración del método de absorbancia luminosa (# 98 en el instrumento), de manera que solamente se debía de medir un blanco para calibración (agua destilada) y se procedía a medir las distintas muestras.

El instrumento de medición reporta los datos en Unidad de calibración basada en la formalina, unidades de turbiedad Formazin (FTU), que se usa en el tratamiento del agua para la medida de turbidez por el método de la luz dispersa (Weyershausen, Kowalkowski. 2001).

Medición del aluminio residual en le agua una vez tratada:

Para la determinación del aluminio residual en el agua después del tratamiento con cada sustancia se debió de almacenar 150 mL de muestra de agua tratada de las diferentes turbiedades en botellas plásticas y preservarlo con 10 gotas de acido nítrico concentrado para su envío y análisis por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 3300.

Determinación del aluminio, hierro y metales pesados en los residuos a evaluar:

Para de terminación de la concentración de aluminio, hierro y metales pesados en pruebas de jarras con el coagulante :residuo Extralum S.A. en las diferentes turbiedades de trabajo, se filtran las muestra , a través de un filtro cualitativo #5, marca Whatman y se analizan según los métodos del Standar Methods for the Examination of Water and Wastewarer 20th ed. 1998 APHA-AWWA-WEF.

Mediciónes del Mozote de Caballo

La segunda parte del proyecto consistió en **evaluar el mozote como floculante natural**, para ello se estandarizó un procedimiento de preparación de la solución del mozote que garantizara la repetibilidad de los experimentos, como se muestra a continuación:

- Lavar con agua del tubo los tallos de mozote.
- Con un martillo se desprendió la corteza de mozote y se machucó fuertemente.
- En una balanza granataria se pesaron 25 g de corteza machucada.
- En un beaker se añadió 75 ml de agua del tubo junto con los 25 g de corteza machucada, para obtener una solución inicial 3:1.
- Con la mano se removió fuertemente por aproximadamente 30 seg.
- La solución se filtro en un colocador de cocinar para retener partículas grandes de mozote.
- Se realizaron diferentes diluciones (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5) con agua del tubo y con ayuda de un agitador para mezclar bien la solución.

Se realizaron distintas pruebas con el equipo de jarras para determinar la dilución adecuada, una vez encontrada se estandarizaron las dosis óptimas para cada una de las turbiedades iniciales.

Para determinar la dosis óptima del mozote como floculante natural se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Turbiedad residual medida en el colorímetro que sea menor a 5 NTU
- Tamaño/forma del flóculo apreciado por el analista.
- Cantidad de materia orgánica presente en el agua tratada, mediante la demanda química de oxígeno (DQO).

El procedimiento para el **análisis de DQO** se describe a continuación:

1. Precalentar el block a 150 ºC.
2. Agregar 2 ml de la muestra de agua tratada al vial y mezclar.
3. Calentar los viales en el block por dos horas a 150 ºC.
4. Apagar el calentador para que los viales se enfríen.
5. Traspasar el contenido del vial a la celda del colorímetro y escanear.

Ya obtenidas las dosis óptimas del floculante sintético y del natural para cada turbiedad inicial con agua turbia sintética, se compararon los resultados y se determinó cual obtiene mayor porcentaje de turbiedad removida.

Resultados y Discusión

Primera etapa:

Sulfato de aluminio y el residuo de Extralum S.A.

Caracterización química del residuo de la empresa Extralum S.A

Como parte de los análisis realizados al residuo de la empresa Extralum se le determino la concentración de aluminio expresado como Al, esta fue bastante alta como se muestra en el cuadro 2. Aunque menor a lo exigido por Laboratorio Nacional de Acueductos y Alcantarillados para la adquisición de sulfato de aluminio como materia prima de forma liquida. Esta característica del residuo no limita su utilización pues la concentración presentada es mayor a la utilizada por dicho laboratorio para le tratamiento del agua. Este parámetro solo definiría el grado de dilución al que podría ser sometido el residuo para su uso pues el sulfato de aluminio no se utiliza de forma pura.

En el cuadro 2 es evidente una alta concentración de hierro lo que podría aumentar de forma positiva la acción de residuo como coagulante y deberá ser analizado en el agua una vez tratada para comprobar la eliminación de dicho metal.

Como es evidente (Cuadro 2 y 3), se encontró una menor concentración de metales como el mercurio, cromo, plata, selenio, cadmio, arsénico y plomo, analizados en el residuo filtrado y que son parámetros de calidad para el Laboratorio Nacional de Acueductos y Alcantarillados.

En el cuadro 4 se presentan las condiciones en las que fue utilizado el residuo en el laboratorio y es notable un pH bastante alto en este. Esta característica como se comentara más adelante tuvo un efecto negativo sobre la efectividad de residuo.

De acuerdo a los resultados de los análisis el residuo cumple con los requisitos químicos mínimos menos la concentración de aluminios, que resulto ser mas baja, para su utilización como coagulante.

CUADRO 2. COMPARACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS QUÍMICOS PARA EL SULFATO DE ALUMINIO EXIGIDOS A LOS PROVEEDORES POR EL LABORATORIO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS CON LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RESIDUAL DE EXTRALUM S.A.

CARACTERÍSTICAS	SULFATO DE ALUMINIO (%)		RESIDUO EXTRALUM S.A
	SOLIDO	LIQUIDO	LIQUIDO
Aluminio como Al_2O_3 (%)	17	7,5	2,94 ± 0.01
Aluminio como Al (%)	7,9	4,0	1,56 ± 0.01
Hierro como Fe_2O_3 (%)	0,75	1,0	2.63± 0,01

CUADRO 3. COMPARACIÓN DEL LIMITE MÁXIMO DE IMPUREZAS QUÍMICAS EXIGIDO POR EL LABORATORIO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS EN EL SULFATO DE ALUMINIO CON EL RESULTADO DEL ANÁLISIS DE LOS MISMOS PARÁMETROS EN LE RESIDUO PROLEX S.A.

CARACTERÍSTICAS	LIMITE	RESULTADO
Arsénico (mg/kg*)	30	0,043± 0,009
Mercurio (mg/kg*)	7	0,0020
Selenio (mg/kg*)	30	< a 0,05
Plata (mg/kg*)	30	0,010
Cadmio (mg/kg*)	1	< a 0,09
Cromo (mg/kg*)	7	0,42 ± 0.13
Plomo (mg/kg*)	30	3,412± 0.087

*Debido al nivel de dilución y por efectos prácticos se tomo mg/kg como ppm para su comparación con lo resultados de los análisis de laboratorio

Determinar la eficiencia como coagulantes en la remoción de sustancias suspendidas y coloidales del residuo de la empresa Extralum S.A

Se realizaron algunas pruebas exploratorias para determinar las condiciones de concentración y pH en que la el residuo y el sulfato de aluminio fueron evaluadas. Gracias a estas se tomo la decisión de trabajar el residuo con una dilución de 50 mL en 100 mL v/v., con la que mantenía una alta concentración de aluminio como se muestra en el cuadro 4.

CUADRO 4. CONDICIONES DE TRABAJO PARA EL DEL RESIDUO DE LA EMPRESA EXTRALUM S.A.

PARAMETRO	RESULTADO
pH del residuo	11.5 unidades de pH
pH final en la muestra de agua	6, 0- 7,3 unidades de pH
Concentración de aluminio en el residuo	7800 ppm
Dosis de aluminio utilizada con el residuo	23.4 ppm

Tras la determinación de los valores óptimos de pH, para las diferentes turbiedades, se observo que este se mantuvo siempre dentro de un intervalo de pH bastante restringido, que iba de 6,0 a 7,3 unidades de pH, con una dosis alta de aluminio (cuadro 4). Este comportamiento es muy similar al presentado por el coagulante industrial utilizado para la estandarización del proceso, aunque con una dosis menor (1.8 ppm de sulfato de aluminio). También son coincidentes con los reportados por la literatura para dicho coagulante y apreciable en la figura 2.

Es importante señalar que dentro del intervalo de pH establecido el comportamiento es bastante sensible; o sea que a la menor variación del pH y afecta los resultados, disminuyendo la efectividad del coagulante y el proceso en sí. Es por esta razón que se fijo un pH óptimo para cada turbiedad, que se presenta en la Cuadro 5, donde se compara el pH óptimo experimental del residuo con el del sulfato de aluminio. Estos resultados a su vez son concordantes con los obtenidos por Ozacar, M. Sengil, A. en su articulo “Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particules.”

CUADRO 5. pH ÓPTIMO PARA LA ACCIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO COMPARADA CON LA MUESTRA DE LA PLANTA EXTRALUM PARA LAS DIFERENTES TURBIEDADES.

TURBIEDAD INICIAL EN FTU	pH FINAL	
	SULFATO DE ALUMINIO	RESIDUO DE EXTRALUM
10	6,0	7,0
30	6,0	7,0
100	6,0	7,0
200	6,0	6,7
300	6,0	6,6

En Cuadro 5 se puede observar como el pH se mantuvo relativamente constante en el caso del residuo de Extralum y como solo a turbiedades altas (200 y 300 FTU) presentó una leve disminución. El pH en general fue significativamente mayor que el pH utilizado para el sulfato de aluminio que fue de 6 unidades de pH para todas las turbiedades. Este comportamiento podría deberse a la naturaleza del residuo y a su interacción con el agua tratada que se ve afectada por la concentración de hierro en este.

Al analizar los resultados experimentales de pH para el residuo (figura 6) en comparación con la del sulfato de aluminio (figura 7) se puede apreciar como el intervalo de acción del residuo (6,0 a 7,3 unidades) es ligeramente más reducido que el del producto comercial (5,0 a 7,0 unidades), de acuerdo a lo observado de forma experimental y a lo citado por la literatura (véase la figura 2) y que el residuo posee una mejor actividad a un pH ligeramente mas alto, que el sulfato, de acuerdo a lo observado en el laboratorio.

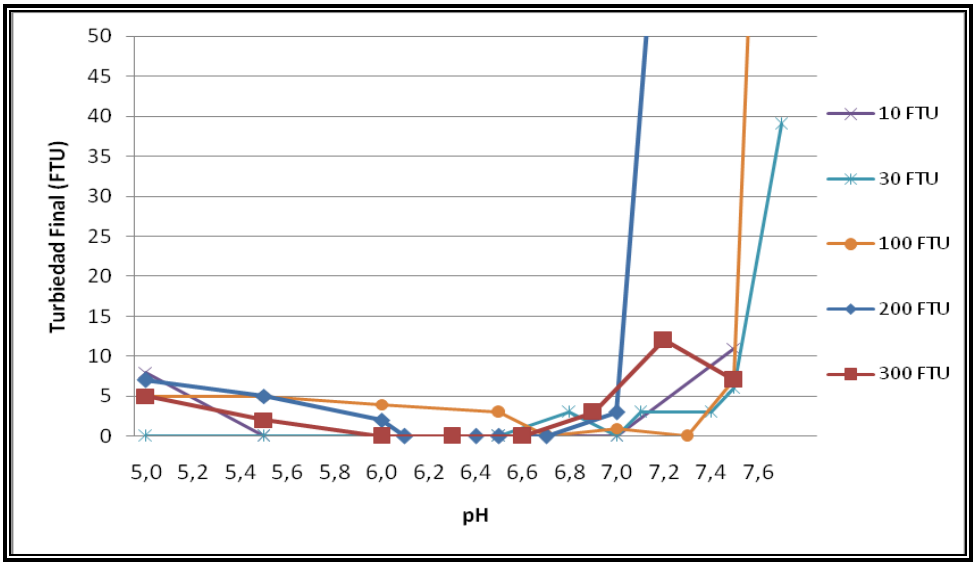


Figura 6. Curva de pH óptimo del residuo de la planta Extralum para las distintas turbiedades iníciales en el agua y su efecto en las mismas.

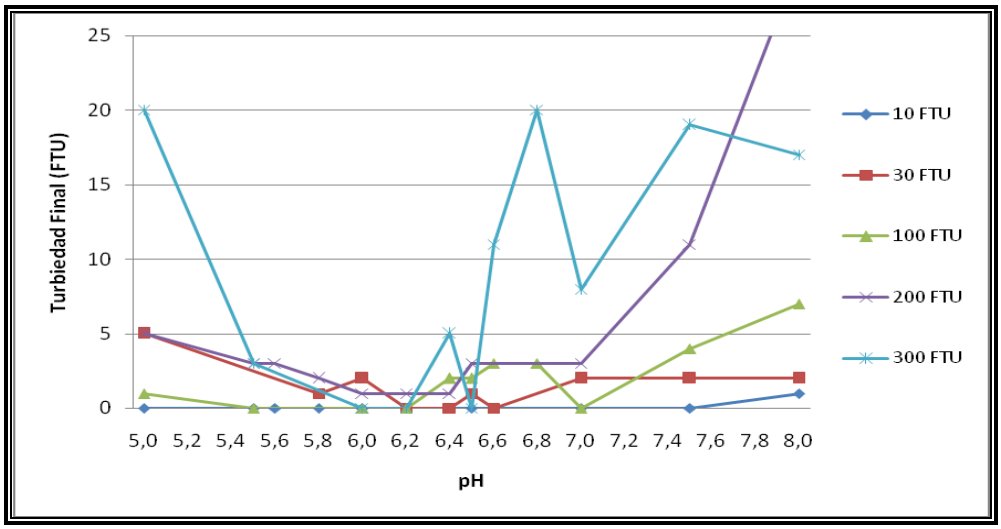


Figura 7. Curva de pH óptimo del sulfato de aluminio para las distintas turbiedades iníciales en el agua y su efecto en las mismas.

Se determino la dosis del residuo de Extralum para obtener un efecto de coagulación semejante al obtenido por el sulfato de (turbiedad de 5 FTU o menos). La dosis de sulfato de aluminio fue equivalente a la adición de entre 0,59 y 1,37 ppm de aluminio. La dosis del residuo líquido de la empresa Extralum S.A. fue equivalente a la adición de entre 16,4 y 17,9 ppm de aluminio. Es decir la dosis de aluminio necesario para lograr el mismo efecto fue del orden de 10 veces mayor al usar el residuo. La explicación de esta diferencia es que la efectividad del aluminio (III) como coagulante varia de acuerdo a la forma en que esta presente.

A pH bajo el catión $Al(H_2O)_x^{3+}$ es la especie predominante, mientras que a pH alto el anión aluminato ($Al(OH)_4^-$) es la especie predominante (figura 8). Mientras el primero tiene triple carga positiva, el segundo tiene carga negativa.

El proceso de coagulación depende de que las cargas eléctricas negativas existentes en los sólidos suspendidos sean neutralizadas con cationes de alta densidad de carga (fuente x sobre coagulación). En una disolución de sulfato de aluminio, la carga positiva está en el $Al(H_2O)_x^{3+}$ (Quesada, J. 2007). En una disolución de aluminato, la carga positiva está disponible en cationes de baja densidad de carga, como sodio y potasio, que no son coagulantes muy efectivos.

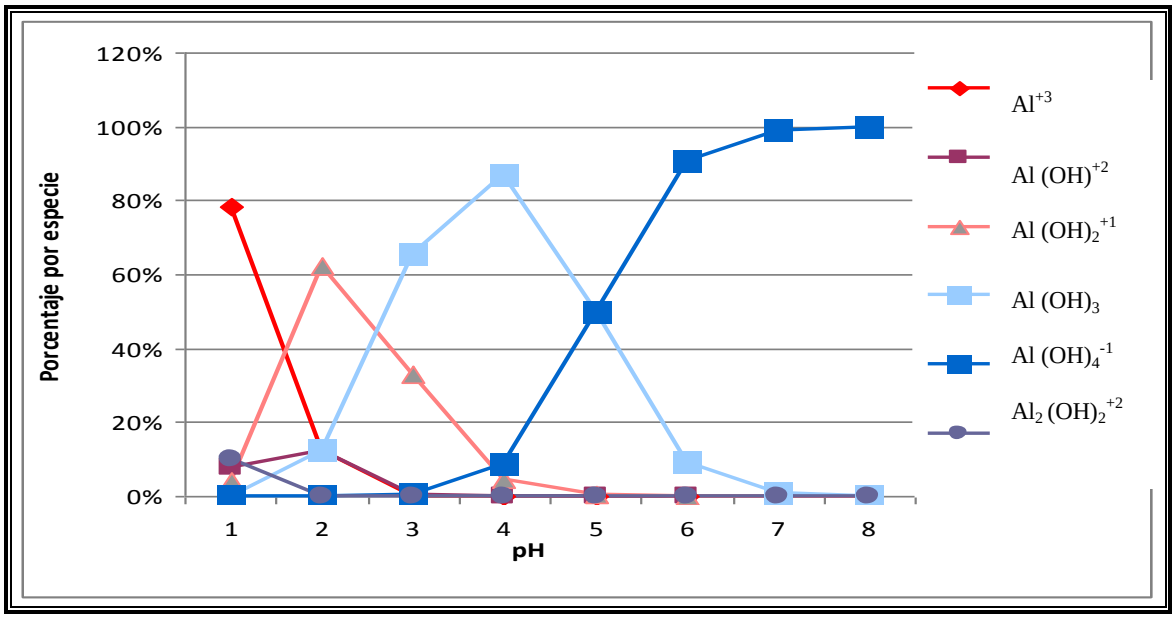


Figura 8: Curva de solubilidad del aluminio a distintos pH (A partir de las ecuaciones de equilibrio disponibles en la página <http://ceeserver.cee.cornell.edu/mw24/projects/SSF/alsol/aluminumsolubility.xls> Consultada 25/08/2007).

El residuo de la empresa Extralum presento un pH alto (11.5 unidades de pH) por lo que el aluminio se encuentra en forma de aluminatos, que como se indico son poco eficientes como coagulantes. La razón por la que el residuo tampoco funciona al bajar el pH de la muestra inoculada, es que el aluminio precipita en forma del hidróxido, que es muy poco soluble.

Para el sulfato de aluminio, los resultados encontrados son coincidentes con los reportados por Sandoval et. all. En su estudio "Estudio piloto para reducir el volumen de lodos de plantas potabilizadoras", en donde reportó una dosis optima de coagulante entre 0.8 a 2.0 mg/l como Al, esto también lo indica el estudio citado por Sandoval "Coagulant Recovery from Alum Sluges at Nort Area Plan" de Sanders, F.M 1989.

La concentración de aluminio necesaria y la especie presente en el residuo, es un punto que podría ser abordado en futuras investigaciones, pues en su estudio Sandoval ett. all. encontró resultados muy similares entre el producto comercial y el aluminio recuperado.

CUADRO 6. COMPARACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL SULFATO DE ALUMINIO CON LA MUESTRA DE LA PLANTA EXTRALUM PARA LA ELIMINACIÓN DE LAS DIFERENTES TURBIEDADES.

TURBIEDAD INICIAL EN FTU	SOLUCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO (ML)	AL (PPM)	MUESTRA DE EXTRALUM (ML)	AL (PPM)
10	1,5	0,59	2,1	16,4
30	1,5	0,59	2,0	15,6
100	2,5	0,98	2,0	15,6
200	3,0	1,18	2,5	19,5
300	3,5	1,37	2,3	17,9

Aunque en los objetivos del proyecto no se contemplaba el mejorar la efectividad del residuo como coagulante, una posible estrategia es disminuir rápidamente el pH de este (previo a su utilización), con agitación fuerte y un ácido concentrado para evitar la formación del hidróxido de aluminio y disminuir la pérdida de aluminio por precipitación.

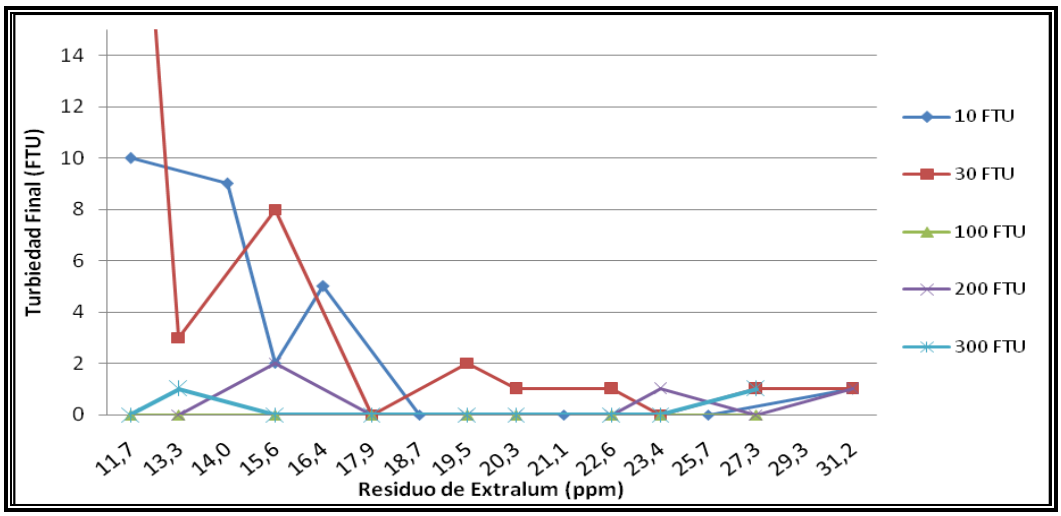


Figura 9: Efecto en la turbiedad final del agua después de la aplicación de distinta dosis del residuo de Extralum S.A

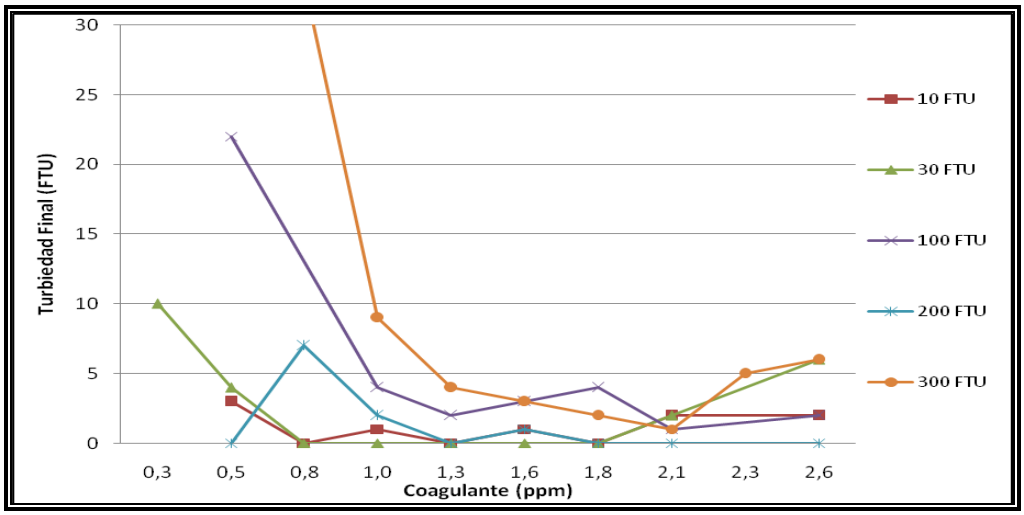


Figura 10: Efecto en la turbiedad final del agua después de la aplicación de distinta dosis de sulfato de aluminio.

En lo que respecta a la cantidad de floculante, para la remoción de la turbiedad hasta 5 FTU o menos de turbiedad residual, fue muy similar para ambas sustancias, aunque un tanto menor para el caso del residuo como es evidente en las figuras 11 y 12. Esto en parte puede deberse a que la adición del floculante es un paso en el procedimiento orientado a disminuir el tiempo de sedimentación de los micro-flóculos formados por la acción del coagulante y aunque existe cierta interacción entre el coagulante y el floculante de acuerdo a los datos experimentales esta fue muy similar para ambos casos, pues a partir de 0,5 ppm se empezó a obtener turbiedades residuales menores a 5 FTU para todas las muestras de agua sintética analizadas. Esto se afirma al comparar las dosis óptimas para cada sustancia como lo muestra la Cuadro 7.

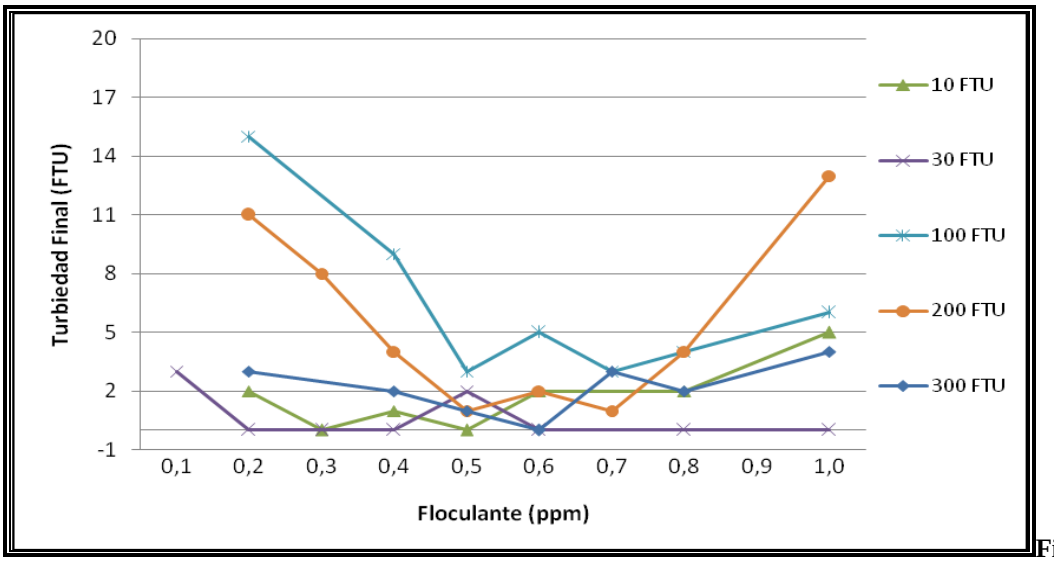


Figura 11. Efecto de las distintas dosis de Floculante sobre la turbiedad final del agua utilizando como coagulante sulfato de aluminio.

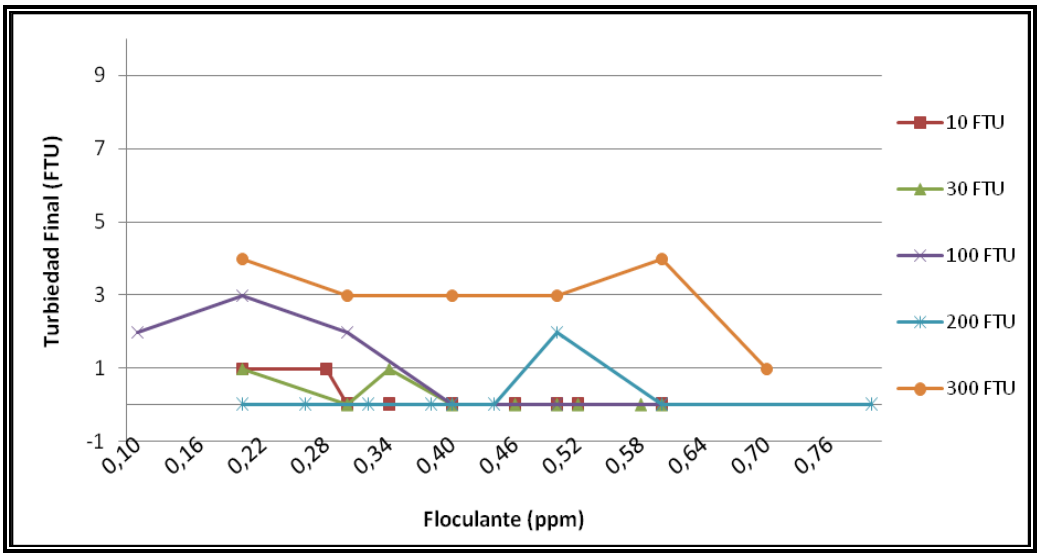


Figura 12. Efecto de las distintas dosis de floculante sobre la turbiedad final del agua utilizando como coagulante el residuo de la planta Extralum.

CUADRO 7. DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE PARA LAS DISTINTAS TRUBIEDADES DE ACUERDO AL COAGULANTE UTILIZADO, SULFATO DE ALUMINIO O EL RESIDUO DE LA EMPRESA EXTRALUM.

TURBIEDAD INICIAL EN FTU	SULFATO DE ALUMINIO (PPM)	MUESTRA DE EXTRALUM (PPM)
10	0,30	0,34
30	0,30	0,40
100	0,40	0,40
200	0,50	0,44
300	0,60	0,50

Como uno de los parámetros a evaluar, se determinó la concentración de aluminio y hierro residual presente en el agua después de su tratamiento con el residuo. Los resultados del análisis se presentan en la Cuadro 8, donde se aprecia como en ninguna de las muestras excedió el valor límite estipulado por la legislación nacional. Lo cual indica que al realizarse el proceso de coagulación-floculación y precipitación de los sólidos suspendidos en el agua la mayoría del aluminio y el hierro presentes precipitaron, realizando su acción si dejar residuos por encima de la norma de vertido y reutilización de aguas del 2007. Esto deja la puerta abierta para utilizar el residuo tanto para el tratamiento de agua residual como potable.

Los resultados de esta etapa del proyecto se presentan en el anexo 2 y 3.

CUADRO 8. ANÁLISIS QUÍMICO DEL CONTENIDO DE ALUMINIO Y HIERRO DEL AGUA UNA VEZ TRATADA CON EL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A.

TURBIEDAD INICIAL EN FTU	ALUMINIO RESIDUAL (mg/L)	HIERRO RESIDUAL (mg/L)
10	< 0,8	< 0,2
30	< 0,8	< 0,2
100	< 0,8	< 0,2
200	< 0,8	< 0,2
300	< 0,8	< 0,2

Residuo Extralum sólido

Por la facilidad de manejo que podría significar la utilización del residuo Extralum , en forma sólida, se realizan pruebas preliminares con el residuo que se obtiene al final del proceso de tratamiento de aguas de la empresa Extralum.S.A,, figura 13, en donde se observó en pruebas preliminares que este residuo no presenta cualidades significativas para ser utilizado como coagulante. Por lo cual su posterior análisis no se consideró mas para este estudio.

Figura 13. Residuo Empresa Extralum.S.A.,rico en hidratos de aluminio(Tomado de Vargas, M)

Cloruro de hierro y el residuo de Prolex S.A.

Caracterización química del residuo de la empresa Prolex S.A

Para la caracterización química y de las cualidades como coagulante del residuo de la empresa Proles S.A. se contó con dos muestras, las que a lo largo del proceso presentaron un comportamiento bastante diferente, aunque fueron tomadas el mismo día con una diferencia de unas pocas horas. Estas muestras fueron tomadas del tanque de almacenamiento de las aguas de lavado de las piletas con los baños de hierro.

La muestra A presentaba una coloración naranja aunque menor que la de la muestra B. Esta coloración es característica del oxido de hierro y por esta razón se iniciaron las pruebas con la muestra con mayor coloración (B) suponiendo que poseía una mayor concentración de dicho oxido. Esta premisa fue confirmada con los análisis de concentración de Fe^{3+}, realizados con un kit de detección rápida, cuyos resultados se muestran en el cuadro 9.

A la muestra le fueron determinaron, además, del hierro presente, barios metales pesado como el arsénico, cadmio plomo y cobre entre otros como se aprecia en el Cuadro 9. En éste es evidente una alta concentración de Arsénico y cobre, aunque menor a los límites exigidos para otros coagulantes comerciales como sulfato de aluminio, de acuerdo al laboratorio Nacional de Acueductos y Alcantarillados.

Entre las caracterizas observadas en el residuo, una de las más sobresaliente fue la gran diferencia de una muestra a otra en cuanto a la concentración de hierro y la especie predominante de este metal, pues durante el experimento se muestreo en varia ocasiones pero solamente dos de esa muestras pudieron ser utilizadas, al presentar las demás una coloración verdosa, característica del Fe^{2+}.

CUADRO 9. ANÁLISIS QUÍMICO DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA PROLEX S.A.

ANÁLISIS	RESULTADO
Hierro muestra A (mg/l)	74,8
Hierro muestra B (mg/l)	111,0
Arsénico (µg/L)	14,5± 5,9
Cadmio (mg/L)	< a 0,09
Cobre (mg/L)	9,32 ± 0,40
Cromo (mg/L)	< 0,1
Plomo (mg/L)	1,768 ± 0,054

Aunque el Fe^{2+}, también posee propiedades como coagulante, presenta un intervalo de acción muy distinto al del Fe^{3+} que fue el seleccionado como parámetro de comparación para las pruebas (cloruro de hierro (III)), por esta razón se decidió trabajas con las muestras que de forma aparente presentaban mayor concentración de Fe^{3+}.

Para corroborar, de forma rápida la especie presente se utilizó un apequeña muestra de la sustancia y se basificó, pues las especies de Fe^{2+} y Fe^{3+} son poco solubles a pH básico y forman un precipitado con un color característico (Quezada, J. 2007). Para la especie Fe^{2+} era de esperar un sólido color verde oscuro (frasco A figura 13), mientras que para el Fe^{3+} uno color naranja (frasco B figura 13) como se muestra en la figura 11.

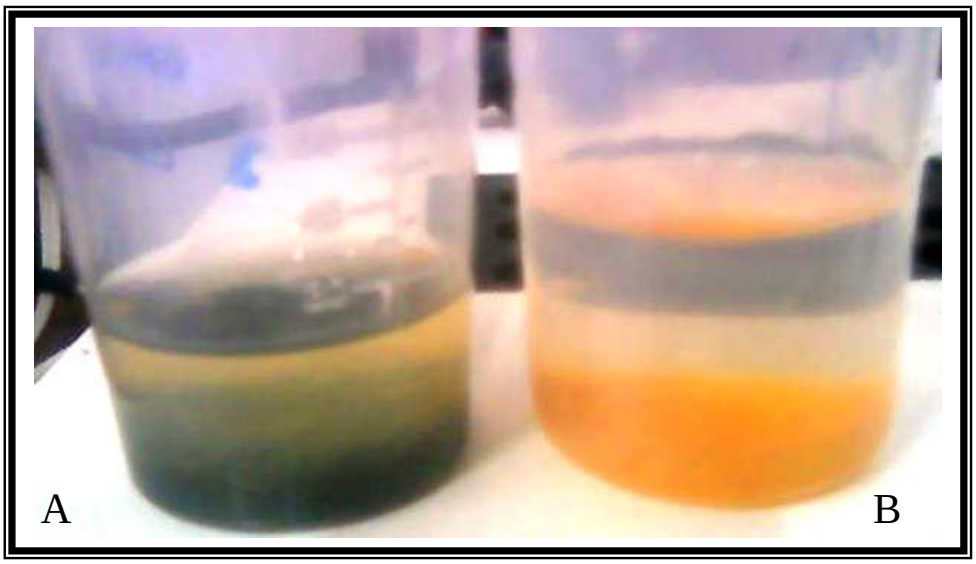


Figura 13. Comparación del resultado del aumento en el pH de dos muestras de la empresa Prolex S.A. tomadas a distintas horas del mismo día de proceso.

Además(falta una coma) de inestabilidad del residuo de Prolex S.A. fue evidente su tendencia a precipitar tras varios días de almacenamiento, aunque se le redujera el pH a

uno o dos unidades de pH para de preservarlo. De acuerdo a las características del proceso en el que es generado el residuo, es de esperar que el hierro en el medio se encuentre como oxido de hierro (III) hidratado, esta sustancias es la que generaría el color característico naranja del residuo. Pero como se noto a lo largo del experimento, después de una a dos semanas de almacenamiento las muestras, que en la mayoría de los caso, formaba un sólido color naranja en el fondo, el sólido precipitado no fue posible de disolver disminuyendo el pH ni con agitación.

La inestabilidad de la sustancia resultó ser una condicional para las pruebas, pues se debían de hacer en menos de una semana para evitar cambios fuertes en el residuo y poder comparar los resultados. Es por esta razón que se debió utilizar dos muestras pues la utilizada en la primera semana para la segunda la mayoría del hierro había precipitado y la sustancia como tal había perdido su actividad coagulante.

Las circunstancias anteriormente descritas motivaron a evaluar el residuo en la etapa siguiente sin filtrar y tomando las muestras de la parte superior del recipiente. Estas características del residuo podrían ser abordada en estudios posteriores tratando de determinar una forma de estabilizarlo y de llevar las especies de hierro presentes en la muestra a una sola, sea el Fe^{3+} o Fe^{2+}.

Determinación la eficiencia como coagulantes en la remoción de sustancias suspendidas y coloidales del residuo de la empresa Prolex S.A

Como parte de la determinación de la eficiencia como coagulante del residuo de la empresa Prolex S.A, se determino su pH óptimo de acción a distintas turbiedades. Este se ubico en un intervalo entre 5,5 y 8,0 unidades de pH, encontrando los mejores resultados en 7,0 unidades como se observa en el Cuadro 10, donde se comparan el pH optimo de acción de ambas sustancias a diferentes turbiedades y es notable como el producto comercial mostró un pH óptimo ligeramente superior en la mayoría de las muestras, respecto al residuo.

CUADRO 10. pH ÓPTIMO PARA LA ACCIÓN DEL CLORURO DE HIERRO (III) COMPARADA CON LA MUESTRA DE LA PLANTA PROLEX S.A. PARA LA ELIMINACIÓN DE LAS DIFERENTES TURBIEDADES.

TURBIEDAD INICIAL EN FTU	pH FINAL	
	RESIDUO PROLEX	CLORURO DE HIERRO (III)
10	7,0	7,4
30	7,0	7,5
100	7,5	7,5
200	7,0	7,4
300	6,5	7,0

Los resultados con el residuo industrial, fueron bastante similar al obtenido con el cloruro de hierro (III), como es apreciable en las figuras 14 y 15. Aunque el producto comercial presentó de forma experimental y en concordancia con la literatura un intervalo de acción más amplio que iba desde las 4,5 hasta las 8 unidades de pH.

El intervalo de pH mencionado es el característico del Fe^{3+}, sustancia a la que estaban dirigidas las pruebas, pues como ya se menciona el residuo contaba con Fe^{2+} y Fe^{3+}, dependiendo de la muestra y las condiciones en esta hubiera sido tomada.

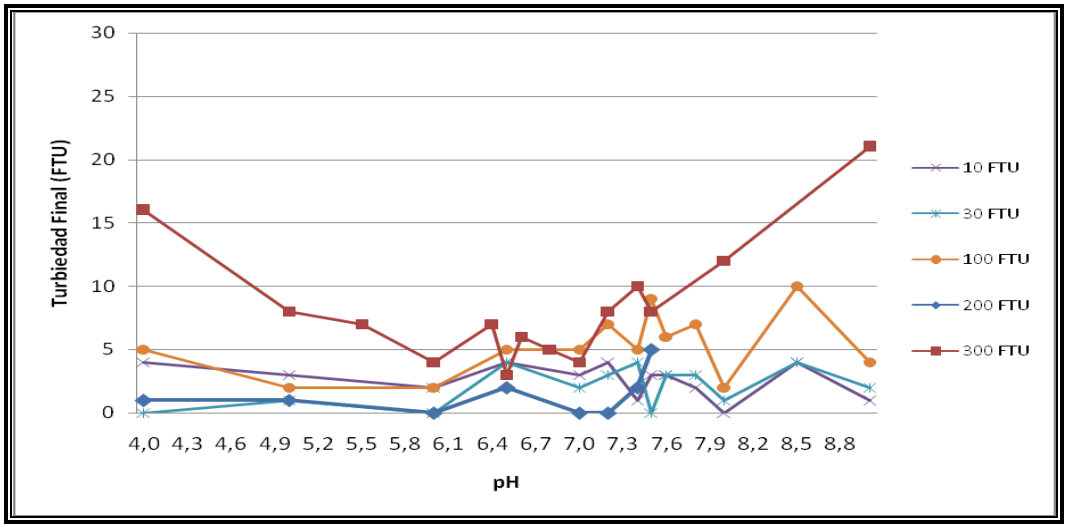


Figura 14. Curva de pH óptimo para la acción coagulante de una solución al 0,25% de cloruro de hierro ($FeCl_3$+6 H_2O) para las distintas turbiedades iníciales en el agua y su efecto en las mismas.

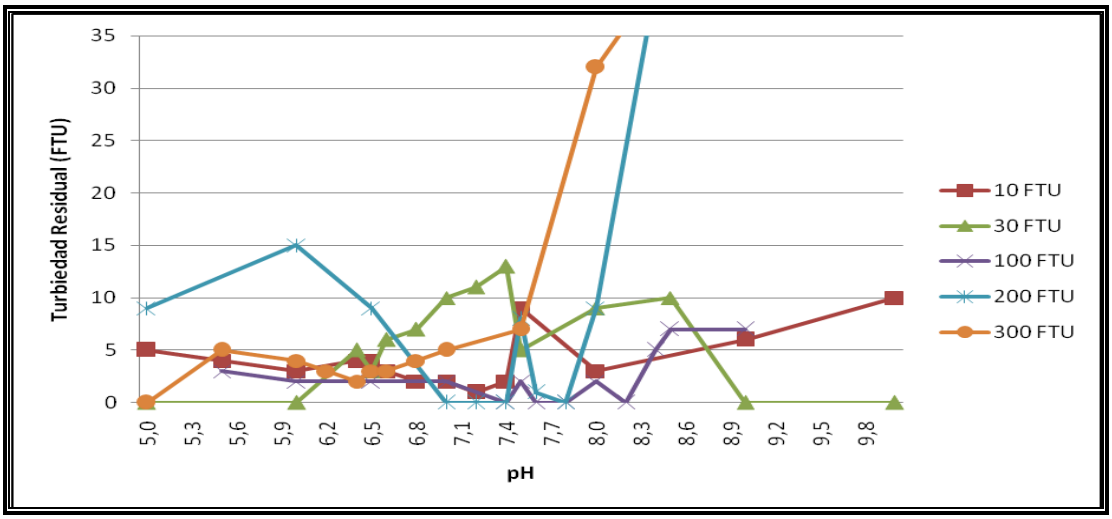


Figura 15. Curva de pH óptimo para la acción coagulante del residuo de la empresa Prolex S.A para las distintas turbiedades iníciales en el agua y su efecto en las mismas.

Fijado el pH, se procedió con la determinación de la dosis óptima del residuo para su actividad como coagulante. Esta se mantuvo en valores muy similares a los obtenidos con el cloruro de hierro (III) (producto comercial de referencia), aunque más bajos para el caso del residuo. Este comportamiento es notable en la Cuadro 11 donde se comparan las dosis óptimas de la sustancia utilizada como coagulante a distintas turbiedades, así como en las figuras 16 y 17 donde se muestran los gráficos de la cantidad de residuo y cloruro de hierro comparados con la turbiedad final que lograron en el agua.

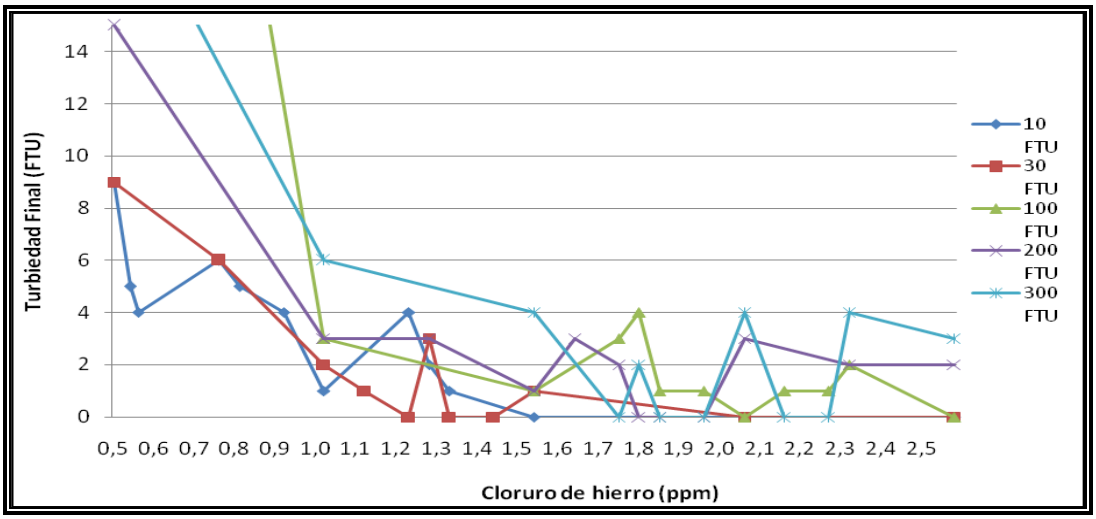


Figura 16: Efecto en la turbiedad final del agua después de la aplicación de distintas dosis una solución al 0.25% de cloruro de hierro ($FeCl_3$+6 H_2O).

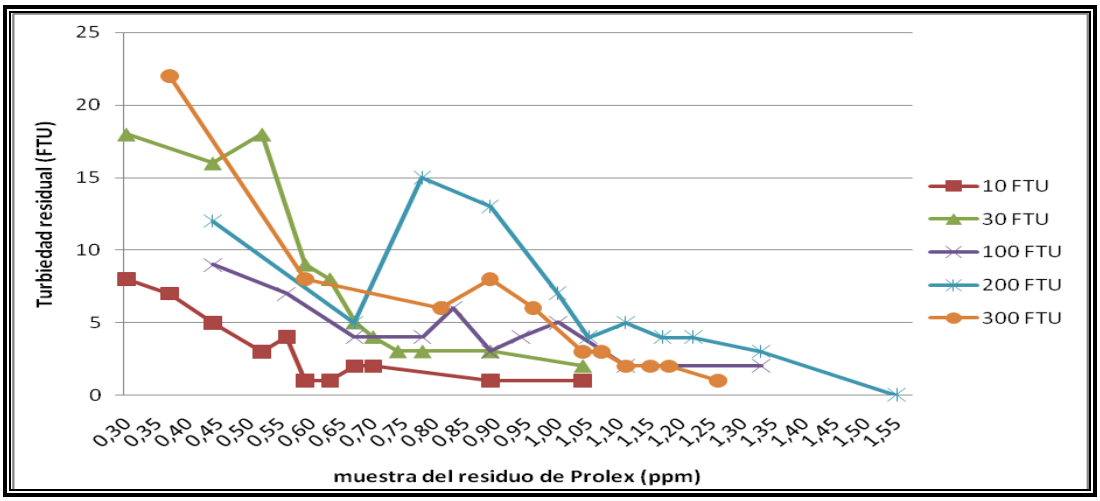


Figura 17: Efecto en la turbiedad final del agua después de la aplicación de distintas dosis una muestra del residuo rico en hierro de la empresa Prolex S.A.

Los flóculos generado por el residuo así como los que fueron producto del cloruro de hierro (III) fueron de un color amarillo característico y de un peso mayor, que fue evidente por la mayor velocidad de precipitación de los mismos en comparación con los generados al utilizar aluminio en la etapa anterior del trabajo. Esta característica coincide con lo mencionado por Schulz, C y Okun, D. en su libro "Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo".

CUADRO 11. COMPARACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL CLORURO DE HIERRO CON LA MUESTRA DE LA PLANTA PROLEX PARA LA ELIMINACIÓN DE LAS DIFERENTES TURBIEDADES.

Turbiedad inicial en FTU	Solución de Cloruro de Hierro (mL)	Fe (ppm)	Muestra de Prolex (mL)	Fe (ppm)
10	2,0	1,03	8,0	0,60
30	2,2	1,14	10,0	0,75
100	3,8	1,96	8,0	0,89
200	3,6	1,86	10,0	1,11
300	4,0	2,07	15,0	1,12

Al agua producto del tratamiento con el residuo con alta concentración de hierro le fue analizada la cantidad de hierro residual y como muestra el Cuadro 12, para todos los casos fue menor a 0,2 mg/L. Lo que la ubicaría bajo la norma tanto para aguas potables como de residuales. Aunque en este estudio el análisis de las características como

coagulante, del residuo rico en hierro, fue dirigido a aguas potables y residuales, el mejor aprovechamientos de sus propiedades podría darse al tratar aguas residuales con metales como el Cr^{3+}, Fe^{3+}, Zn^{2+} y Ni^{2+} , pues como mencionan Soto, et, all en su articulo "Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos", coagulantes a base de hierro (III) presenta una mayor remoción de los metales mencionados anteriormente. Entre los factores que intervienen en dicho proceso se encuentra el mayor tamaño de los flóculos generados por estos coagulantes.

En su estudio Soto, et, all, menciona que para alcanzar un nivel óptimo en cuanto al tamaño de los flóculos y la remoción de metales pesados, el tiempo óptimo de agitación deberá ser de 7 minutos para obtener los flóculos más grandes y el mejor nivel de remoción de los metales pesados. Estas son variables que podría ser evaluadas en futuros estudios del residuo de la empresa Prolex S.A, pues en vista de su eficiencia como coagulante es más que aconsejable su utilización, que podría ayudar en la remoción de metales pesados en agua industriales.

CUADRO 12. ANÁLISIS QUÍMICO DEL CONTENIDO DE HIERRO DEL AGUA UNA VEZ TRATADA CON EL RESIDUO DE LA INDUSTRIA PROLEX S.A.

TURBIEDAD INICIAL EN FTU	HIERRO RESIDUAL (MG/L)
10	< 0,2
30	< 0,2
100	< 0,2
200	< 0,2
300	< 0,2

La determinación de la dosis óptima de floculante fue el ultimo parámetro de la en esta proyecto. En esta se pudo notar un comportamiento muy similar del residuo con respecto al producto comercial, como se aprecia al comparar la figura 18 con la figura 19 que muestran el comportamiento del residuo y el cloruro de hierro (III) respectivamente.

Este comportamiento coincide con el observado en la evaluación del residuo de la empresa Extralum S.A., rico en hierro, por lo que se constata que el floculante solamente acelera la deposición y mejora el tamaño de los flóculos formados gracias a la acción del coagulante.

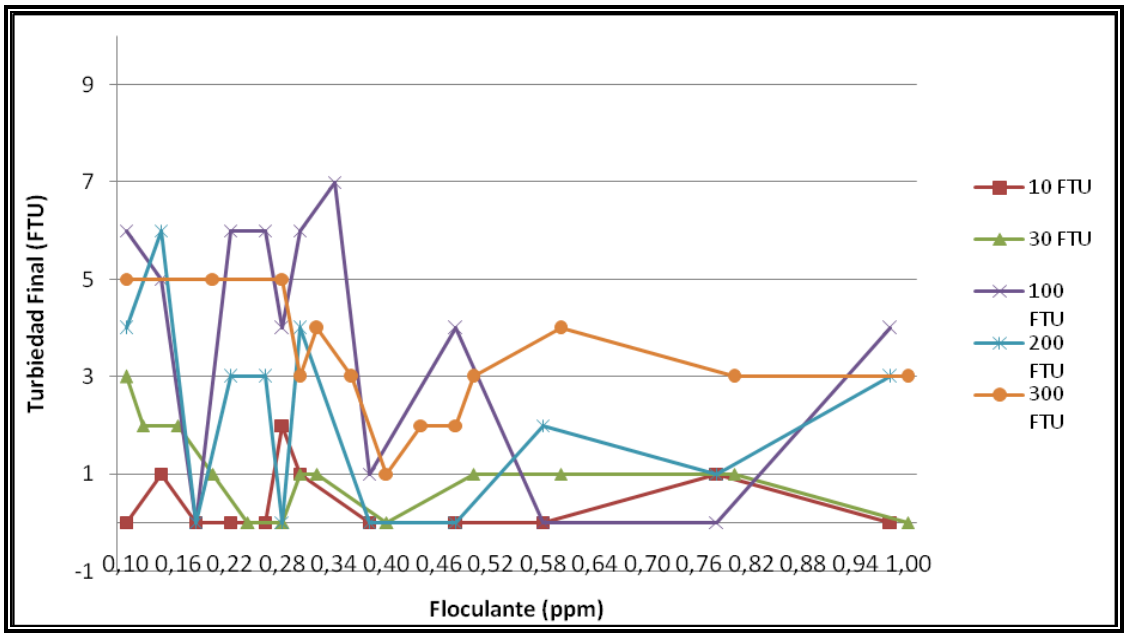


Figura 18. Efecto de las distintas dosis de floculante sobre la turbiedad final del agua utilizando como coagulante una solución al 0,25% de cloruro de hierro ($FeCl_3$+ $6H_2O$).

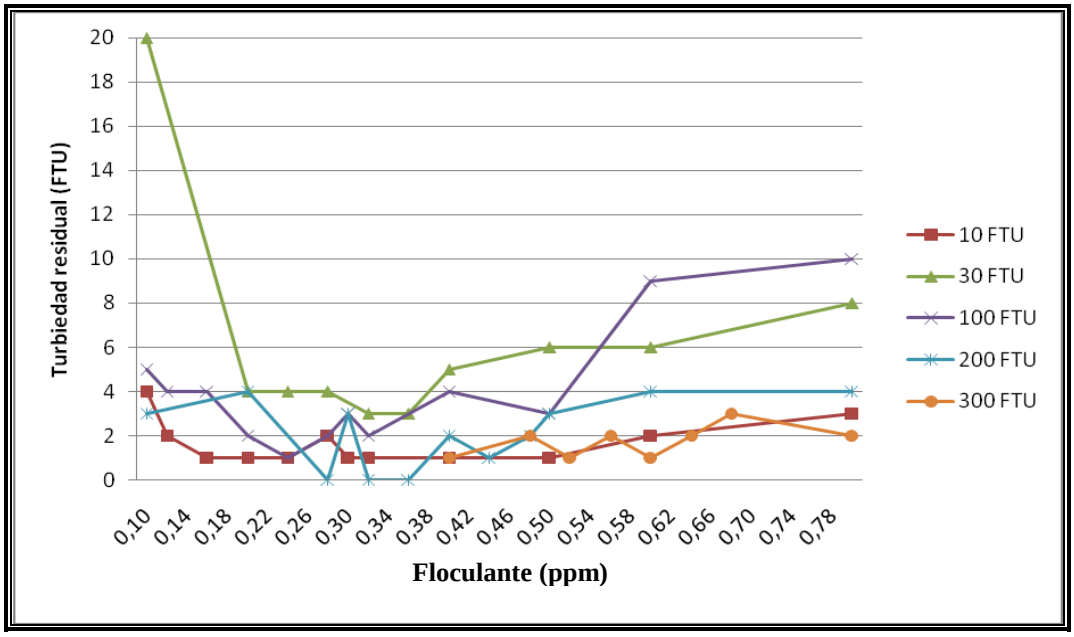


Figura 19. Efecto de las distintas dosis de floculante sobre la turbiedad final del agua utilizando como coagulante una muestra del residuo de la empresa Prolex S.A.

Después de finalizar la primera etapa del proyecto fue posible comprobar que tanto el residuo de la empresa Extralum S.A. como el de la empresa Prolex S.A son de uso factible para el tratamiento de aguas.

Al comparar los resultados obtenidos los dos residuos analizados (Extralum y Prolex), en cuanto a su actividad como coagulantes, las dosis óptimas, su estabilidad y la presencia de aluminio y hierro residual respectivamente, se decidió para la segunda etapa del proyecto utilizar el residuo con alto contenido de aluminio. Uno de los factores que más influyo sobre la decisión fue la estabilidad del residuo de la empresa Extralum, pues para el caso del de la empresa Prolex se deben de realizar pruebas para optimizar la especie presente y las condiciones óptimas para su uso.

Los resultados de esta etapa del proyecto se presentan en el anexo 4 y 5.

Segunda etapa:

Evaluación de la actividad coagulante del residuo de la empresa Extralum S. A. en comparación con el sulfato de aluminio para el tratamiento de una muestra de agua residual de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A.

Para esta etapa se utilizo una muestra de agua residual de la empresa Clorox de Centroamérica S. A, que presentaba una DQO alta, una gran concentración de tenso activos y cloro, producto de la actividad normal de la planta (elaboración de desinfectantes y cloro) y una turbiedad bastante alta. Además, se le determino turbiedad, conductividad, sólidos suspendidos y totales como se muestra en el cuadro 13. Todos estos parámetros se encuentran por encima del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales 2007 (Decreto Nº 33601) por lo que es justificable y necesario su tratamiento.

Las muestra evaluada posee las características típicas del agua tratada de forma normal en la planta de tratamiento de cuya entrada fue tomada, donde tratan alrededor de 58000 L semanales.

CUADRO 13. EVALUACIÓN DE DISTINTOS PARÁMETROS DE UNA MUESTRA DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA CLOROX DE CENTROAMÉRICA S. A.

Parámetro	Agua residual de Clorox de Centroamerica S.A
DQO (mg/L)	11752±778
Sólidos Suspendidos (mg/L)	322±14
Sólidos Totales (mg/L)	7166±24
SAAM (mg/L)	20,00±0,05
Cloro Residual (mg/L)	75,00±0,05
Conductividad (±0,01 mS)	6,03
Turbiedad (FTU)	275

Siguiendo el esquema de la etapa anterior se realizo una optimización del pH para la acción como coagulante en ambas sustancias. Este se mantuvo dentro del intervalo

presentado en la etapa de estandarización (de 6.0 a 7.5 unidades de pH). En la figura 20 se compara el pH óptimo presentado por el residuo con el observado en el sulfato de aluminio y se nota la similitud de ambos.

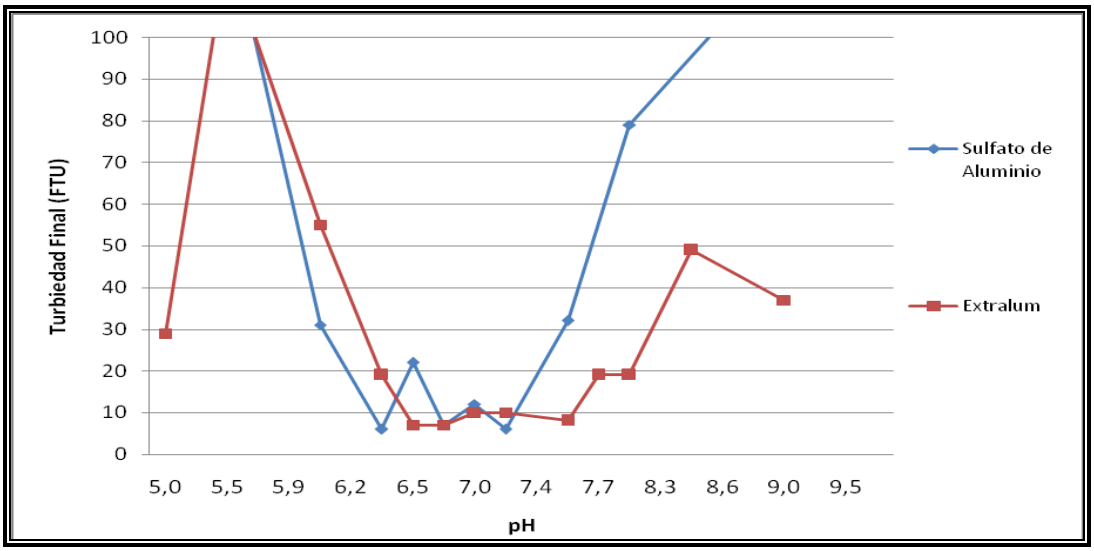


Figura 20. pH óptimo para la disminución de la turbiedad del residuo de la planta Extralum en comparación con el sulfato de aluminio utilizando una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A.

En la evaluación de la dosis óptima del coagulante utilizado (residuo de Extralum y sulfato de aluminio), se observó como de forma concordante a las pruebas realizadas con agua sintética donde se necesitaba alrededor de 10 veces la concentración de aluminio en el residuo para disminuir la turbiedad a 5 FTU o menos en comparación con el sulfato de aluminio. Para el caso de la muestra de Clorox se necesitaron 6 veces más aluminio al utilizar el residuo como coagulante. Este comportamiento se aprecia en las figuras 21 y 22 y se debe, como ya se menciono, a que en le residuo por su pH, la cantidad de aluminio disponible para reaccionar es menor.

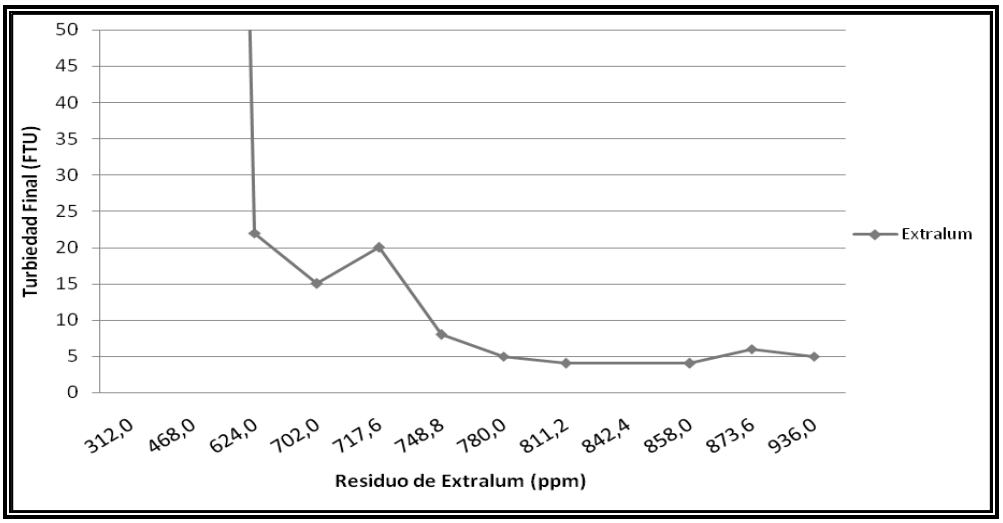


Figura 21: Efecto en la turbiedad final de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. después de la aplicación de distinta dosis del residuo de Extralum S.A

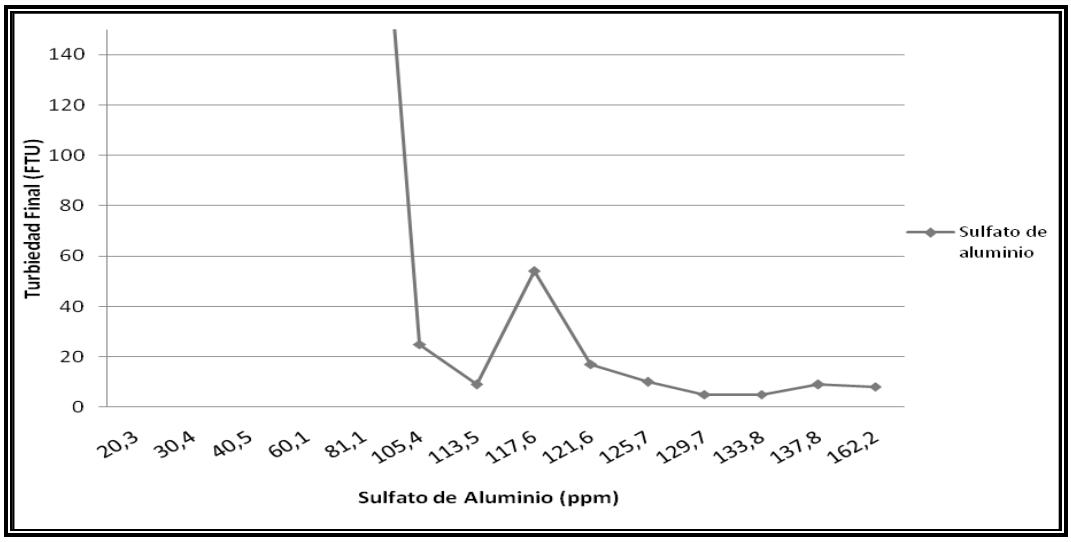


Figura 22: Efecto en la turbiedad (FTU) final de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. después de la aplicación de distinta dosis de sulfato de aluminio (ppm).

En lo que a la dosis óptima de floculante respecta, el residuo necesito una dosis 16 % mas alta que la utilizada para obtener resultados similares con el sulfato de aluminio como se observa en la figura 23 donde se presentan las curvas de remoción de la turbiedad para ambos tratamientos de acuerdo a la dosis.

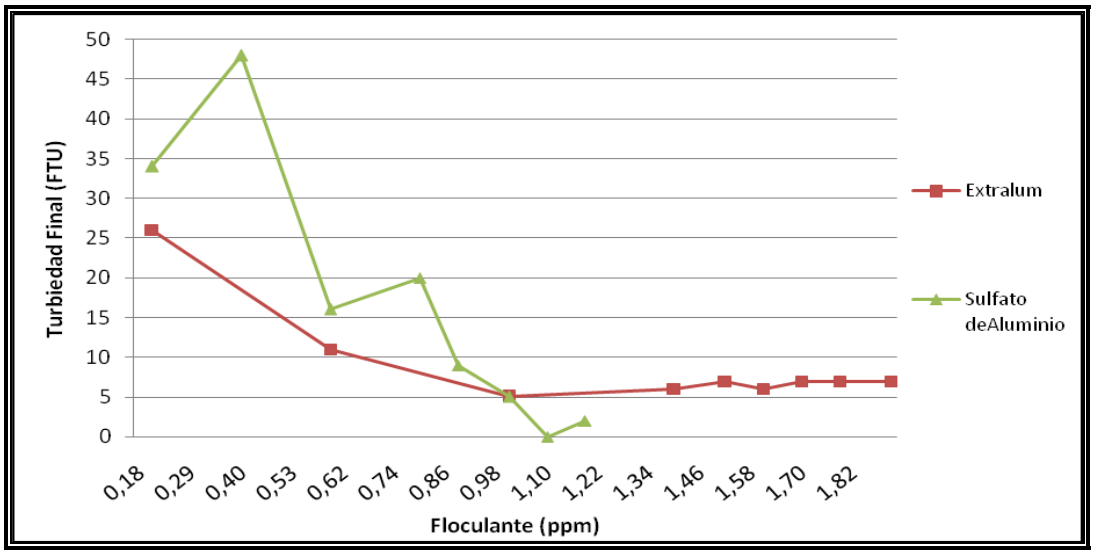


Figura 23. Efecto de las distintas dosis de floculante sobre la turbiedad final de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. al ser combinado con un residuo de la planta Extralum en comparación con el sulfato de aluminio.

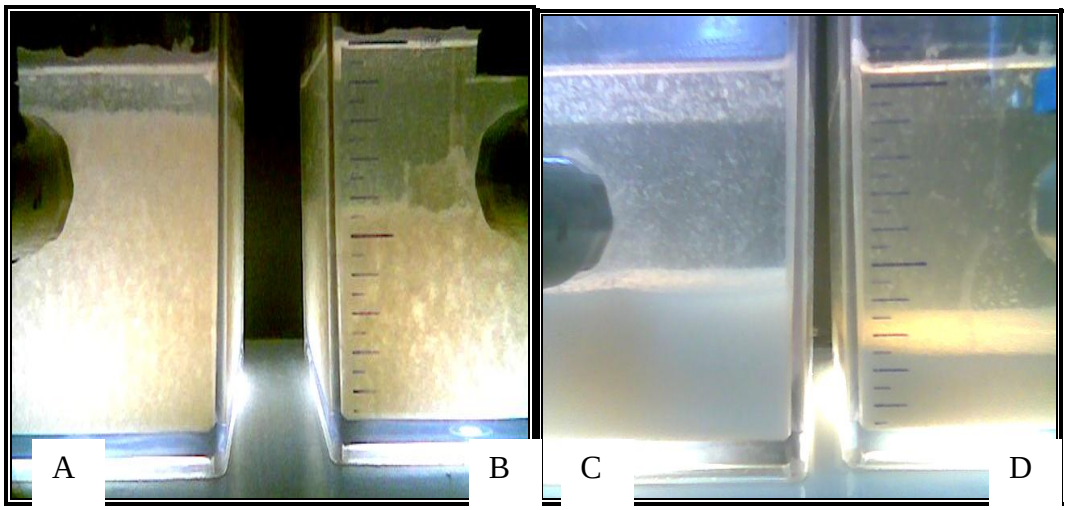


Figura 24. **A**- Flóculos producto del tratamiento de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. con un residuo de la planta Extralum después de el periodo de agitación. **B**- Flóculos producto del tratamiento de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. con sulfato de aluminio después de el periodo de agitación. **C**- Flóculos producto del tratamiento de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. con un residuo de la planta Extralum después de el periodo de reposo. **D**- Flóculos producto del tratamiento de una muestra de agua de la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S. A. con sulfato de aluminio después de el periodo de reposo.

Los flóculos producto del tratamiento con sulfato de aluminio resultaron ser ligeramente más grandes y con una velocidad de precipitación mayor como se aprecia en la figura 24, donde se presentan los resultados de los dos tratamientos después de definir las

condiciones y dosis optimas. En esta imagen también es notable como la turbiedad residual fue menor para el tratamiento con el residuo con 3 FTU mientras que con el sulfato de aluminio fue de 7 FTU.

El agua producto de los dos tratamientos fue analizada para evaluar la efectividad de los mismos. Los resultados de dichos análisis se muestran en el cuadro 14, donde se nota que el porcentaje de remoción para ambos tratamientos fue bastante similar y altos para todos los parámetros e indica que con el residuo es posible obtener resultados similares a los que presenta el sulfato de aluminio, aunque el primero necesite una mayor cantidad de aluminio.

La mayor concentración necesaria para el caso del residuo no afecta el proceso en si pues la cantidad de aluminio residual reportada por las dos repeticiones fue menor a 0,05, valor que se encuentra bajo la norma para aguas potables y la norma de vertido y reuso de aguas residuales.

La turbiedad residual para el tratamiento con el residuo fue levemente menor que la del sulfato de aluminio, aunque para ambos casos fue superior al 97 % como se aprecia en los cuadros 14 y 15. Aunque la turbiedad no se encuentra normada dentro del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. 2007. Decreto Nº 33601, para el proyecto fue uno de los parámetros de comparación más importantes y permitió confirmar la eficacia del residuo de la empresa Extralum S.A.

Entre los parámetros evaluados se encontraba la conductividad y es notable como en ambos tratamientos esta aumento principalmente en el que se utilizo el residuo. Este pudo deberse a la adición de sales que vendrían disueltas en el residuo y estimularían el aumento en la conductividad. Este parámetro podría ser abordado en estudios posteriores para determinar las sustancias presentes en le residuo que origina el aumento en la conductividad y el efecto de estas sobre el residuo y su efectividad.

Otro factor a favor del residual es su menor costo pues al ser un residuo de producción generado de forma local su valor en el mercado podría ser mucho menor que el de los demás productos comerciales que deben de ser importados. Además, del ahorro que representa para la empresa que lo genera, no tener que tratar dicho residuo y obtener algún grado de utilidad del mismo.

CUADRO 14. EVALUACIÓN DE DISTINTOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE UNA MUESTRA DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA CLOROX DE CENTROAMÉRICA S. A. ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO CON SULFATO DE ALUMINIO.

Parámetros	Muestra				
	Agua sin tratar	Agua tratado con sulfato de aluminio			
	01*	01**	02***	Promedio	% de Remoción
DQO (mg/L)	11752±778	2448±152	2285±140	2366.5	79.9
Sólidos Suspendidos (mg/L)	322±14	47,0±6,8	55,0±6,8	51	84.2
Sólidos Totales (mg/L)	7166±24	5051±17	5117±36	5084	29.1
SAAM (mg/L)	20,00±0,05	17,00±0,05	16,00±0,05	16.5	17.5
Cloro Residual (mg/L)	75,00±0,05	N.D.	N.D.	0	≈100
Conductividad (±0,01 mS)	6,03	7,05	6,98	7.015	-------
Aluminio residual (ppm)	----------	0,11	0,06	0.085	-------
Turbiedad residual (FTU)	275	8	6	7	97.5

*01= Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox sin tratar

**01= Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox tratada con Sulfato de aluminio. Prueba 1

***02= Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox tratada con Sulfato de aluminio. Prueba 2

CUADRO 15. EVALUACIÓN DE DISTINTOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE UNA MUESTRA DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA CLOROX DE CENTROAMÉRICA S. A. ANTES Y DESPUES DEL TRATAMIENTO CON EL RESIDUO DE LA PLANTA EXTRALUM S.A.

Parámetros	Muestra				
	Agua sin tratar	Agua tratado con el Residuo de Extralum			
	01*	01**	02***	Promedio	% de Remoción
DQO (mg/L)	11752±778	2252±140	2155±132	2203.5	81.3
Sólidos Suspendidos (mg/L)	322±14	47,0±6,8	81,5±6,8	64.25	80.0
Sólidos Totales (mg/L)	7166±24	6311±21	6072±42	6191.5	13.6
SAAM (mg/L)	20,00±0,05	18,00±0,05	13,00±0,05	15.5	22.5
Cloro Residual (mg/L)	75,00±0,05	N.D.	N.D.	N.D	≈100
Conductividad (±0,01 mS)	6,03	8,33	8,41	8.37	----------
Aluminio residual (ppm)	----------	0,04	0,05	0.045	-------
Turbiedad residual (FTU)	275	3	3	3	98.9

*01= Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox sin tratar

**01= Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox tratada con Residuo de empresa Extralum. Prueba 1

***02= Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox tratada con Residuo de empresa Extralum. Prueba 2

Los resultados de esta etapa del proyecto se presentan en el anexo 6 y 7.

TERCERA ETAPA : *Evaluación de Triumfetta semitriloba (mozote de caballo)*

El mozote de caballo, es un arbusto, el cual produce un mucílago cuando sus tallos se machacan y se dejan remojando en agua de un día para otro, tradicionalmente se utiliza como bebida para el tratamiento irritaciones estomacales, estudios realizados con la extractos de la planta en ratas de laboratorio dío resultados positivos en el tratamiento en úlceras en estos animales, adicionalmente se determinó que el ingrediente activo de la planta es un polisacárido (Esquivel,A;et al)

Así mismo el mozote de caballo es utilizado en el proceso de limpieza del dulce , en donde actúa como un secuestrante de partículas en suspensión cuando el dulce se encuentra en estado líquido.

El análisis de composición proximal de la planta, cuadro 16, indica que el ingrediente de mayor proporción es agua, por lo que se trató de deshidratar la planta pero su manejo no era eficiente ya que se obtenía una pasta hulosa.

Cuadro 16 . Análisis proximal de los tallos del Mozote de Caballo (Triumfetta semitriloba)

ANALISIS (g/100g)	RESULTADOS	
	VALOR PROMEDIO	σ ±
Ceniza	2,64	0,09
Grasa	0,5	0,1
Humedad	74,3	0,8
Proteína	1,225	0,001
Carbohidratos totales	22	1

Cuadro 17. Valores de pH para cada turbiedad inicial.

Turbiedad inicial (UNT)	pH inicial		pH final (óptimo)
	Agua con caolín	Agua con caolín + Al^{3+}	
10	7.5	6.9	6.0
30	7.7	7.0	6.0
100	7.9	7.0	6.0
200	8.1	7.7	6.0
300	8.2	7.8	6.0

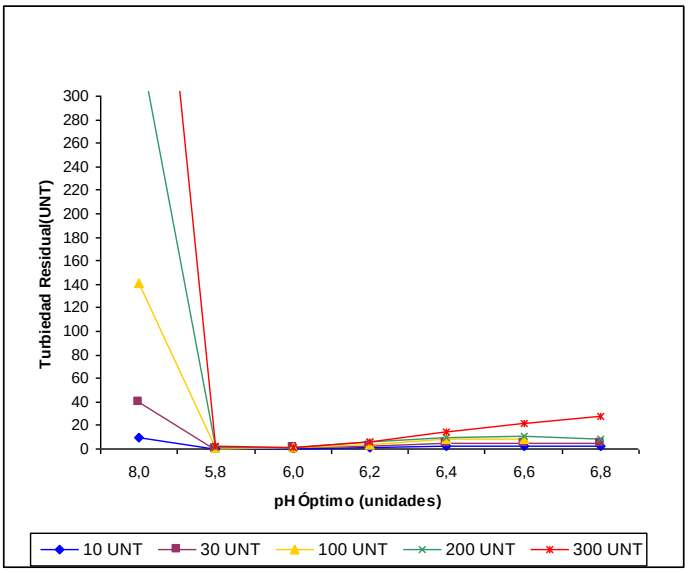


Figura 25. pH óptimos para cada turbiedad inicial.

Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.0 a 8.0 unidades, en el presente estudio se utilizó el sulfato de aluminio como coagulante y en el cuadro16 y figura 25 muestran el pH al que se llegó como óptimo para las cinco turbiedades iniciales fue de 6.0 unidades, manteniéndose el rango para las sales de aluminio en general.

Se tomaron cinco turbiedades iniciales (10, 30, 100, 200 y 300 UNT) para abarcar un amplio rango de partículas coloidales en suspensión. Recordemos que las partículas coloidales son las responsables de la turbiedad del agua y que éstas poseen una carga negativa en su superficie que se debe neutralizar con la ayuda de un coagulante para su fácil sedimentación. Por ello, para cada turbiedad existe una dosis

óptima de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, si se añade poca cantidad de coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula y una alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, lo cual ambas conducen a una turbiedad residual alta.

Cuadro 18. Dosis óptimas del coagulante y floculante sintético y natural para cada turbiedad inicial.

Turbiedad inicial (UNT)	**($Al_2SO_4)_3$) al 0.25% (ppm)**	**Polímero aniónico al 0.02% (ppm)**	**Mozote solución 1:4 (ml/L)**
10	3.7	0.2	0.6
30	3.7	0.3	0.8
100	6.2	0.4	1.0
200	7.5	0.5	1.5
300	8.7	0.6	2.0

En el siguiente cuadro se resumen las dosis óptimas del coagulante (sulfato de aluminio al 0.25%) y de los floculantes utilizados (polímero al 0.02% y mozote solución 1:4) para las cinco turbiedades iniciales empleadas durante los ensayos.

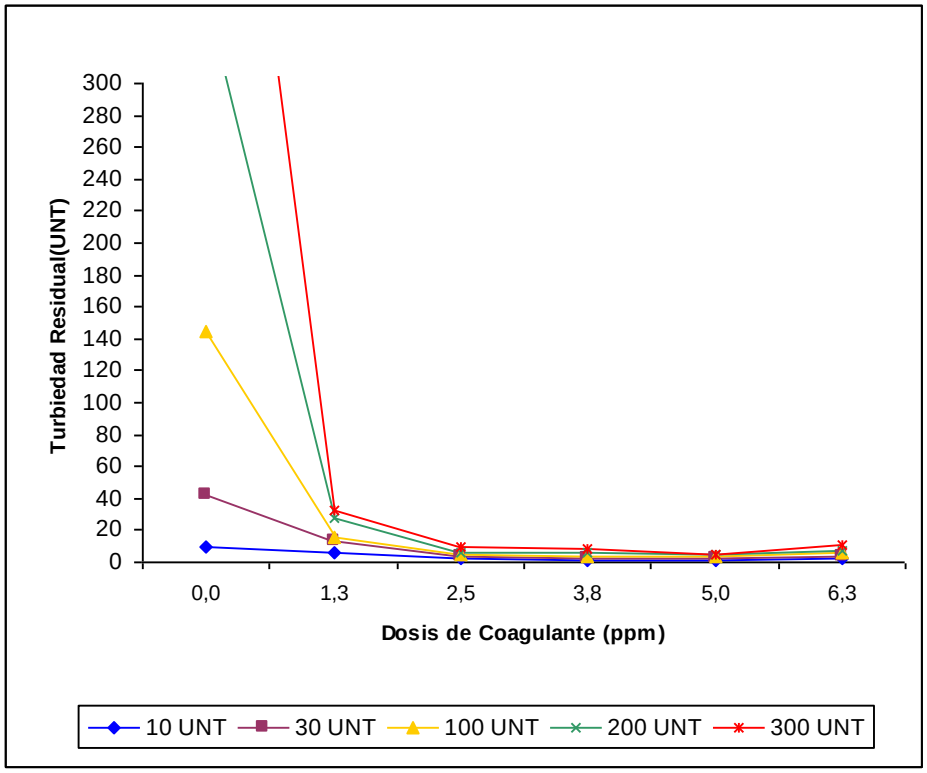


Figura 26. Dosis óptimas de coagulante al 0.25% para cada turbiedad inicia

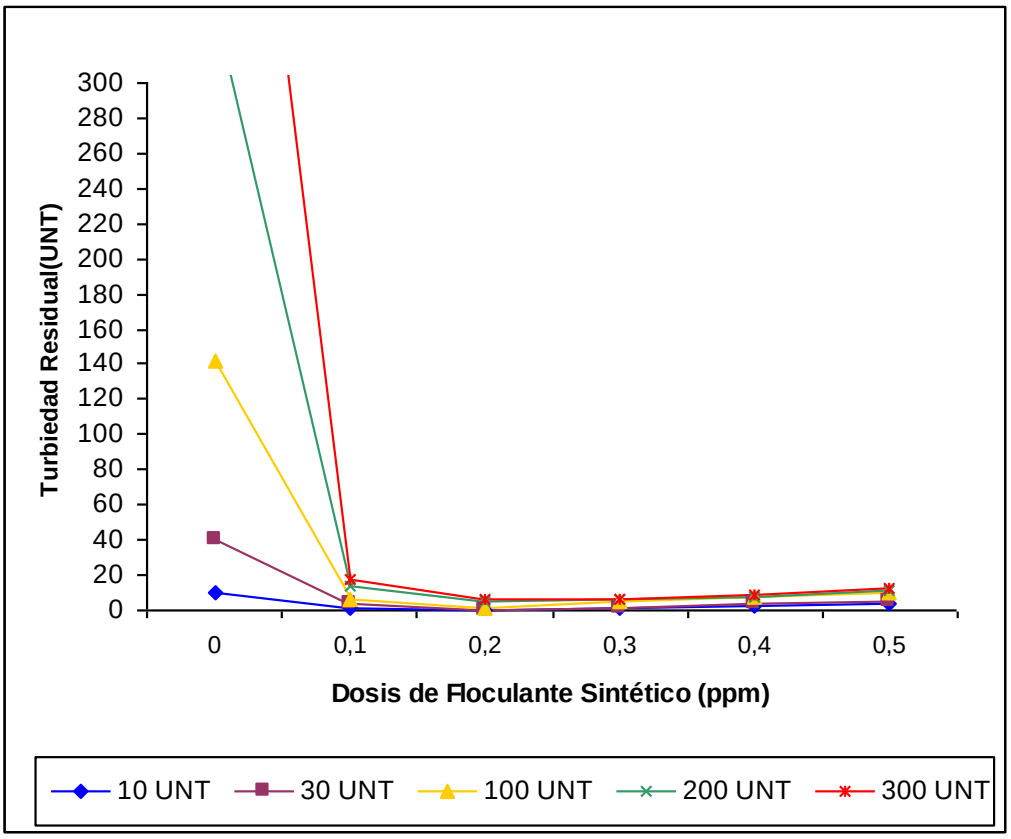


Figura27. Dosis óptimas de floculante sintético al 0.02% para cada turbiedad inicial.

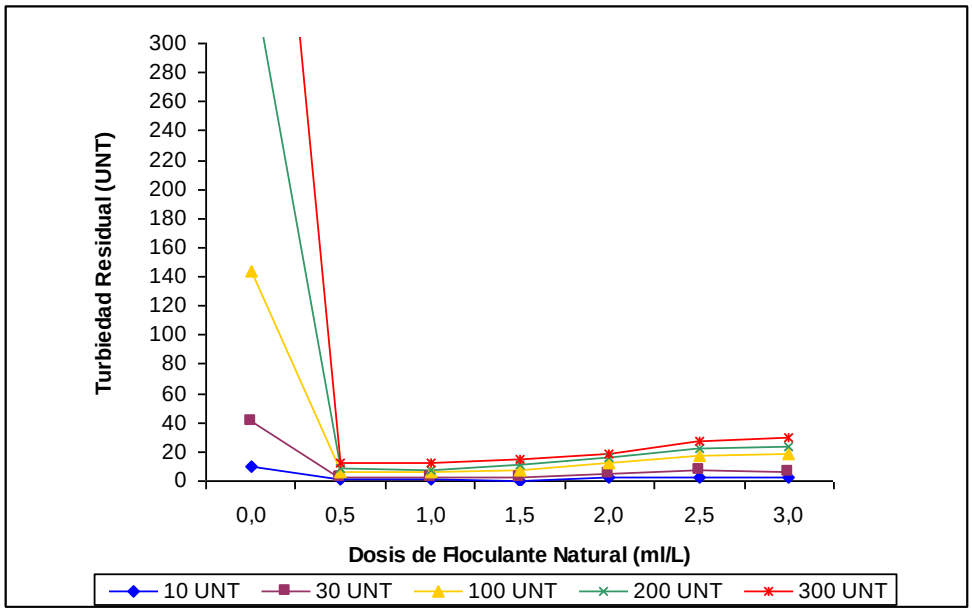


Figura 28. Dosis óptimas de floculante natural solución 1:4 para cada turbiedad inicial

Según los resultados del cuadro 17 y las figuras de la 25 a la 28 existe un aumento del consumo tanto de sulfato de aluminio como del polímero sintético en la medida que aumenta la turbiedad de la muestra, situación que también se repite con el polímero natural, lo cual es de esperar, ya que existe mayor cantidad de material que debe ser removido conforme aumenta la turbiedad. Según el resultado de la figura 28 se puede observar que el polímero natural presenta mayores eficiencias de remoción a concentraciones más bajas conforme aumenta la cantidad el floculo al parecer tiende a desestabilizarse.

Conociendo la turbiedad inicial y final es importante conocer el porcentaje de remoción del agua a tratar para entender su viabilidad. Del cuadro 18 se puede determinar que el mozote presenta una remoción de turbiedad equiparable con el polímero sintético, presentando valores bastante altos. Además, debido a que el coagulante utilizado para el presente estudio fue el sulfato de aluminio para los procesos de potabilización de agua, otra variable importante a considerar es la cantidad de aluminio residual en el agua a tratar, por lo que se calculó el porcentaje de remoción de aluminio. En donde el mozote presenta valores por debajo de la norma de aguas potables.

Finalmente, también se determinó la demanda química de oxígeno para el floculante natural para conocer la cantidad de materia orgánica presente en el agua tratada, para el caso del floculante natural empleado se determina que no aporta materia orgánica, lo cual se constituye en un importante aspecto a considerar para su potencial utilización para el tratamiento de aguas potables en futuros estudios.

Cuadro 18. Porcentaje de remoción de turbiedad, aluminio y DQO de las dosis óptimas para cada turbiedad inicial.

Turbiedad inicial (UNT)	10	30	100	200	300
Turbiedad final empleando polímero (UNT)	0	1	1	2	2
% remoción de turbiedad	100	96,6	99	99	99,3
Turbiedad final empleando mozote (NTU)	1	2	2	3	3
% remoción de turbiedad	90	93,3	98	99	99
Aluminio total (ppm)	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7
Aluminio residual (ppm)					
% remoción de aluminio					
DQO inicial (ppm)	1200	1200	1200	1200	1200
DQO final (ppm)	0	0	0	0	0
% remoción de DQO	100	100	100	100	100

Conclusiones

De acuerdo a lo observado en los experimentos y tras el análisis de datos se puede concluir que:

- El comportamiento del residuo de la empresa Prolex S.A. fue muy similar al presentado por el producto comercial de referencia (cloruro de hierro (III)) al ser evaluado con agua sintética y podría utilizarse para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo se observa variabilidad en las muestras recolectadas en la planta, por lo tanto es importante la estandarización de los procesos a fin de obtener residuos los mas homogéneos posibles en su composición, para su posterior utilización.

- Al comparar con el sulfato de aluminio, en el tratamiento de agua sintética, el residuo de la empresa Extralum S.A. es de uso factible para el tratamiento de aguas.

- La diferencia en cuanto a la concentración necesaria de aluminio en el residuo de la empresa Extralum S.A. respecto a la reportada por el sulfato de aluminio se debe a la especie de aluminio predominante en el residuo por su condición de pH, presenta baja disponibilidad de las especies solubles que podrían actuar en el proceso de coagulación, por lo cual se recomendaría realizar estudios que permitan optimizar la disponibilidad del aluminio en el residuo para mejorar su eficiencia.

- El residuo de la empresa Extralum S.A. presento resultados satisfactorios en el tratamiento de una muestra de agua de la entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox de Centroamérica S.A. lo que confirma su aplicabilidad para el tratamiento de aguas residuales.

- En cuanto al mozote de caballo, se puede indicar en base al estudio realizado que presenta una alta potencialidad para ser estudiado en sistemas de tratamiento de aguas potables. Ya que presentó una remoción de la turbiedad bastante alta, sin aporte de DQO, esto último es un aspecto importante, ya que una de las limitaciones que presentan los productos

naturales es el aumento de la carga orgánica lo cual se constituye en una dificultad para sus aplicaciones. Adicionalmente se conocen las propiedades terapéuticas del mozote de caballo en contraposición de lo polímeros sintéticos los cuales algunos se consideran dañinos para la salud, pero por no existir otras alternativas se les debe de usar.

Literatura citada

Andía, Y. 2000. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. Tratamiento de Agua: Coagulación Floculación. SEDAPAL. Lima, Perú.

Araya, W. "Reporte Nacional de Manejo de Materiales". PROARCA USAID CNP+ Costa Rica. 2002.

Barrenechea, A. Capitulo 4. COAGULACIÓN. Disponible en < http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/cuatro.pdf> consultada el 15 /08 /2007.

Carranza, C. "Alternativas para la Reducción y Aprovechamiento de los Lodos Residuales de Extralum S.A." Tesis, Universidad de Costa Rica. 2002

Christopher R. y Daniel A. 1990. Tratamiento de Aguas Superficiales para Países en Desarrollo. 1ª Ed. Editorial Limusa, Mexico, D.F.

Ciencia Abierta. 2007. Coagulación y floculación de contaminantes del agua. Disponible en: <http://cabierta.uchile.cl/revista/15/educacion/edu4/index.html.> consultada el 10/05/2007

Cornel University. 1999. Aluminum Solubility. Disponible en <http://ceeserver.cee.cornell.edu/mw24/projects/SSF/alsol/aluminumsolubility.xls> Consultada 25/08/2007.

Degrémont Water Treatment Handbook.1991. (6ª edición), vol.1, Francia.

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

Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. 2007. Decreto Nº 33601-MINAE-S. La Gaceta de 19 de marzo de 2007.

Reglamento para la Calidad del Agua Potable. 2005, Decreto Ejecutivo Nº 32327-S. GACETA 84 del 3 de mayo de 2005

FAISAN. Potabilización de agua con distintos coagulantes de aluminio y hierro. Disponible en http://www.faisansa.com.ar/info08.php visitada el 16/12/2007

González, N. y Romero, L. 2001 Informe final de Tratamiento de aguas en la Empresa Metálica Imperio. Escuela de Química Universidad Nacional

L. Braul and A. Leader. 2006. Chemicals for on-farm coagulation. Disponible en: <http://www.agr.gc.ca/pfra/water/coagchem_e.htm.> consultada el 10/05/2007

Lenntech. 2007. Aluminum and water: reaction mechanisms, environmental impact and health effects. Disponible en: <http://www.lenntech.com/elements-andwater/ aluminum-and-water.htm.> consultada el 10/05/2007

Metcalf & Eddy Inc. 2000 (3ª ed) Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse McGraw-Hill Internatioanl Editions

Ministerio de Hacienda 2005 Datos de importaciones proporcionados por Oficina de Estadísticas de Aduanas

Ozacar, M. Sengil, A. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particules. 2003. Dsiponible en <www.elsevier.com/locate/colsurfa>

Quezada, J. 2007. Entrevista sobre el comportamiento de coagulantes a base de Fe3+ y Al3+ y las especies de dichos metales presentes en una solución de acuerdo al pH. Profesor de la escuela de química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 10 de noviembre de 2007.

Ramírez, J. COAGULACON O FLOCULACION. 2006. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos10/tratami/tratami.shtml#FLOCULACION>. Consultada el 15 /08 /2007.

Sandoval, L, Martín, A, Piña, M y Montellano, 2001. L. Estudio piloto para reducir el volumen de lodos de plantas potabilizadoras. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/ bvsaidis/mexico13/005.pdf> consultada el 20/12/2007.

Sapporo City Institute of Public Health. 2003. Jar Test Procedure

Soto, T. Lozano, J. Barbarín, Alcalá, M. 2004 - Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos. Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas, UANL. Revista del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, 2004. Disponible en http://scholar.google.com/scholar?q=Remoci%
C3%B3n+de+metales+pesados+en+aguas+residuales+mediante+agentes+qu%C3%AD
micos&hl=es&um=1&ie=UTF-8&oi=scholart

Schulz, C y okun, D. 1990. Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo. 1° edición. Limusa S.A. México, D.F.

The Colorimetric Method. <http://www.chemetrics.com/analytes/aluminum.html > consultada el 28 de junio del 2007

Van Breemen, A. N. 2001 Water Treatment 1 Conventional and advance Treatment Methods International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, Holanda.

Vargas, M. 2006. Tesis. Estudio del Uso de Lodo Residual de la empresa Extralum S.A. como material alternativo en la fabricación de cementos especiales.

Villaseñor, J. 2006. Prácticas de Tratamientos de Aguas: Tratamientos físico - químicos: Coagulación y Floculación. Disponible en: <http://www.uclm.es/profesorado/ jvillasenor/esp/pdar/jartest.pdf.> Consultada el 12/05/2007

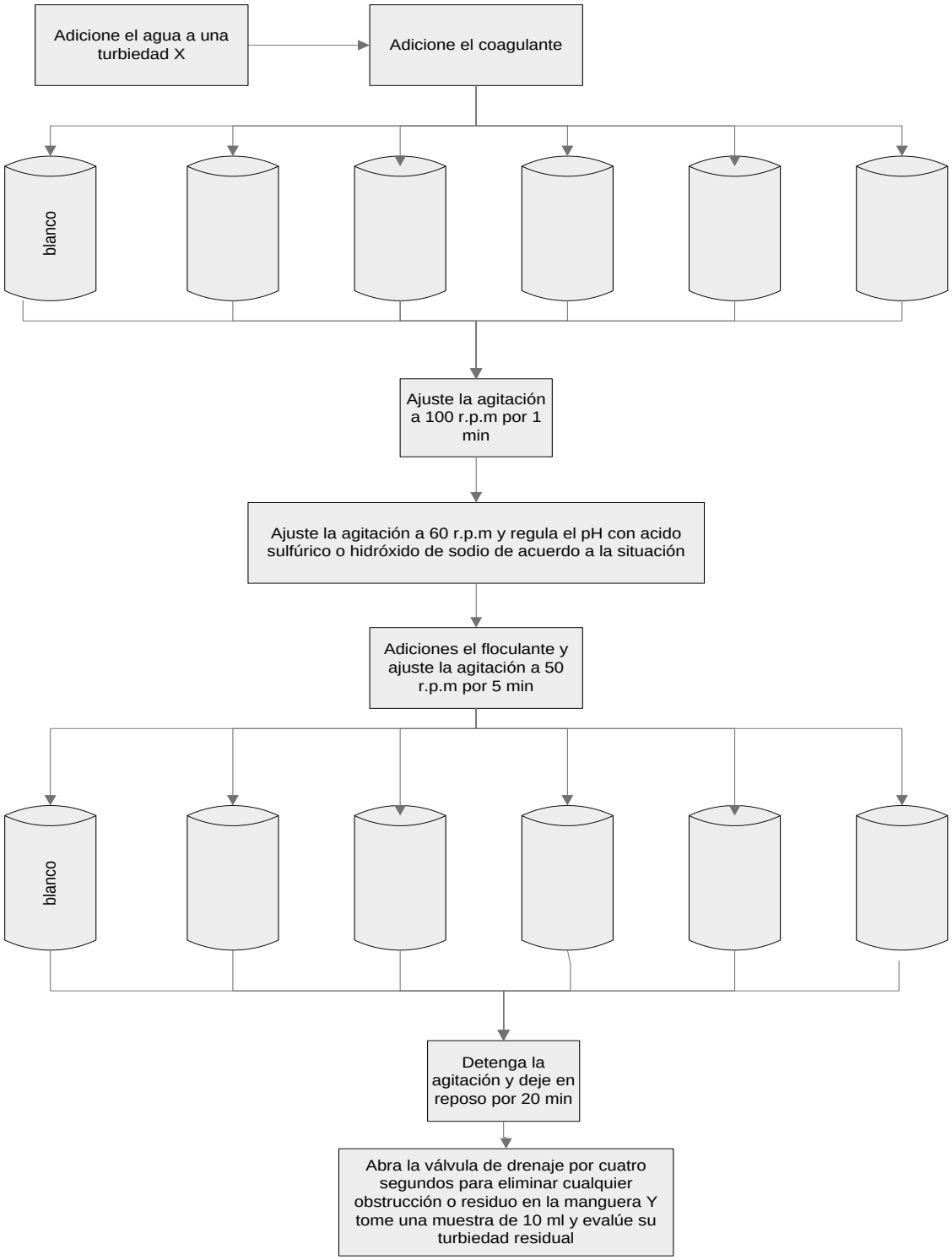
Water Treatment: Coagulation. Disponible en: <http://www.eurowater.20m.com/whats_ new.html> consultada el 25/05/2007.

Weyershausen, Kowalkowski. 2001. Tratamiento del agua potable disponible en >http://www.nl.hach-lange.be/shop/action_q/download%3Bdocument/DOK_ID/5612/ type/pdf/lkz/NL/spkz/nl/TOKEN/P7-AWOuccAKy3LCDZFo1eFZWdfA/M/xY3_iA>. Consultada el 22-02-2008.

ANEXOS

Anexo 1:

Diagrama del proceso de Coagulación y floculación seguido en el laboratorio.


Adicione el agua a una turbiedad X
Adicione el coagulante
blanco
Ajuste la agitación a 100 r.p.m por 1 min
Ajuste la agitación a 60 r.p.m y regula el pH con acido sulfúrico o hidróxido de sodio de acuerdo a la situación
Adiciones el floculante y ajuste la agitación a 50 r.p.m por 5 min
blanco
Detenga la agitación y deje en reposo por 20 min
Abra la válvula de drenaje por cuatro segundos para eliminar cualquier obstrucción o residuo en la manguera Y tome una muestra de 10 ml y evalúe su turbiedad residual

Anexo 2:

Datos experimentales obtenidos de las pruebas con una solución al 0.25% de sulfato de aluminio.

Anexo 2. 1. Optimización del pH y la dosis de coagulante y floculante optimas, utilizando como coagulante una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O), para una turbiedad baja (≈10 FTU).

Determinación del pH óptimo *					
Turbiedad inicial (FTU)	Al (ppm)	Floculante (ppm)	pHi	pHf	Turbiedad final (FTU)
11	0.0	0.0	7.6	control	9
	1.18	0,6	7.5	4.0	1
	1.18	0,6	7.5	5.0	0
	1.18	0,6	7.5	6.0	0
	1.18	0,6	7.6	7.0	0
	1.18	0,6	7.6	8.0	1
13	1.18	0,6	7.5	5.0	0
	1.18	0,6	7.6	5.5	0
	1.18	0,6	7.5	6.0	0
	1.18	0,6	7.5	6.5	0
	1.18	0,6	7.6	7.0	0
	1.18	0,6	7.5	7.5	0
10	1.18	0,6	7.6	5.6	0
	1.18	0,6	7.6	5.8	0
	1.18	0,6	7.5	6.0	0
	1.18	0,6	7.6	6.2	0
	1.18	0,6	7.6	6.4	0
	1.18	0,6	7.6	6.6	0
Determinación de la dosis óptima una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O) **					
12	control	0.0	7.1	6.0	11
	0,39	0,6	7.1	6.0	3
	0,78	0,6	7.0	6.0	1
	1,18	0,6	7.0	6.0	1
	1,57	0,6	6.9	6.0	2
	1,96	0,6	6.9	6.0	2
11	0,39	0,6	7.7	6.0	1
	0,59	0,6	7.7	6.0	0
	0,78	0,6	7.7	6.0	0
	0,98	0,6	7.6	6.0	0
	1,18	0,6	7.6	6.0	0
	1,37	0,6	7.5	6.0	0

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 2.1

11	0,20	0,6	7.5	6.0	9

	0,39	0,6	7.5	6.0	3
	0,59	0,6	7.6	6.0	0
	0,20	0,6	7.6	6.0	8
	0,39	0,6	7.6	6.0	4
	0,59	0,6	7.6	6.0	0
Determinación de la dosis óptima de Floculante***					
10	0.0	Control	6.7	6.0	10
	0,59	0,2	6.0	6.0	2
	0,59	0,4	6.0	6.0	1
	0,59	0,6	6.0	6.0	2
	0,59	0,8	6.0	6.0	2
	0,59	1,0	6.0	6.0	6
11	0.0	Control	6.7	6.0	11
	0,59	0,1	7.7	6.0	3
	0,59	0,2	7.7	6.0	1
	0,59	0,3	7.7	6.0	0
	0,59	0,4	7.7	6.0	0
	0,59	0,5	7.7	6.0	0
10	0,59	0,1	7.7	6.0	1
	0,59	0,2	7.7	6.0	0
	0,59	0,3	7.7	6.0	0
	0,59	0,1	7.7	6.0	1
	0,59	0,2	7.7	6.0	0
	0,59	0,3	7.7	6.0	1

*pH optimo 6.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 0.59 ppm

***Dosis optima de floculante 0.2 ppm

Anexo 2. 2. Optimización del pH y la dosis de coagulante y floculante optimas, utilizando como coagulante una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O), para una turbiedad baja (≈30 FTU).

Determinación del pH óptimo *					
Turbiedad inicial (FTU)	Coagulante (mL)	Floculante (ppm)	pHi	pHf	Turbiedad final (FTU)
28	0.0	0.0	6.37	control	28
	1.18	0,6	5.22	5.0	5
	1.18	0,6	5.22	6.0	5
	1.18	0,6	5.22	7.0	2
	1.18	0,6	5.22	8.0	2
	1.18	0,6	5.22	9.0	2
28	0.0	0,0	6.35	control	28
	1.18	0,6	5.19	6	1
	1.18	0,6	5.19	6.5	1
	1.18	0,6	5.19	7	1
	1.18	0,6	5.19	7.5	2
	1.18	0,6	5.19	8	3
30	0.0	0,0	7.85	control	30
	1.18	0,6	7.6	6.5	1
	1.18	0,6	7.6	6.8	1
	1.18	0,6	7.6	7.1	0
	1.18	0,6	7.6	7.4	0
	1.18	0,6	7.6	7.7	0
30	0.0	0,0	8.01	control	30
	1.18	0,6	7.75	6	0
	1.18	0,6	7.75	6.2	1
	1.18	0,6	7.75	6.4	1
	1.18	0,6	7.75	6.6	3
	1.18	0,6	7.75	6.8	3
Determinación de la dosis óptima una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O) **					
33	control	0.0	7.6	7.6	33
	0,39	0,6	7.2	6.0	11
	0,78	0,6	7.5	6.0	9
	1,18	0,6	7.5	6.0	7
	1,57	0,6	7.3	6.0	5
	1,96	0,6	7.3	6.0	6

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 2.2

34	control	0,0	7.1	7.1	34

	0,78	0,6	6.4	6.0	0
	0,98	0,6	3.4	6.0	0
	1,18	0,6	6.3	6.0	0
	1,37	0,6	6.3	6.0	0
	1,57	0,6	6.2	6.0	2
32	control	0,0	7.0	7.0	32
	0,20	0,6	6.8	6.0	10
	0,39	0,6	6.8	6.0	4
	0,59	0,6	6.7	6.0	0
	0,78	0,6	6.6	6.0	0
	0,98	0,6	6.5	6.0	0
Determinación de la dosis óptima de Floculante***					
29	0	Control	7.0	7.0	29
	0,59	0,2	6.6	6.0	0
	0,59	0,4	6.6	6.0	0
	0,59	0,6	6.6	6.0	0
	0,59	0,8	6.6	6.0	0
	0,59	1,0	6.6	6.0	0
33	0,0	Control	6.8	7.0	33
	0,59	0,1	6.4	6.0	3
	0,59	0,2	6.4	6.0	1
	0,59	0,3	6.4	6.0	0
	0,59	0,4	6.4	6.0	2
	0,59	0,5	6.4	6.0	2
30	0,0	Control	8.0	8.0	30
	0,59	0,1	7.8	6.0	3
	0,59	0,2	7.8	6.0	0
	0,59	0,3	7.8	6.0	0
	0,59	0,4	7.8	6.0	1
	0,59	0,5	7.8	6.0	1

*pH optimo 6.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 0.59 ppm

***Dosis optima de floculante 0.3 ppm

Anexo 2. 3. Optimización del pH y la dosis de coagulante y floculante optimas, utilizando como coagulante una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O), para una turbiedad media (≈100 FTU).

Determinación del pH óptimo *					
Turbiedad inicial (FTU)	Coagulante (mL)	Floculante (ppm)	pHi	pHf	Turbiedad final (FTU)
98	0.0	0.0	6.9	control	98
	1.18	0,6	6.8	4.0	2
	1.18	0,6	6.8	5.0	1
	1.18	0,6	6.8	6.0	0
	1.18	0,6	6.8	7.0	0
	1.18	0,6	6.8	8.0	0
101	0.0	0,0	6.9	control	100
	1.18	0,6	6.3	5.5	0
	1.18	0,6	6.3	6.0	0
	1.18	0,6	6.3	6.5	0
	1.18	0,6	6.3	7.0	0
	1.18	0,6	6.3	7.5	0
101	0.0	0,0	7.9	control	100
	1.18	0,6	7.6	6.0	0
	1.18	0,6	7.6	6.2	0
	1.18	0,6	7.6	6.4	2
	1.18	0,6	7.6	6.6	3
	1.18	0,6	7.6	6.8	3
Determinación de la dosis óptima una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O) **					
108	control	0.0	7.3	7.3	108
	0,39	0,6	7.2	6.0	22
	0,78	0,6	7.2	6.0	9
	1,18	0,6	7.1	6.0	4
	1,57	0,6	7.0	6.0	1
	1,96	0,6	7.0	6.0	2
108	control	0,0	7.2	7.2	105
	0,78	0,6	7.1	6.0	4
	0,98	0,6	7.1	6.0	2
	1,18	0,6	7.0	6.0	3
	1,37	0,6	6.9	6.0	4
	1,57	0,6	6.9	6.0	3

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 2.3

103	control	0,0	7.9	7.9	103
	0,78	0,6	7.7	6.0	3
	0,98	0,6	7.7	6.0	1
	1,18	0,6	7.6	6.0	2
	1,37	0,6	7.4	6.0	2
	1,57	0,6	7.3	6.0	2
Determinación de la dosis óptima de Floculante***					
108	0,0	Control	7.2	6.0	108
	0,98	0,2	6.9	6.0	15
	0,98	0,4	6.9	6.0	9
	0,98	0,6	6.9	6.0	5
	0,98	0,8	6.9	6.0	4
	0,98	1,0	6.9	6.0	6
108	0,0	Control	7.3	6.0	108
	0,98	0,4	7.1	6.0	4
	0,98	0,5	7.1	6.0	3
	0,98	0,6	7.1	6.0	1
	0,98	0,7	7.1	6.0	3
	0,98	0,8	7.1	6.0	4
102	0,0	Control	7.9	6.0	102
	0,98	0,4	7.7	6.0	2
	0,98	0,5	7.7	6.0	1
	0,98	0,6	7.7	6.0	4
	0,98	0,7	7.7	6.0	4
	0,98	0,8	7.7	6.0	5

*pH optimo 6.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 0 .98 ppm

***Dosis optima de floculante 0.4 ppm

Anexo 2. 4. Optimización del pH y la dosis de coagulante y floculante optimas, utilizando como coagulante una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O), para una turbiedad alta (≈200 FTU).

Determinación del pH óptimo *					
Turbiedad inicial (FTU)	Coagulante (mL)	Floculante (ppm)	pHi	pHf	Turbiedad final (FTU)
204	0.0	0.0	6.7	control	174
	1.18	0,6	5.4	4.0	50
	1.18	0,6	5.5	5.0	5
	1.18	0,6	5.5	6.0	1
	1.18	0,6	5.6	7.0	3
	1.18	0,6	5.5	8.0	30
207	0.0	0,0	7.6	control	192
	1.18	0,6	7.4	5.5	3
	1.18	0,6	7.4	6.0	1
	1.18	0,6	7.4	6.5	3
	1.18	0,6	7.4	7.0	6
	1.18	0,6	7.4	7.5	11
198	0.0	0,0	7.6	control	190
	1.18	0,6	7.6	5.6	3
	1.18	0,6	7.7	5.8	2
	1.18	0,6	7.6	6.0	0
	1.18	0,6	7.7	6.2	1
	1.18	0,6	7.7	6.4	1
Determinación de la dosis óptima una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O) **					
208	control	0.0	6.2	6.2	183
	0,39	0,6	6.3	6.0	0
	0,78	0,6	6.2	6.0	2
	1,18	0,6	5.9	6.0	1
	1,57	0,6	5.5	6.0	0
	1,96	0,6	4.9	6.0	0
198	control	0,0	6.7	6.7	163
	0,59	0,6	6.5	6.0	7
	0,78	0,6	6.5	6.0	3
	0,98	0,6	6.4	6.0	**0**
	1,18	0,6	6.4	6.0	0
	1,37	0,6	6.3	6.0	0

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 2.4

199	control	0,0	6.7	6.7	163
	0,59	0,6	6.5	6.0	9
	0,78	0,6	6.5	6.0	7
	0,98	0,6	6.5	6.0	**2**
	1,18	0,6	6.4	6.0	1
	1,37	0,6	6.3	6.0	2
Determinación de la dosis óptima de Floculante***					
200	0.0	Control	7.2	7.7	173
	1,18	0,2	6.4	6.0	11
	1,18	0,4	6.5	6.0	4
	1,18	0,6	6.6	6.0	2
	1,18	0,8	6.5	6.0	4
	1,18	1,0	6.4	6.0	13
203	0.0	Control	7.2	7.2	188
	1,18	0,3	6.7	6.0	8
	1,18	0,4	6.7	6.0	4
	1,18	0,5	6.7	6.0	**1**
	1,18	0,6	6.7	6.0	0
	1,18	0,7	6.8	6.0	1
199	0.0	Control	7.3	7.3	175
	1,18	0,3	6.9	6.0	8
	1,18	0,4	6.9	6.0	4
	1,18	0,5	**6.9**	6.0	**1**
	1,18	0,6	6.9	6.0	3
	1,18	0,7	6.9	6.0	4

*pH optimo 6.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 1.18 ppm

***Dosis optima de floculante 0.6 ppm

Anexo 2. 5. Optimización del pH y la dosis de coagulante y floculante optimas, utilizando como coagulante una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O), para una turbiedad alta (≈300 FTU).

Determinación del pH óptimo *					
Turbiedad inicial (FTU)	Aluminio (ppm)	Floculante (ppm)	pHi	pHf	Turbiedad final (FTU)
296	0.0	0.0	6.8	6.8	296
	1.18	0,6	6.7	4.0	44
	1.18	0,6	6.7	5.0	20
	1.18	0,6	6.7	6.0	11
	1.18	0,6	6.7	7.0	13
	1.18	0,6	6.7	8.0	17
301	0.0	0,0	7.0	7.0	301
	1.18	0,6	6.3	5.5	3
	1.18	0,6	6.3	6.0	0
	1.18	0,6	6.3	6.5	0
	1.18	0,6	6.3	7.0	8
	1.18	0,6	6.3	7.5	19
300	0.0	0,0	7.0	7.0	300
	1.18	0,6	6.2	5.5	4
	1.18	0,6	6.2	6.0	0
	1.18	0,6	6.2	6.5	3
	1.18	0,6	6.2	7.0	11
	1.18	0,6	6.2	7.5	24
303	0.0	0,0	8.0	8.0	303
	1.18	0,6	7.7	6.0	0
	1.18	0,6	7.7	6.2	0
	1.18	0,6	7.7	6.4	5
	1.18	0,6	7.7	6.6	11
	1.18	0,6	7.7	6.8	20
Determinación de la dosis óptima una solución al 0.25% de sulfato de aluminio (H_2SO_4+18 H_2O) **					
303	control	0.0	6.8	6.0	303
	0,39	0,6	6.6	6.0	57
	0,78	0,6	6.6	6.0	9
	1,18	0,6	6.5	6.0	5
	1,57	0,6	6.3	6.0	4
	1,96	0,6	5.8	6.0	6

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 2.5

304	control	0,0	7.1	6.0	304
	0,98	0,6	6.6	6.0	4
	1,18	0,6	6.5	6.0	3
	1,37	0,6	6.4	6.0	2
	1,57	0,6	6.3	6.0	1
	1,76	0,6	6.2	6.0	5
302	control	0,0	8.0	6.0	302
	0,98	0,6	7.8	6.0	5
	1,18	0,6	7.7	6.0	4
	1,37	0,6	7.6	6.0	2
	1,57	0,6	7.5	6.0	0
	1,76	0,6	7.4	6.0	4
Determinación de la dosis óptima de Floculante***					
298	control	Control	8.0	6.0	298
	1,37	0,2	7.6	6.0	3
	1,37	0,4	7.6	6.0	2
	1,37	0,6	7.6	6.0	0
	1,37	0,8	7.6	6.0	2
	1,37	1,0	7.6	6.0	4
302	control	Control	8.0	6.0	302
	1,37	0,4	7.7	6.0	2
	1,37	0,5	7.7	6.0	2
	1,37	0,6	7.7	6.0	0
	1,37	0,7	7.7	6.0	0
	1,37	0,8	7.7	6.0	2
298	control	Control	8.0	6.0	298
	1,37	0,4	7.7	6.0	3
	1,37	0,5	7.7	6.0	1
	1,37	0,6	7.7	6.0	0
	1,37	0,7	7.7	6.0	1
	1,37	0,8	7.7	6.0	2

*pH optimo 6.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 1.37 ppm

***Dosis optima de floculante 0.6 ppm

ANEXO 3:

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS CON UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. FILTRADO.

Anexo 3. 1. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. FILTRADO, PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈10 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (PPM)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
10	0.0	0.0	7.5	control	9
	23.4	0,6	8.7	5.0	8
	23,4	0,6	8.7	6.0	0
	23.4	0,6	8.7	7.0	0
	23,4	0,6	8.7	8.0	9
	23.4	0,6	8.7	9.0	10
11	0.0	0,0	7.5	control	11
	23.4	0,6	8.6	5.5	0
	23,4	0,6	8.6	6.0	0
	23.4	0,6	8.5	6.5	0
	23,4	0,6	8.6	7.0	0
	23.4	0,6	8.6	7.5	11
11	0.0	0,0	7.8	control	8
	23.4	0,6	8.6	5.5	0
	23,4	0,6	8.6	6.0	0
	23.4	0,6	8.6	6.5	0
	23,4	0,6	8.6	7.0	0
	23.4	0,6	8.6	7.5	13
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. **					
10	control	0.0	7.5	7.5	9
	7,80	0,6	7.6	7.0	1
	15,60	0,6	8.1	7.0	2
	23,40	0,6	8.5	7.0	2
	31,20	0,6	8.8	7.0	1
	39,00	0,6	8.9	7.0	2
11	control	0,0	7.6	7.6	11
	11,70	0,6	8.1	7.0	10
	14,04	0,6	8.3	7.0	9
	16,38	0,6	8.4	7.0	8
	18,72	0,6	8.5	7.0	0
	21,06	0,6	8.6	7.0	0

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 3.1

10	control	0,0	7.5	7.5	9
	16,38	0,6	8.4	7.0	2
	18,72	0,6	8.5	7.0	0

	21,06	0,6	8.6	7.0	0
	23,40	0,6	8.7	7.0	0
	25,74	0,6	8.7	7.0	0
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
12	16,38	Control	7.3	7.3	11
	16,38	0,2	8.8	7.0	1
	16,38	0,3	8.8	7.0	0
	16,38	0,4	8.8	7.0	0
	16,38	0,5	8.8	7.0	0
	16,38	0,6	8.8	7.0	0
12	16,38	Control	7.2	7.2	11
	16,38	0,2	8.8	7.0	1
	16,38	0,3	8.8	7.0	**0**
	16,38	0,4	8.8	7.0	0
	16,38	0,5	8.8	7.0	0
	16,38	0,6	8.7	7.0	0
10	16,38	Control	7.7	7.7	10
	16,38	0,28	8.7	7.0	0
	16,38	0,34	8.7	7.0	**0**
	16,38	0,40	8.8	7.0	0
	16,38	0,46	8.7	7.0	0
	16,38	0,52	8.7	7.0	0

*pH optimo 7.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 16.38 ppm

***Dosis optima de floculante 0.3 ppm

Anexo 3. 2. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. FILTRADO, PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈30 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (PPM)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
32	0.0	0.0	7.5	control	29
	23.4	0,6	9.2	5.0	0
	23,4	0,6	9.2	6.0	0
	23.4	0,6	9.2	7.0	0
	23,4	0,6	9.2	8.0	0
	23.4	0,6	9.2	9.0	0
29	0.0	0,0	7.4	6.0	0
	23.4	0,6	9.1	6.5	0
	23,4	0,6	9.1	7.0	0
	23.4	0,6	9.1	7.5	0
	23,4	0,6	9.1	8.0	16
	23.4	0,6	9.1	8.5	0
30	0.0	0,0	7.4	control	30
	23.4	0,6	8.8	6.5	4
	23,4	0,6	8.8	6.8	4
	23.4	0,6	8.8	7.1	4
	23,4	0,6	8.9	7.4	3
	23.4	0,6	8.8	7.7	35
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. **					
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7,8	0,6	7.9	7.0	29
	11,7	0,6	8.2	7.0	28
	15,6	0,6	8.3	7.0	24
	19,5	0,6	8.5	7.0	3
	23,4	0,6	8.7	7.0	0
30	control	0,0	0.0	0.0	0.0
	15,6	0,6	8.3	7.0	1
	19,5	0,6	8.4	7.0	0
	23,4	0,6	8.6	7.0	0
	27,3	0,6	8.8	7.0	1
	31,2	0,6	8.9	7.0	1

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 3.2

29	control	0,0	0.0	0.0	0.0
	13,3	0,6	8.2	7.0	3

	15,6	0,6	8.3	7.1	2
	17,9	0,6	8.4	7.0	0
	20,3	0,6	8.5	7.1	1
	22,6	0,6	8.6	7.0	1
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
29	0.0	Control	0.0	0.0	0.0
	15,6	0,2	8.4	7.0	5
	15,6	0,3	8.4	7.0	7
	15,6	0,4	8.4	7.0	8
	15,6	0,5	8.4	7.0	30
	15,6	0,6	8.4	7.0	3
31	0.0	Control	0.0	0.0	0.0
	15,6	0,34	8.4	7.0	1
	15,6	0,40	8.4	7.0	0
	15,6	0,46	**8.3**	**7.0**	**0**
	15,6	0,52	8.4	7.0	0
	15,6	0,58	8.4	7.0	0
31	0.0	Control	7.6	7.6	30
	15,6	0,34	8.4	7.0	1
	15,6	0,40	8.5	7.0	0
	15,6	0,46	8.4	7.0	0
	15,6	0,52	8.5	7.0	0
	15,6	0,58	8.4	7.0	0

*pH optimo 7.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 15.6 ppm

***Dosis optima de floculante 0.34 ppm

Anexo 3. 3. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. FILTRADO, PARA UNA TURBIEDAD MEDIA (≈100 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (PPM)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
99	0.0	0.0	7.2	control	90
	23.4	0,6	9.2	6.0	4
	23,4	0,6	9.2	6.5	3
	23.4	0,6	9.2	7.0	2
	23,4	0,6	9.2	7.5	7
	23.4	0,6	9.2	8.0	100
104	0.0	0,0	7.7	control	100
	23.4	0,6	8.7	6.7	0
	23,4	0,6	8.7	7.0	1
	23.4	0,6	8.7	7.3	0
	23,4	0,6	8.7	7.6	99
	23.4	0,6	7.7	7.9	100
100	0.0	0,0	7.7	control	100
	23.4	0,6	8.8	6.7	0
	23,4	0,6	8.8	7.0	0
	23.4	0,6	8.8	7.3	1
	23,4	0,6	8.8	7.6	80
	23.4	0,6	8.9	7.9	100
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. **					
104	control	0.0	7.7	7.7	100
	11,7	0,6	8.7	7.0	0
	15,6	0,6	8.3	7.0	0
	19,5	0,6	8.6	7.0	0
	23,4	0,6	8.7	7.0	0
	27,3	0,6	8.8	7.0	0
101	control	0,0	7.7	7.7	100
	13,3	0,6	8.5	7.0	0
	15,6	0,6	8.7	7.0	0
	17,9	0,6	8.8	7.0	0
	20,3	0,6	8.9	7.0	0
	22,6	0,6	8.9	7.0	0

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 3.3

97	control	0,0	7.4	7.4	100
	13,3	0,6	8.6	7.0	0
	15,6	0,6	8.7	7.0	0

	17,9	0,6	8.8	7.0	0
	20,3	0,6	8.9	7.0	0
	22,6	0,6	9.0	7.0	0
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
105	15,6	0,1	8.5	7.0	2.0
	15,6	0,2	8.4	7.0	0
	15,6	0,3	8.5	7.0	0
	15,6	0,4	8.4	7.0	0
	15,6	0,5	8.4	7.0	0
	15,6	0,6	8.5	7.0	0
108	0.0	Control	7.7	7.7	93.0
	15,6	0,2	8.5	7.0	3
	15,6	0,3	8.5	7.0	2
	15,6	0,4	8.5	7.0	1
	15,6	0,5	8.5	7.0	0
	15,6	0,6	8.5	7.0	0

*pH optimo 7.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 15.6 ppm

***Dosis optima de floculante 0.4 ppm

Anexo 3. 4. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. FILTRADO, PARA UNA TURBIEDAD ALTA (≈200 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (PPM)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
196	0.0	0.0	7.9	control	166
	23.4	0,6	8.5	6.0	2
	23,4	0,6	8.6	6.5	0
	23.4	0,6	8.6	7.0	0
	23,4	0,6	8.6	7.5	138
	23.4	0,6	8.6	8.0	208
204	0.0	0,0	7.6	control	179
	23.4	0,6	8.5	6.1	8
	23,4	0,6	8.5	6.4	1
	23.4	0,6	8.5	6.7	0
	23,4	0,6	8.5	7.0	3
	23.4	0,6	8.5	7.3	114
196	0.0	0,0	7.6	control	170
	23.4	0,6	8.5	6.1	0
	23,4	0,6	8.5	6.4	0
	23.4	0,6	8.5	6.7	0
	23,4	0,6	8.5	7.0	10
	23.4	0,6	8.5	7.3	114
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. **					
200	control	0.0	7.7	7.7	177
	7,8	0,6	8.0	7.0	119
	15,6	0,6	8.5	7.0	5
	23,4	0,6	8.8	7.0	4
	31,2	0,6	8.0	7.0	3
	39,0	0,6	9.1	7.0	1
206	control	0,0	7.7	7.7	192
	15,6	0,6	8.2	7.0	0
	19,5	0,6	8.4	7.0	0
	23,4	0,6	8.5	7.0	0
	27,3	0,6	8.6	7.0	0
	31,2	0,6	8.7	7.0	0

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 3.4

206	control	0,0	7.7	7.7	192
	13,3	0,6	8.3	7.0	2
	15,6	0,6	8.3	7.0	0
	17,9	0,6	8.5	7.0	0

	20,3	0,6	8.7	7.0	0
	22,6	0,6	8.6	7.0	0
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
204	0,00	Control	7.7	7.7	169
	19.5	0,2	8.5	6.7	0
	19.5	0,4	8.5	6.7	0
	19.5	0,6	8.5	6.7	0
	19.5	0,8	8.5	6.7	0
	19.5	1,0	8.5	6.7	1
204	0,00	Control	7.8	7.8	170
	19.5	0,20	8.5	6.7	0
	19.5	0,26	8.5	6.7	0
	19.5	0,32	8.5	6.7	0
	19.5	0,38	8.5	6.7	0
	19.5	0,44	8.6	6.7	0
207	0,0	Control	7.8	7.8	169
	19.5	0,20	8.8	6.7	0
	19.5	0,26	8.8	6.7	0
	19.5	0,32	8.6	6.7	0
	19.5	0,38	8.8	6.7	0
	19.5	0,44	8.8	6.7	0

*pH optimo 6.7 unidades

**Dosis optima de coagulante 19.5 ppm

***Dosis optima de floculante 0.44 ppm

Anexo 3. 5. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. FILTRADO, PARA UNA TURBIEDAD ALTA (≈300 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (PPM)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
297	0.0	0.6	8.7	5.5	2
	23.4	0,6	8.7	6.0	0
	23,4	0,6	8.8	6.5	0
	23.4	0,6	8.8	7.0	0
	23,4	0,6	8.8	7.5	0
	23.4	0,6	8.8	8.0	12
297	0.0	0,6	9.0	6.0	0
	23.4	0,6	9.0	6.3	0
	23,4	0,6	9.1	6.6	11
	23.4	0,6	9.0	6.9	49
	23,4	0,6	9.1	7.2	88
	23.4	0,0	9.0	7.5	270
303	0.0	0,6	8.7	6.0	0
	23.4	0,6	8.7	6.3	0
	23,4	0,6	8.8	6.6	0
	23.4	0,6	8.8	6.9	3
	23,4	0,6	8.8	7.2	12
	23.4	0,6	8.8	7.5	24
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 50% DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. **					
306	control	0.0	7.8	7.8	296
	11,7	0,6	8.4	6.6	0
	15,6	0,6	8.6	6.6	0
	19,5	0,6	8.8	6.6	0
	23,4	0,6	9.0	6.6	0
	27,3	0,6	9.1	6.6	1
302	control	0,0	7.8	7.8	300
	13.3	0,6	8.4	6.6	0
	15,6	0,6	8.5	6.6	0
	17,9	0,6	8.6	6.6	0
	20,3	0,6	8.7	6.6	0
	22,6	0,6	8.9	6.6	0

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 3.5

300	control	0,0	7.8	7.8	300
	13.3	0,6	8.4	6.6	0
	15,6	0,6	8.5	6.6	0

	17,9	0,6	8.6	6.6	0
	20,3	0,6	8.7	6.6	0
	22,6	0,6	8.9	6.6	1
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
303	17,9	0.2	8.9	6.6	4
	17,9	0,3	8.9	6.6	3
	17,9	0,4	9.0	6.6	3
	17,9	0,5	9.0	6.6	3
	17,9	0,6	8.9	6.6	4
	17,9	0,7	9.0	6.6	1
306	0.0	Control	7.8	7.8	288
	17,9	0,3	8.6	6.6	2
	17,9	0,4	8.6	6.6	1
	17,9	0,5	8.7	6.6	1
	17,9	0,6	8.6	6.6	1
	17,9	0,7	8.6	6.6	1

*pH optimo 6.6 unidades

**Dosis optima de coagulante 17.9 ppm

***Dosis optima de floculante 0.5 ppm

ANEXO 4:

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS CON UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+ 6 H2O).

Anexo 4. 1. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O), PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈10 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
11	1.56	0.6	6.6	4.0	4
	1.56	0,6	6.6	5.0	3
	1.56	0,6	6.6	6.0	2
	1.56	0,6	6.6	7.0	3
	1.56	0,6	6.6	8.0	0
	1.56	0,6	6.6	9.0	1
12	0.0	0,0	6.6	control	10
	1.56	0,6	6.6	6.5	4
	1.56	0,6	6.6	7.0	3
	1.56	0,6	6.6	7.5	3
	1.56	0,6	6.6	8.0	4
	1.56	0,6	6.6	8.5	4
12	1.56	0,6	6.7	7.0	3
	1.56	0,6	6.7	7.2	4
	1.56	0,6	6.6	7.4	1
	1.56	0,6	6.7	7.6	3
	1.56	0,6	6.7	7.8	2
	1.56	0,6	6.7	8.0	4
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
12	control	0.0	7.1	7.4	10
	0,52	0,6	6.9	7.4	9
	1,04	0,6	6.8	7.4	1
	1,56	0,6	6.6	7.4	0
	2,08	0,6	6.6	7.4	0
	2,60	0,6	6.4	7.4	0
10	control	0,0	7.4	7.4	10
	0,52	0,6	6.9	7.4	8
	0,78	0,6	6.9	7.4	10
	1,04	0,6	6.9	7.4	3
	1,30	0,6	6.8	7.4	2
	1,56	0,6	6.8	7.4	3

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 4.1

10	0,83	0,6	6.7	7.4	5
	0,94	0,6	6.8	7.4	4

	1,04	0,6	6.8	7.4	3
	1,14	0,6	6.8	7.4	3
	1,25	0,6	6.8	7.4	4
	1,35	0,6	6.7	7.4	1
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
10	0.0	Control	7.3	7.4	10
	1.04	0,2	6.7	7.4	4
	1.04	0,4	6.7	7.4	3
	1.04	0,6	6.7	7.4	3
	1.04	0,8	6.7	7.4	1
	1.04	1,0	6.7	7.4	0
12	1.04	0,1	6.6	7.4	1
	1.04	0,2	6.6	7.4	0
	1.04	0,3	6.6	7.4	2
	1.04	0,4	6.6	7.4	0
	1.04	0,5	6.6	7.4	0
	1.04	0,6	6.6	7.4	0
10	1.04	0,12	6.6	7.4	0
	1.04	0,16	6.6	7.4	1
	1.04	0,20	6.6	7.4	0
	1.04	0,24	6.6	7.4	0
	1.04	0,28	6.6	7.4	0
	1.04	0,32	6.6	7.4	1

*pH optimo 7.4 unidades

**Dosis optima de coagulante 1.04 ppm

***Dosis optima de floculante 0.16 ppm

Anexo 4. 2. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 500.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O), PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈30 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
28	1.56	0.6	6.4	4.0	0
	1.56	0,6	6.4	5.0	1
	1.56	0,6	6.4	6.0	0
	1.56	0,6	6.4	7.0	2
	1.56	0,6	6.4	8.0	1
	1.56	0,6	6.4	9.0	2
32	0.0	0,0	7.1	control	32
	1.56	0,6	6.4	6.5	4
	1.56	0,6	6.4	7.0	1
	1.56	0,6	6.4	7.5	0
	1.56	0,6	6.4	8.0	3
	1.56	0,6	6.4	8.5	4
33	1.56	0,6	6.5	7.0	4
	1.56	0,6	6.5	7.2	3
	1.56	0,6	6.5	7.4	4
	1.56	0,6	6.5	7.6	3
	1.56	0,6	6.5	7.8	3
	1.56	0,6	6.5	8.0	4
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
30	0,52	0.6	6.8	7.5	9
	1,04	0,6	6.8	7.5	2
	1,56	0,6	6.7	7.5	1
	2,08	0,6	6.6	7.5	0
	2,60	0,6	6.5	7.5	0
	3,12	0,6	6.4	7.5	0
30	control	0,0	7.1	7.1	30
	0,52	0,6	6.7	7.5	10
	0,78	0,6	6.7	7.5	6
	1,04	0,6	6.6	7.5	3
	1,30	0,6	6.6	7.5	3
	1,56	0,6	6.6	7.5	2

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 4.2

29	1,04	0,6	6.3	7.5	2
	1,14	0,6	6.3	7.5	1
	1,25	0,6	6.4	7.5	0

	1,35	0,6	6.3	7.5	0
	1,46	0,6	6.3	7.5	0
	1,56	0,6	6.3	7.5	1
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
31	1.14	0,2	6.2	7.5	1
	1.14	0,4	6.2	7.5	0
	1.14	0,6	6.2	7.5	1
	1.14	0,8	6.2	7.5	1
	1.14	1,0	6.2	7.5	0
	1.14	1,2	6.2	7.5	0
30	0.0	Control	7.1	7.5	27
	1.14	0,1	7.5	7.5	3
	1.14	0,2	7.5	7.5	0
	1.14	0,3	7.5	7.5	1
	1.14	0,4	7.5	7.5	1
	1.14	0,5	7.5	7.5	1
28	1.14	0,12	6.3	7.5	2
	1.14	0,16	6.3	7.5	2
	1.14	0,20	6.3	7.5	0
	1.14	0,24	6.3	7.5	0
	1.14	0,28	6.3	7.5	0
	1.14	0,32	6.3	7.5	1

*pH optimo 7.5 unidades

**Dosis optima de coagulante 1.14 ppm

***Dosis optima de floculante 0.2 ppm

Anexo 4. 3. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O), PARA UNA TURBIEDAD MEDIA (≈100 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (ppm)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
110	1.56	0.6	4.74	4.0	5
	1.56	0,6	4.75	5.0	2
	1.56	0,6	4.72	6.0	2
	1.56	0,6	4.70	7.0	5
	1.56	0,6	4.74	8.0	2
	1.56	0,6	4.73	9.0	4
105	1.56	0,6	6.5	5.7	5
	1.56	0,6	6.3	7.0	5
	1.56	0,6	6.3	7.5	9
	1.56	0,6	6.5	8.0	9
	1.56	0,6	6.6	8.5	10
	1.56	0,6	6.7	9.0	8
110	1.56	0,6	6.5	7.0	6
	1.56	0,6	6.4	7.2	7
	1.56	0,6	6.5	7.4	5
	1.56	0,6	6.5	7.6	6
	1.56	0,6	6.5	7.8	7
	1.56	0,6	6.5	8.0	7
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
110	0,52	0.6	6.6	7.5	50
	1,04	0,6	6.6	7.5	3
	1,56	0,6	6.5	7.5	1
	2,08	0,6	6.4	7.5	0
	2,60	0,6	6.2	7.5	0
	3,12	0,6	5.4	7.5	3
99	control	0,0	6.6	6.6	89
	1,56	0,6	6.5	7.5	1
	1,82	0,6	6.5	7.5	4
	2,08	0,6	6.4	7.5	2
	2,34	0,6	6.4	7.5	2
	2,60	0,6	6.3	7.5	2

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 4.3

95	1,77	0,6	6.3	7.5	3
	1,87	0,6	6.3	7.5	1
	1,98	0,6	6.3	7.5	1

	2,08	0,6	6.2	7.5	2
	2,18	0,6	6.2	7.5	1
	2,29	0,6	6.2	7.5	1
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
106	0.0	Control	6.9	7.5	91
	1.98	0,2	6.4	7.5	0
	1.98	0,4	6.4	7.5	1
	1.98	0,6	6.3	7.5	0
	1.98	0,8	6.4	7.5	0
	1.98	1,0	6.3	7.5	4
110	1.98	0,1	6.3	7.5	5
	1.98	0,2	6.2	7.5	4
	1.98	0,3	6.2	7.5	4
	1.98	0,4	6.2	7.5	4
	1.98	0,5	6.2	7.5	4
	1.98	0,6	6.2	7.5	5
108	1.98	0,12	6.4	7.5	6
	1.98	0,16	6.4	7.5	5
	1.98	0,20	6.4	7.5	6
	1.98	0,24	6.4	7.5	6
	1.98	0,28	6.4	7.5	6
	1.98	0,32	6.4	7.5	7

*pH optimo 7.5 unidades

**Dosis optima de coagulante 1.98 ppm

***Dosis optima de floculante 0.24 ppm

Anexo 4. 4. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O), PARA UNA TURBIEDAD ALTA (≈200 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (mL)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
210	1.56	0.6	6.2	4.0	1
	1.56	0,6	6.3	5.0	1
	1.56	0,6	6.3	6.0	0
	1.56	0,6	6.2	7.0	0
	1.56	0,6	6.3	8.0	4
	1.56	0,6	6.3	9.0	2
206	0.0	0,0	7.1	control	184
	1.56	0,6	6.4	6.5	2
	1.56	0,6	6.4	7.0	4
	1.56	0,6	6.4	7.5	5
	1.56	0,6	6.4	8.0	5
	1.56	0,6	6.3	8.5	7
197	1.56	0,6	6.1	7.0	0
	1.56	0,6	6.2	7.2	0
	1.56	0,6	6.2	7.4	2
	1.56	0,6	6.2	7.6	4
	1.56	0,6	6.2	7.8	3
	1.56	0,6	6.1	8.0	2
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
195	0,52	0.6	6.6	7.4	15
	1,04	0,6	6.6	7.4	3
	1,56	0,6	6.5	7.4	0
	2,08	0,6	6.4	7.4	3
	2,60	0,6	6.2	7.4	3
	3,12	0,6	5.9	7.4	2
199	control	0,0	7.2	7.2	182
	1,30	0,6	6.4	7.4	3
	1,56	0,6	6.4	7.4	4
	1,82	0,6	6.4	7.4	0
	2,08	0,6	6.4	7.4	3
	2,34	0,6	6.3	7.4	2

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 4.4

200	1,56	0,6	6.4	7.4	1

	1,66	0,6	6.4	7.4	3
	1,77	0,6	6.4	7.4	2
	1,87	0,6	6.3	7.4	0
	1,98	0,6	6.3	7.4	0
	2,08	0,6	6.3	7.4	3
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
203	1.87	0,2	6.3	7.4	4
	1.87	0,4	6.3	7.4	2
	1.87	0,6	6.3	7.4	2
	1.87	0,8	6.3	7.4	1
	1.87	1,0	6.3	7.4	3
	1.87	1,2	6.3	7.4	1
203	0.0	Control	7.1	7.1	180
	1.87	0,1	6.1	7.4	0
	1.87	0,2	6.2	7.4	0
	1.87	0,3	6.1	7.4	0
	1.87	0,4	6.2	7.4	0
	1.87	0,5	6.1	7.4	0
195	1.87	0,12	6.2	7.4	4
	1.87	0,16	6.2	7.4	6
	1.87	0,20	6.2	7.4	5
	1.87	0,24	6.2	7.4	3
	1.87	0,28	6.2	7.4	3
	1.87	0,32	6.2	7.4	4

*pH optimo 7.4 unidades

**Dosis optima de coagulante 1.87 ppm

***Dosis optima de floculante 0.28 ppm

Anexo 4. 5. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O), PARA UNA TURBIEDAD ALTA (≈300 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (mL)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
310	1.56	0.6	6.3	4.0	16
	1.56	0,6	6.4	5.0	8
	1.56	0,6	6.3	6.0	4
	1.56	0,6	6.3	7.0	5
	1.56	0,6	6.4	8.0	12
	1.56	0,6	6.3	9.0	21
310	0.0	0,0	7.1	control	276
	1.56	0,6	6.4	5.5	7
	1.56	0,6	6.4	6.0	5
	1.56	0,6	6.4	6.5	3
	1.56	0,6	6.4	7.0	5
	1.56	0,6	6.4	7.5	8
310	1.56	0,6	6.2	6.4	7
	1.56	0,6	6.2	6.6	6
	1.56	0,6	6.2	6.8	5
	1.56	0,6	6.2	7.0	4
	1.56	0,6	6.2	7.2	8
	1.56	0,6	6.2	7.4	10
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
295	0,52	0.6	6.6	7.0	21
	1,04	0,6	6.6	7.0	6
	1,56	0,6	6.5	7.0	4
	2,08	0,6	6.3	7.0	4
	2,60	0,6	6.1	7.0	4
	3,12	0,6	5.8	7.0	2
304	control	0,0	6.9	6.9	280
	1,56	0,6	6.2	7.0	5
	1,82	0,6	6.2	7.0	2
	2,08	0,6	6.2	7.0	4
	2,34	0,6	6.1	7.0	4
	2,60	0,6	6.0	7.0	3

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 4.5

310	1,77	0,6	6.3	7.0	0
	1,87	0,6	6.3	7.0	0

	1,98	0,6	6.2	7.0	0
	2,08	0,6	6.2	7.0	0
	2,18	0,6	6.2	7.0	0
	2,29	0,6	6.1	7.0	0
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
301	2.08	0,2	6.4	7.0	5
	2.08	0,4	6.4	7.0	1
	2.08	0,6	6.4	7.0	4
	2.08	0,8	6.5	7.0	3
	2.08	1,0	6.4	7.0	3
	2.08	1,2	6.3	7.0	3
295	0.0	Control	7.1	7.1	266
	2.08	0,2	6.3	7.0	5
	2.08	0,3	6.4	7.0	5
	2.08	0,4	6.4	7.0	3
	2.08	0,5	6.3	7.0	3
	2.08	0,6	6.3	7.0	3
311	2.08	0,28	6.4	7.0	5
	2.08	0,32	6.4	7.0	4
	2.08	0,36	6.4	7.0	3
	2.08	0,40	6.4	7.0	3
	2.08	0,44	6.4	7.0	2
	2.08	0,48	6.4	7.0	2

*pH optimo 7.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 2.08 ppm

***Dosis optima de floculante 0.36 ppm

ANEXO 5:

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS CON RESIDUO, RICO EN HIERRO, DE LA EMPRESA PROLEX S.A

Anexo 5. 1. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UN EN RESIDUO DE LA EMPRESA PROLEX S.A., RICO EN HIERRO, PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈10 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (ppm)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
12	0,75	0,8	4,3	5,0	5
	0,75	0,8	4,3	6,0	4
	0,75	0,8	4,3	7,0	3
	0,75	0,8	4,3	8,0	3
	0,75	0,8	4,3	9,0	6
	0,75	0,8	4,3	10,0	10
10	0,75	0,8	5,0	6,0	5
	0,75	0,8	5,0	6,5	4
	0,75	0,8	4,9	7,0	3
	0,75	0,8	5,0	7,5	4
	0,75	0,8	4,9	8,0	4
	0,00	0,0	7,0	7,0	9
12	0,75	0,8	4,9	6,4	4
	0,75	0,8	4,9	6,6	3
	0,75	0,8	4,9	6,8	2
	0,75	0,8	4,8	7,0	1
	0,75	0,8	4,9	7,2	1
	0,75	0,8	4,9	7,4	2
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
12	0,30	0,8	6,3	7,0	8
	0,45	0,8	6,0	7,0	6
	0,60	0,8	5,7	7,0	3
	0,75	0,8	5,2	7,0	2
	0,90	0,8	5,1	7,0	1
	1,05	0,8	4,9	7,0	1
11	0,37	0,8	6,1	7,0	7
	0,45	0,8	5,9	7,0	5
	0,52	0,8	5,8	7,0	3
	0,60	0,8	5,6	7,0	3
	0,67	0,8	5,3	7,0	2
	0,75	0,8	5,2	7,0	2

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 5.1

11	0,00	0,0	7,1	7,1	10
	0,52	0,8	5,8	7,0	3

	0,56	0,8	5,6	7,0	4
	0,60	0,8	5,2	7,0	1
	0,64	0,8	5,1	7,0	1
	0,67	0,8	4,9	7,0	2
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
10	0,60	0,2	5,6	7,0	1
	0,60	0,4	5,7	7,0	1
	0,60	0,6	5,7	7,0	2
	0,60	0,8	5,7	7,0	3
	0,60	1,0	5,7	7,0	4
	0,60	1,2	5,7	7,0	4
12	0,60	0,1	5,4	7,0	4
	0,60	0,2	5,4	7,0	1
	0,60	0,3	5,3	7,0	1
	0,60	0,4	5,4	7,0	2
	0,60	0,5	5,3	7,0	1
	0,00	0,6	7,1	7,0	10
11	0,60	0,12	5,5	7,0	2
	0,60	0,16	5,5	7,0	1
	0,60	0,20	5,5	7,0	1
	0,60	0,24	5,5	7,0	1
	0,60	0,28	5,5	7,0	2
	0,60	0,32	5,5	7,0	1

*pH optimo 7.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 0.6 ppm

***Dosis optima de floculante 0.2 pm

Anexo 5. 2. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UN EN RESIDUO DE LA EMPRESA PROLEX S.A., RICO EN HIERRO, PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈30 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (ppm)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
33	0,75	0,6	5,9	5,0	0
	0,75	0,6	5,9	6,0	0
	0,75	0,6	5,8	7,0	0
	0,75	0,6	5,8	8,0	0
	0,75	0,6	5,9	9,0	0
	0,75	0,6	5,9	10,0	0
30	0,00	0,0	7,0	7,0	25
	0,75	0,6	6,2	6,5	3
	0,75	0,6	6,2	7,0	3
	0,75	0,6	6,2	7,5	5
	0,75	0,6	6,2	8,0	9
	0,75	0,6	6,2	8,5	10
33	0,75	0,6	5,9	6,4	5
	0,75	0,6	5,9	6,6	6
	0,75	0,6	5,8	6,8	5
	0,75	0,6	5,9	7,0	10
	0,75	0,6	5,9	7,2	11
	0,75	0,6	5,9	7,4	13
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
33	0,30	0,6	6,8	7,0	18
	0,45	0,6	6,8	7,0	13
	0,60	0,6	6,7	7,0	3
	0,75	0,6	6,6	7,0	2
	0,90	0,6	6,5	7,0	3
	1,05	0,6	6,4	7,0	2
32	0,00	0,0	7,05	7,0	30
	0,45	0,6	6,6	7,0	22
	0,52	0,6	6,6	7,0	18
	0,60	0,6	6,6	7,0	10
	0,67	0,6	6,6	7,0	5
	0,75	0,6	6,6	7,0	4

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 5.2

31	0,60	0,6	6,9	7,0	10

	0,64	0,6	6,9	7,0	8
	0,67	0,6	6,8	7,0	5
	0,71	0,6	6,8	7,0	4
	0,75	0,6	6,8	7,0	3
	0,79	0,6	6,8	7,0	3
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
33	0,75	0,2	6,8	7,0	3
	0,75	0,4	6,8	7,0	5
	0,75	0,6	6,8	7,0	6
	0,75	0,8	6,8	7,0	8
	0,75	1,0	6,8	7,0	9
	0,75	1,2	6,8	7,0	9
32	0,75	0,1	6,6	7,0	20
	0,75	0,2	6,6	7,0	8
	0,75	0,3	6,6	7,0	4
	0,75	0,4	6,6	7,0	6
	0,75	0,5	6,6	7,0	8
	0,00	0,0	7,1	7,1	32
31	0,75	0,20	6,6	7,0	3
	0,75	0,24	6,7	7,0	4
	0,75	0,28	6,7	7,0	4
	0,75	0,32	6,7	7,0	3
	0,75	0,36	6,7	7,0	3
	0,75	0,40	6,9	7,0	4

*pH optimo 7.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 0.75 ppm

***Dosis optima de floculante 1.24 ppm

Anexo 5. 3. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UN EN RESIDUO DE LA EMPRESA PROLEX S.A., RICO EN HIERRO, PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈100 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (ppm)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
99	0,00	0,0	6,8	control	4
	1,11	0,8	6,8	5,5	3
	1,11	0,8	6,5	6,0	2
	1,11	0,8	6,7	6,5	0
	1,11	0,8	6,8	10,0	0
	1,11	0,8	6,8	10,5	0
107	1,11	0,8	6,9	6,5	5
	1,11	0,8	6,9	7,0	4
	1,11	0,8	6,9	7,5	4
	1,11	0,8	6,9	8,0	7
	1,11	0,8	6,8	8,5	7
	1,11	0,8	6,9	9,0	7
110	1,11	0,8	7,0	7,4	0
	1,11	0,8	6,9	7,6	0
	1,11	0,8	6,7	7,8	0
	1,11	0,8	6,7	8,0	2
	1,11	0,8	6,8	8,2	0
	1,11	0,8	6,7	8,4	5
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
103	0,22	0,8	7,2	7,5	71
	0,44	0,8	7,2	7,5	10
	0,67	0,8	7,2	7,5	3
	0,89	0,8	7,1	7,5	2
	1,11	0,8	7,0	7,5	2
	1,33	0,8	7,0	7,5	2
97	0,44	0,8	7,1	7,5	8
	0,56	0,8	7,1	7,5	7
	0,67	0,8	7,1	7,5	6
	0,78	0,8	7,1	7,5	4
	0,89	0,8	7,1	7,5	3
	1,00	0,8	7,0	7,5	5

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 5.3

94	0,00	0,8	7,5	7,5	85

	0,78	0,8	7,0	7,5	5
	0,83	0,8	7,0	7,5	6
	0,89	0,8	7,0	7,5	5
	0,94	0,8	7,0	7,5	4
	1,00	0,8	7,0	7,5	5
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
97	0,89	0,2	6,3	7,5	29
	0,89	0,4	6,3	7,5	20
	0,89	0,6	6,3	7,5	9
	0,89	0,8	6,3	7,5	10
	0,89	1,0	6,2	7,5	10
	0,89	1,2	6,3	7,5	14
98	0,89	0,1	6,2	7,5	5
	0,89	0,2	6,2	7,5	2
	0,89	0,3	6,3	7,5	3
	0,89	0,4	6,3	7,5	4
	0,89	0,5	6,4	7,5	3
	0,0	0,0	7,0	7,0	1
100	0,89	0,12	6,4	7,5	4
	0,89	0,16	6,5	7,5	4
	0,89	0,20	6,4	7,5	2
	0,89	0,24	6,4	7,5	1
	0,89	0,28	6,4	7,5	2
	0,89	0,32	6,4	7,5	2

*pH optimo 7.5 unidades

**Dosis optima de coagulante 0.89 ppm

***Dosis optima de floculante 0.24 pm

Anexo 5. 4. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UN EN RESIDUO DE LA EMPRESA PROLEX S.A., RICO EN HIERRO, PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈200 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (ppm)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
193	1,11	0,8	6,1	5,0	9
	1,11	0,8	6,1	6,0	42
	1,11	0,8	6,2	7,0	9
	1,11	0,8	6,2	8,0	6
	1,11	0,8	6,1	9,0	86
	1,11	0,8	6,1	10,0	69
205	0,00	0,0	6,9	6,9	183
	1,11	0,8	6,1	6,5	9
	1,11	0,8	6,2	7,0	16
	1,11	0,8	6,2	7,5	8
	1,11	0,8	6,1	8,0	10
	1,11	0,8	6,1	8,5	77
206	1,11	0,8	6,3	7,0	0
	1,11	0,8	6,3	7,2	0
	1,11	0,8	6,3	7,4	0
	1,11	0,8	6,3	7,6	1
	1,11	0,8	6,3	7,8	0
	1,11	0,8	6,3	8,0	3
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
192	0,44	0,8	6,4	7,0	12
	0,67	0,8	6,4	7,0	5
	0,89	0,8	6,4	7,0	4
	1,11	0,8	6,4	7,0	0
	1,33	0,8	6,3	7,0	0
	1,55	0,8	6,3	7,0	0
197	0,78	0,8	6,4	7,0	27
	0,89	0,8	6,4	7,0	13
	1,00	0,8	6,3	7,0	10
	1,11	0,8	6,3	7,0	6
	1,22	0,8	6,3	7,0	5
	1,33	0,8	6,3	7,0	6

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 5.4

197	0,00	0,0	6,8	6,8	152

	1,00	0,8	6,3	7,0	5
	1,05	0,8	6,3	7,0	4
	1,11	0,8	6,3	7,0	4
	1,17	0,8	6,3	7,0	4
	1,22	0,8	6,3	7,0	4
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
192	1,11	0,2	6,4	7,0	4
	1,11	0,4	6,4	7,0	4
	1,11	0,6	6,4	7,0	4
	1,11	0,8	6,4	7,0	4
	1,11	1,0	6,4	7,0	6
	1,11	1,2	6,4	7,0	6
199	0,00	0,0	6,7	7,0	170
	1,11	0,1	6,1	7,0	3
	1,11	0,2	6,2	7,0	4
	1,11	0,3	6,2	7,0	3
	1,11	0,4	6,1	7,0	2
	1,11	0,5	6,2	7,0	3
203	0,00	0,0	6,0	7,0	0
	1,11	0,32	6,0	7,0	0
	1,11	0,36	6,0	7,0	0
	1,11	0,40	6,0	7,0	0
	1,11	0,44	6,0	7,0	1
	1,11	0,48	6,0	7,0	2

*pH optimo 7.0 unidades

**Dosis optima de coagulante 1.11 ppm

***Dosis optima de floculante 0.40 ppm

Anexo 5. 5. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE UN EN RESIDUO DE LA EMPRESA PROLEX S.A., RICO EN HIERRO, PARA UNA TURBIEDAD BAJA (≈300 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (mL)	FLOCULANTE (ppm)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
294	1,12	0,8	6,7	5,0	0
	1,12	0,8	6,7	6,0	4
	1,12	0,8	6,7	7,0	6
	1,12	0,8	6,6	8,0	32
	1,12	0,8	6,7	9,0	52
	1,12	0,8	6,7	10,0	67
301	1,12	0,8	3,8	5,5	5
	1,12	0,8	3,7	6,0	4
	1,12	0,8	3,8	6,5	3
	1,12	0,8	3,8	7,0	7
	1,12	0,8	3,7	7,5	7
	0,00	0,0	7,1	8,0	270
299	1,12	0,8	3,8	6,0	4
	1,12	0,8	3,8	6,2	3
	1,12	0,8	3,9	6,4	2
	1,12	0,8	3,8	6,6	3
	1,12	0,8	3,9	6,8	4
	1,12	0,8	3,9	7,0	4
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA UNA SOLUCIÓN AL 0.25% DE CLORURO DE HIERRO (FECL3+6 H2O). **					
308	0,37	0,8	4,2	6,5	22
	0,60	0,8	3,5	6,5	8
	0,82	0,8	3,3	6,5	6
	1,05	0,8	3,0	6,5	3
	1,27	0,8	2,9	6,5	0
	1,50	0,8	2,8	6,5	0
302	0,90	0,8	4,1	6,5	8
	0,97	0,8	4,0	6,5	6
	1,05	0,8	3,7	6,5	2
	1,12	0,8	3,5	6,5	3
	1,20	0,8	3,2	6,5	3
	1,27	0,8	3,0	6,5	2

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 5.5

295	0,00	0,0	7,5	6,5	260

	1,05	0,8	3,5	6,5	3
	1,08	0,8	3,4	6,5	3
	1,12	0,8	3,2	6,5	2
	1,16	0,8	3,1	6,5	2
	1,20	0,8	3,0	6,5	2
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
292	1,12	0,2	3,8	6,5	3
	1,12	0,4	3,8	6,5	2
	1,12	0,6	3,8	6,5	1
	1,12	0,8	3,8	6,5	1
	1,12	1,0	3,9	6,5	0
	1,12	1,2	3,8	6,5	0
303	1,12	0,4	3,7	6,5	1
	1,12	0,5	3,7	6,5	1
	1,12	0,6	3,7	6,5	2
	1,12	0,7	3,7	6,5	3
	1,12	0,8	3,7	6,5	4
	0,00	0,0	7,0	6,5	248
298	1,12	0,48	3,8	6,5	2
	1,12	0,52	3,8	6,5	1
	1,12	0,56	3,8	6,5	2
	1,12	0,60	3,8	6,5	0
	1,12	0,64	3,8	6,5	2
	1,12	0,68	3,8	6,5	3

*pH optimo 6.5 unidades

**Dosis optima de coagulante 1.12 ppm

***Dosis optima de floculante 0.60 ppm

ANEXO 6:

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS UTILIZANDO COMO COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO PARA UNA MUESTRA DE AGUA TOMADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA CLOROX DE CENTROAMÉRICA S. A

Anexo 6. 1. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO PARA EL TRATAMIENTO DE UNA MUESTRA DE AGUA TOMADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTA DE LA EMPRESA CLOROX, CON UNA TURBIEDAD ALTA (≈275 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (PPM)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
265	0	0	9,4	9,4	265
	121,6	0,8	5,1	5,0	29
	121,6	0,8	5,8	6,0	9
	121,6	0,8	5,1	7,0	14
	121,6	0,8	5,2	8,0	19
	121,6	0,8	5,2	9,0	37
260	121,6	0,8	5,6	5,5	120
	121,6	0,8	5,6	6,0	100
	121,6	0,8	5,6	6,5	7
	121,6	0,8	5,6	7,0	5
	121,6	0,8	5,6	7,5	8
	121,6	0,8	5,7	8,0	49
266	0	0	9,4	9,4	266
	121,6	0,8	5,4	6,4	19
	121,6	0,8	5,5	6,7	7
	121,6	0,8	5,5	7,0	11
	121,6	0,8	5,4	7,3	10
	121,6	0,8	5,4	7,6	19
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA SULFATO DE ALUMINIO					
266	0,0	0,0	9,5	9,5	266
	20,3	1,0	7,9	7,0	260
	40,5	1,0	7,2	7,0	262
	81,1	1,0	6,0	7,0	308
	121,6	1,0	5,5	7,0	7
	162,2	1,0	4,8	7,0	8
257	0,0	1,0	9,2	9,2	257
	105,4	1,0	5,2	7,0	25
	113,5	1,0	5,3	7,0	9
	121,6	1,0	5,1	7,0	9
	129,7	1,0	5,0	7,0	4
	137,8	1,0	5,0	7,0	9

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 6.1

268	117,6	1,0	5,2	7,0	54
	121,6	1,0	5,2	7,0	26
	125,7	1,0	5,2	7,0	10
	129,7	1,0	5,1	7,0	6
	133,8	1,0	5,1	7,0	5
	137,8	1,0	5,1	7,0	9
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
280	0	0,0	9,2	9,2	280,0
	133,8	0,2	5,0	7,0	34
	133,8	0,4	5,0	7,0	48
	133,8	0,6	5,0	7,0	16
	133,8	0,8	5,0	7,0	30
	133,8	1,0	5,0	7,0	9
275	0,0	0,0	9,3	9,3	275
	133,8	0,8	4,8	7,0	9
	133,8	0,9	4,9	7,0	1
	133,8	1,0	4,9	7,0	0
	133,8	1,1	4,8	7,0	0
	133,8	1,2	4,8	7,0	2

*pH optimo 7,0 unidades

**Dosis optima de coagulante 133,8 ppm

***Dosis optima de floculante 1,0 ppm

ANEXO 7:

DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS UTILIZANDO COMO COAGULANTE UN RESIDUO RICO EN ALUMINIIO PARA UNA MUESTRA DE AGUA TOMADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA CLOROX DE CENTROAMÉRICA S. A

Anexo 7. 1. OPTIMIZACIÓN DEL pH Y LA DOSIS DE COAGULANTE Y FLOCULANTE OPTIMAS, UTILIZANDO COMO COAGULANTE EL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. FILTRADO, PARA EL TRATAMIENTO DE UNA MUESTRA DE AGUA TOMADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTA DE LA EMPRESA CLOROX, PARA UNA TURBIEDAD ALTA (≈275 FTU).

DETERMINACIÓN DEL pH ÓPTIMO *					
TURBIEDAD INICIAL (FTU)	COAGULANTE (PPM)	FLOCULANTE (PPM)	pHI	pHF	TURBIEDAD FINAL (FTU)
273	0	0	9,4	9,4	273
	624,0	1,0	10,2	5,0	193
	624,0	1,0	10,3	6,0	43
	624,0	1,0	10,3	7,0	12
	624,0	1,0	10,2	8,0	121
	624,0	1,0	10,4	9,0	120
256	0,0	0,0	9,2	9,2	256
	624,0	1,0	10,3	6,0	20
	624,0	1,0	10,2	6,5	22
	624,0	1,0	10,3	7,0	20
	624,0	1,0	10,3	7,5	32
	624,0	1,0	10,2	8,0	37
268	624,0	1,0	10,2	6,4	6
	624,0	1,0	10,3	6,7	7
	624,0	1,0	10,3	7,0	5
	624,0	1,0	10,2	7,3	6
	624,0	1,0	10,2	7,6	7
	0	0	9,2	9,2	268
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DEL RESIDUO DE LA INDUSTRIA EXTRALUM S.A. **					
263	312,0	1,0	10,0	6,5	>400
	468,0	1,0	10,0	6,5	>400
	624,0	1,0	10,4	6,5	30
	780,0	1,0	10,4	6,5	4
	936,0	1,0	10,5	6,5	5
	0,0	0,0	9,3	9,3	263
276	0,0	0,0	10,1	6,5	276
	624,0	1,0	10,0	6,5	35
	702,0	1,0	10,3	6,5	15
	780,0	1,0	10,4	6,5	5
	858,0	1,0	10,4	6,5	4
	936,0	1,0	9,3	9,3	4

Continua en la siguiente pagina.

Continuación del anexo 7.1

270	717,6	1,0	10,7	6,5	20

	748,8	1,0	10,7	6,5	8
	780,0	1,0	10,8	6,5	6
	811,2	1,0	10,9	6,5	4
	842,4	1,0	10,9	6,5	6
	873,6	1,0	11,0	6,5	6
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FLOCULANTE***					
270	0	0,0	9,2	9,2	270,0
	811,2	0,2	10,7	6,5	26
	811,2	0,6	10,7	6,5	11
	811,2	1,0	10,6	6,5	5
	811,2	1,4	10,6	6,5	6
	811,2	1,8	10,7	6,5	4
267	0,0	0,0	9,21	9,2	267
	811,2	1,5	10,8	6,5	7
	811,2	1,6	10,9	6,5	6
	811,2	1,7	10,8	6,5	7
	811,2	1,8	10,9	6,5	9
	811,2	1,9	10,9	6,5	7

*pH optimo 6,5 unidades

**Dosis optima de coagulante 811,2 ppm

***Dosis optima de floculante 1,6 ppm

ANEXO 8:

ANALISIS QUIMICOS

Anexo 8. 1: Análisis del hierro residual presente en las muestras de agua sintética tratadas con el residuo de la empresa Proles S.A. y de varios metales analizados al dicho residuo.

TEC

FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
(Fundación del Instituto Tecnológico de Costa Rica)

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
☎ (506) 591-5149 ó 550-2368, Fax: (506) 591-5147, Apartado 159-7050
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

INFORME DE RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA: AGUA TRATADA	**FECHA DE RECIBO**: 29-11-07
ESTADO DE LA MUESTRA: LIQUIDO	**FECHA INICIO ANALISIS**: 03-12-07
PROCEDENCIA: PROYECTO COAGULANTES	**FECHA DE INFORME**: 10-12-07
	Nº DE INFORME: 641107

OBJETIVO DEL ANÁLISIS: ☐ CONTROL ☑ EVALUACIÓN

ANÁLISIS	**RESULTADOS**						
	01	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**	**07**
Hierro (mg/L)	< 0,1	ND	ND	ND	ND	NA	--
Aluminio (mg/L)	--	--	--	--	--	(392 ± 30)	--
Arsénico (μg/L)	--	--	--	--	--	--	(14,5 ± 5,9)
Cadmio (mg/L)	--	--	--	--	--	--	< 0,09
Cobre (mg/L)	--	--	--	--	--	--	(9,32 ± 0,40)
Cromo (mg/L)	--	--	--	--	--	--	< 0,1
Níquel (mg/L)	--	--	--	--	--	--	(1,768 ± 0,054)
ULTIMA LINEA							

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. 1998 APHA-AWWA-WEF. Los análisis de Arsénico se realizaron por la técnica de Generación de Hidruros.

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el Cliente.

OBSERVACIONES:

Muestra 01: Agua tratada
Muestra 02: Agua Tratada
Muestra 03. Agua tratada
Muestra 04: Agua tratada
Muestra 05: Agua tratada
Muestra 06: Agua tratada
Muestra 07: Agua tratada

(±) La incertidumbre que se reporta, es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.
Límite de cuantificación: Aluminio: 0,8 mg/L, Cadmio: 0,09 mg/L, Cobre: 0,2 mg/L. Cromo: 0,1 mg/L. Hierro: 0,2 mg/L. Arsénico: 5 μg/L.

Prohibida su reproducción
Página 1 de 2
 # Informe 641107

Anexo 8. 2: Análisis del aluminio y el hierro residual en las muestras de agua sintética tratada con el residuo de la empresa Extralum S.A. y de varios metales analizados a dicho residuo.

FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
(Fundación del Instituto Tecnológico de Costa Rica)

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
☎ (506) 591-5149 ó 550-2368, Fax: (506) 591-5147, Apartado 159-7050
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

INFORME DE RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA RESIDUAL	**FECHA DE RECIBO:**	27-08-07
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDO	**FECHA INICIO ANALISIS:**	30-08-07
PROCEDENCIA:	PROYECTO ~~INMOVILIZACION~~ F6c	**FECHA DE INFORME:**	19-09-07
		Nº DE INFORME:	430807

OBJETIVO DEL ANÁLISIS: ☐ CONTROL ☑ EVALUACIÓN

ANÁLISIS	**RESULTADOS**					
	01	**02**	**03**	**04**	**05**	**06**
Aluminio (mg/L)	--	ND	ND	N.D.	N.D.	N.D.
Hierro (mg/L)	--	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Arsénico (µg/L)	(43 ± 9)	--	--	--	--	--
Cadmio (mg/L)	< 0,09	--	--	--	--	--
Cromo (mg/L)	(0,42 ± 0,13)	--	--	--	--	--
Plomo (mg/L)	(3,412 ± 0,087)	--	--	--	--	--
ULTIMA LINEA						

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. 1998 APHA-AWWA-WEF. Los análisis de Arsénico se realizaron por la técnica de Generación de Hidruros.

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el Cliente.

OBSERVACIONES:

Muestra 01: Agua residual # 1
Muestra 02: Agua residual # 2
Muestra 03: Agua residual # 3
Muestra 04: agua residual # 4
Muestra 05: agua residual # 5
Muestra 06: Agua residual # 6
N.D. No detectable
(±) La incertidumbre que se reporta, es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.
Límite de cuantificación: Cromo: 0,1 mg/L. Plomo: 0,2 mg/L. Arsénico 5 µg/L.
Los análisis de Arsénico los realizó el PhD Jaime Quesada.

Prohibida su reproducción

Uso exclusivo T

Anexo 8. 3: Análisis del aluminio presente en la muestras del residuo de la empresa Extralum S.A.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUIMICA
LABORATORIO DE UNIDAD DE SERVICIO A LA INDUSTRIA
Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio"
☎207-4470,207-4471 Facs. (506)253-5020
usi_ucr@yahoo.es

22 de junio del 2007

Informe de Análisis **N°223-07**

Nombre del solicitante: A Y A

Teléfono: 207-5048

Atención: Sra. Victoria Pacheco

Fecha de recepción: 05-06-07

Fecha de análisis: 19-06-07

Descripción de las muestras: muestra de agua ligeramente blanca.

Muestreado por: el cliente.

Método de análisis utilizado: Gravimetría

Resultados:

Contenido de aluminio total soluble expresado como Al_2O_3: (2,94±0,01) % m/m

Contenido de aluminio total soluble expresado como Al: (1,56±0,01) % m/m

Nota: la muestra fue filtrada a través de papel filtro whatman # 4 antes de proceder al análisis

Este informe no puede ser reproducido, parcial o totalmente, sin la aprobación escrita de este laboratorio.

Lic. Eduardo Obando F
Químico N.I. 543
Director del Laboratorio
Laboratorio de Servicios Analíticos

ESCUELA DE química UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Anexo 8. 4: Análisis del plata, mercurio y selenio presente en la muestras del residuo de la empresa Extralum S.A.

LAMBDA

RESULTADO DE ANALISIS # 164,033

--- **RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO** ---

FECHA: 5 DE OCTUBRE DEL 2007. **SOLICITANTE:** ITCR-ESCUELA DE QUIMICA.

ATENCION: LIC. MARICRUZ VARGAS.

MUESTRA: DESECHO DE EXTRALUM, S.A., FILTRADO 18/09/2007, RECIBIDO PARA SU ANALISIS QUIMICO EL DIA 2 DE OCTUBRE DEL 2007.

ANALISIS:	**RESULTADO:**
PLATA (COMO Ag)	0,010 mg/L
MERCURIO (COMO Hg)	0,0020 mg/L
SELENIO (COMO Se)	MENOR A 0,05 mg/L

OBSERVACIONES:

* METODO DE ENSAYO: MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA.

ALBERTO A. COTO GRIJALBA
N.I. CFQIQ 986

NOTAS: Refiérase al número de éste resultado para cualquier consulta.

Anexo 8.5: Análisis del hierro presente en la muestras del residuo de la empresa Extralum S.A.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Central Metropolitano

Control de Calidad de Materiales y Productos Químicos para tratamiento del Agua

Fecha	22/06/2007
Fecha de Recolección	15/06/2007
Tipo de muestra:	Desechos industriales de E
Recolectada por	ITCR
Solicitado por	ITCR
Localización(provincia)	
Procedencia de la muestra	Planta Extralum
Punto de recolección	
#Muestra:	1

Variables Físico-Químicos

Textura y color	
Gravedad específica	
%Humedad	
%Cloro disponible	
%Solubilidad en ácido clorhídrico 1:1	
%Materia insoluble	
%Aluminio total soluble como Al2O3	
Acidez (% Alúmina libre)	
%Hierro total soluble (Fe2O3)	2,63 ± 0,01
%Oxidos de Calcio (CaO)	
Pérdida de peso por lavado (%):	

Granulometría (Mallas U.S.A. Standard)

Retenido en tamiz #100 (%min)	
Pasa tamiz #4	
Pasa tamiz #10	
Pasa tamiz #35	

OBSERVACIONES

Máximo permitido en el sulfato de aluminio líquido = 1,00 mg/l

Colegio de Químicos y de Ingenieros Químicos
Lic. Victoria Pacheco S.
N. I. 416
Costa Rica

Químico Responsable
Firma y sello

Anexo 8.6: Análisis de distintos parámetros de calidad, para aguas potables, a la muestra de agua residual de la empresa Cloros de Centroamérica S.A.

FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
(Fundación del Instituto Tecnológico de Costa Rica)

TEC **CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)**
☎ (506) 591-5149 ó 550-2368, Fax: (506) 591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA: AGUA RESIDUAL	**FECHA DE MUESTREO:** 25-02-08
ESTADO DE LA MUESTRA: LIQUIDA	**FECHA INICIO ANÁLISIS** 25-02-08
PROCEDENCIA: PROYECTO FLOCULANTES	**FECHA DE INFORME:** 29-02-08
	Nº DE INFORME: 630208

OBJETIVO DEL ANÁLISIS: ☑ **CONTROL** ☐ **EVALUACIÓN**

ANALISIS	RESULTADOS 01
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(11752 ± 778)
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(322 ± 14)
Sólidos Totales (ml/L) **	(7166 ± 24)
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L) **	(20,00 ± 0,05)
Cloro residual (mg/L) *	(75,00 ± 0,05)
Conductividad (mS/cm) *	(6,03 ± 0,01)
----------Ultima línea----------	

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-01, PT-QUI-01-02, PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, basados en la 20th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 1998.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).
(**) Ensayo no acreditado.

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el Cliente

OBSERVACIONES:

Muestra 01: Entrada a la planta de tratamiento de la Empresa Clorox
ND: No detectable
Permiso Sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 605-06. Vence el 06-10-2011.
(±) La incertidumbre que se reporta, es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el momento y el día arriba indicado.

Noemy Quirós B.

REALIZADO POR: B.Q. NOEMY QUIROS BUSTOS
REGENTE QUIMICO

COLEGIO FEDERADO DE QUIMICOS Y DE INGENIEROS QUIMICOS
NOEMY MARIA QUIROS BUSTOS
N.I. 2258
B.Sch. en Química
COSTA RICA

Prohibida su reproducción
Página 1 de 1
Informe 630208

Uso exclusivo TEC

Anexo 8.7: Análisis de distintos parámetros de calidad, para aguas potables, a la muestra de agua residual de la empresa Cloros de Centroamérica S.A. después de su tratamiento con sulfato de aluminio o el residuo de la empresa Extralum S.A.

TEC

FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
(Fundación del Instituto Tecnológico de Costa Rica)

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
☎ (506) 591-5149 ó 550-2368, Fax: (506) 591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA RESIDUAL	**FECHA DE MUESTREO:**	28-02-08
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	**FECHA INICIO ANÁLISIS**	28-02-08
PROCEDENCIA:	PROYECTO FLOCULANTES	**FECHA DE INFORME:**	29-02-08
		Nº DE INFORME:	670208

OBJETIVO DEL ANÁLISIS: ☑ **CONTROL** ☐ **EVALUACIÓN**

ANALISIS	**RESULTADOS**			
	01	**02**	**03**	**04**
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	(2448 ± 152)	(2285 ± 140)	(2552 ± 140)	(2155 ± 132)
Sólidos Suspendidos totales (mg/L) *	(47,0 ± 6,8)	(55,0 ± 6,8)	(47,0 ± 6,8)	(81,5 ± 6,8)
Sólidos Totales (ml/L) **	(5051 ± 17)	(5117 ± 36)	(6311 ± 21)	(6072 ± 42)
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L) **	(17,00 ± 0,05)	(16,00 ± 0,05)	(18,00 ± 0,05)	(13,00 ± 0,05)
Cloro residual (mg/L) *	ND	ND	ND	ND
Conductividad (mS/cm) *	(7,05 ± 0,01)	(6,98 ± 0,01)	(8,33 ± 0,01)	(8,41 ± 0,01)
----------Ultima línea----------				

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) métodos código PT-QUI-01-01, PT-QUI-01-02, PT-QUI-01-03; PT-QUI-01-04, basados en la 20th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 1998.

(*) Ensayo acreditado en análisis químico y microbiológico de aguas potables y residuales ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).
(**) Ensayo no acreditado.

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el Cliente

OBSERVACIONES:

Muestra 01: Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox tratada con Sulfato de aluminio. Prueba 1
Muestra 02: Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox tratada con Sulfato de aluminio. Prueba 2
Muestra 03: Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox tratada con Residuo de empresa Extralum. Prueba 1
Muestra 04: Agua de Entrada a la planta de tratamiento de la empresa Clorox tratada con Residuo de empresa Extralum. Prueba 2
ND: No detectable
Permiso Sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 605-06. Vence el 06-10-2011.
(±) La incertidumbre que se reporta, es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.

Prohibida su reproducción
Página 1 de 2
Informe 670208

ANEXO 9:

DATOS EXPERIMENTALES PRUEBAS CON MOZOTE

Estandarización de pH para una turbiedad inicial de 10 FTU

Exp. 1: Variable pH = 4- 8 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,2	6,8	11	9
3	3	6,8	4,0	11	1
3	3	6,8	5,0	11	0
3	3	6,8	6,0	11	0
3	3	6,8	7,0	11	0
3	3	6,8	8,0	11	1

Exp. 2: Variable pH= 5,5-7,5 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,1	7,1	10	10
3	3	6,9	5,5	10	3
3	3	6,9	6,0	10	1
3	3	6,9	6,5	10	0
3	3	6,9	7,0	10	0
3	3	6,9	7,5	10	1

Exp. 3: Variable pH= 5,5-7,5 unidades (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,1	7,1	11	10
3	3	6,9	5,5	11	3
3	3	6,9	6,0	11	2
3	3	6,9	6,5	11	0
3	3	6,9	7,0	11	*2*
3	3	6,9	7,5	11	2

Exp. 4: Variable pH= 5,5-7,5 unidades (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,9	7,9	10	10
3	3	7,5	6,0	10	0
3	3	7,5	6,2	10	0
3	3	7,5	6,4	10	1

3	3	7,5	6,6	10	2
3	3	7,5	6,8	10	2
3	3	7,5	7,0	10	2

Estandarización de pH para una turbiedad inicial de 30 FTU

Exp. 1: Variable pH = 4- 8 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	6,4	6,4	28	28
3	3	5,2	4,0	28	5
3	3	5,2	5,0	28	5
3	3	5,2	6,0	28	2
3	3	5,2	7,0	28	2
3	3	5,2	8,0	28	2

Exp. 2: Variable pH= 6- 8 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	6,4	6,4	28	28
3	3	5,2	6,0	28	1
3	3	5,2	6,5	28	1
3	3	5,2	7,0	28	1
3	3	5,2	7,5	28	2
3	3	5,2	8,0	28	3

Exp. 3: Variable pH= 6- 8 unidades (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	6,4	6,4	31	31
3	3	5,2	6,0	31	0
3	3	5,2	6,5	31	0
3	3	5,2	7,0	31	0
3	3	5,2	7,5	31	0
3	3	5,2	8,0	31	4

Exp. 4: Variable pH= 5,6- 6,6 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,9	7,9	30	30
3	3	7,6	5,6	30	1
3	3	7,6	5,8	30	1
3	3	7,6	6,0	30	0
3	3	7,6	6,2	30	0
3	3	7,6	6,4	30	0
3	3	7,6	6,6	30	0

Exp. 5: Variable pH= 6,0- 7,0 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	8,0	8,0	30	30
3	3	7,8	6,0	30	0
3	3	7,8	6,2	30	1
3	3	7,8	6,4	30	1
3	3	7,8	6,6	30	3
3	3	7,8	6,8	30	3
3	3	7,8	7,0	30	3

Estandarización de pH para una turbiedad inicial de 100 FTU

Exp. 1: Variable pH = 4- 8 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	6,9	6,9	98	98
3	3	6,8	4,0	98	2
3	3	6,8	5,0	98	1
3	3	6,8	6,0	98	0
3	3	6,8	7,0	98	0
3	3	6,8	8,0	98	0

Exp. 2: Variable pH = 6- 8 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	6,9	6,9	96	96
3	3	6,8	6,0	96	2

3	3	6,8	6,5	96	2
3	3	6,8	7,0	96	2
3	3	6,8	7,5	96	4
3	3	6,8	8,0	96	7

Exp. 3: Variable pH = 5,5- 7,5 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	6,9	6,9	101	101
3	3	6,3	5,5	101	1
3	3	6,3	6,0	101	0
3	3	6,3	6,5	101	0
3	3	6,3	7,0	101	1
3	3	6,3	7,5	101	2

Exp. 4: Variable pH = 6,0- 7,0 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,9	7,9	101	101
3	3	7,6	6,0	101	0
3	3	7,6	6,2	101	0
3	3	7,6	6,4	101	2
3	3	7,6	6,6	101	3
3	3	7,6	6,8	101	3
3	3	7,6	7,0	101	3

Estandarización de pH para una turbiedad inicial de 200 FTU

Exp. 1: Variable pH = 4- 8 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	6,7	6,7	204	204
3	3	5,5	4,0	204	50

3	3	5,5	5,0	204	5
3	3	5,5	6,0	204	1
3	3	5,5	7,0	204	3
3	3	5,5	8,0	204	30

Exp. 2: Variable pH = 5,5- 7,5 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,6	7,6	207	207
3	3	7,4	5,5	207	3
3	3	7,4	6,0	207	1
3	3	7,4	6,5	207	3
3	3	7,4	7,0	207	6
3	3	7,4	7,5	207	11

Exp. 3: Variable pH = 5,5- 7,5 unidades (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,8	7,8	202	202
3	3	7,6	5,5	202	3
3	3	7,6	6,0	202	2
3	3	7,6	6,5	202	10
3	3	7,6	7,0	202	18
3	3	7,6	7,5	202	31

Exp. 4: Variable pH = 5,6- 6,4 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,7	7,7	198	198
3	3	7,1	5,6	198	3
3	3	7,1	5,8	198	2
3	3	7,1	6,0	198	0
3	3	7,1	6,2	198	1
3	3	7,1	6,4	198	1

Exp. 5: Variable pH = 5,8- 6,8 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,8	7,8	206	206

3	3	7,4	5,8	206	1
3	3	7,4	6,0	206	0
3	3	7,4	6,2	206	2
3	3	7,4	6,4	206	2
3	3	7,4	6,6	206	3
3	3	7,4	6,8	206	3

Estandarización de pH para una turbiedad inicial de 300 FTU

Exp. 1: Variable pH = 4- 8 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	6,8	6,8	296	296
3	3	6,7	4,0	296	44
3	3	6,7	5,0	296	20
3	3	6,7	6,0	296	11
3	3	6,7	7,0	296	13
3	3	6,7	8,0	296	17

Exp. 2: Variable pH = 5,5- 7,5 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,0	7,0	301	301
3	3	6,3	5,5	301	3
3	3	6,3	6,0	301	0
3	3	6,3	6,5	301	0
3	3	6,3	7,0	301	8
3	3	6,3	7,5	301	19

Exp. 3: Variable pH = 5,5- 7,5unidades (repetición de exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,0	7,0	300	300
3	3	6,2	5,5	300	4
3	3	6,2	6,0	300	0
3	3	6,2	6,5	300	3
3	3	6,2	7,0	300	11
3	3	6,2	7,5	300	24

Exp. 5: Variable pH = 6,0- 7,0 unidades

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	8,0	8,0	303	303
0	0	7,7	5,8	303	2
3	3	7,7	6,0	303	0
3	3	7,7	6,2	303	0

3	3	7,7	6,4	303	5
3	3	7,7	6,6	303	11
3	3	7,7	6,8	303	20

Estandarización del coagulante para una turbiedad inicial de 10 FTU

Exp. 1: Variable dosis de coagulante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,1	7,1	12	12
1,0	3,0	7,1	6,0	12	0
2,0	3,0	7,0	6,0	12	1
3,0	3,0	7,0	6,0	12	1
4,0	3,0	6,9	6,0	12	2
5,0	3,0	6,9	6,0	12	2

Exp. 2: Variable dosis de coagulante= 0,5- 2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,7	7,7	10	10
0,5	3,0	7,6	6,0	10	7
1,0	3,0	7,5	6,0	10	2
1,5	3,0	7,5	6,0	10	0
2,0	3,0	7,6	6,0	10	1
2,5	3,0	7,6	6,0	10	2

Exp. 3: Variable dosis de coagulante= 0,5- 2,5 ml (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,7	7,7	10	10
0,5	3,0	7,6	6,0	10	6
1,0	3,0	7,5	6,0	10	2
1,5	3,0	7,4	6,0	10	1
2,0	3,0	7,4	6,0	10	1
2,5	3,0	7,3	6,0	10	2

Estandarización del coagulante para una turbiedad inicial de 30 FTU

Exp. 1: Variable dosis de coagulante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,6	7,6	33	33
1,0	3,0	7,2	6,0	33	11
2,0	3,0	7,5	6,0	33	9
3,0	3,0	7,5	6,0	33	7
4,0	3,0	7,3	6,0	33	5
5,0	3,0	7,3	6,0	33	6

Exp. 2: Variable dosis de coagulante= 2- 4 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,1	7,1	34	34
2,0	3,0	6,4	6,0	34	0
2,5	3,0	3,4	6,0	34	0
3,0	3,0	6,3	6,0	34	0
3,5	3,0	6,3	6,0	34	0
4,0	3,0	6,2	6,0	34	2

Exp. 3: Variable dosis de coagulante= 0,5- 2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,0	7,0	32	32
0,5	3,0	6,8	6,0	32	10
1,0	3,0	6,8	6,0	32	4
1,5	3,0	6,7	6,0	32	0
2,0	3,0	6,6	6,0	32	0

2,5	3,0	6,5	6,0	32	0

Exp. 4: Variable dosis de coagulante= 0,5- 2,5 ml (repetición del exp. 3)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	8,0	8,0	32	32
0,5	3,0	7,9	6,0	32	7
1,0	3,0	7,8	6,0	32	2
1,5	3,0	7,8	6,0	32	1
2,0	3,0	7,7	6,0	32	1
2,5	3,0	7,7	6,0	32	2

Estandarización del coagulante para una turbiedad inicial de 100 FTU

Exp. 1: Variable dosis de coagulante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T.I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,3	7,3	108	108
1,0	3,0	7,2	6,0	108	22
2,0	3,0	7,2	6,0	108	9
3,0	3,0	7,1	6,0	108	4
4,0	3,0	7,0	6,0	108	1
5,0	3,0	7,0	6,0	108	2

Exp. 2: Variable dosis de coagulante= 2- 4 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,2	7,2	108	105
2,0	3,0	7,1	6,0	108	4
2,5	3,0	7,1	6,0	108	2
3,0	3,0	7,0	6,0	108	3
3,5	3,0	6,9	6,0	108	4
4,0	3,0	6,9	6,0	108	3

Exp. 3: Variable dosis de coagulante= 2- 4 ml (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,9	7,9	103	103
2,0	3,0	7,7	6,0	103	3
2,5	3,0	7,7	6,0	103	1
3,0	3,0	7,6	6,0	103	2
3,5	3,0	7,4	6,0	103	2
4,0	3,0	7,3	6,0	103	2

Estandarización del coagulante para una turbiedad inicial de 200 FTU

Exp. 1: Variable dosis de coagulante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T.I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0	6,7	6,7	208	208
1,0	3	6,3	6,0	208	0
2,0	3	6,2	6,0	208	2
3,0	3	5,9	6,0	208	1
4,0	3	5,5	6,0	208	0
5,0	3	4,9	6,0	208	0

Exp. 2: Variable dosis de coagulante= 1,5- 3,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0	6,7	6,7	198	198
1,5	3	6,5	6,0	198	7
2,0	3	6,5	6,0	198	3
2,5	3	6,4	6,0	198	0
3,0	3	6,4	6,0	198	0
3,5	3	6,3	6,0	198	0

Exp. 3: Variable dosis de coagulante= 1,5- 3,5 ml (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0	6,7	6,7	199	199
1,5	3	6,5	6,0	199	9
2,0	3	6,5	6,0	199	7
2,5	3	6,5	6,0	199	2
3,0	3	6,4	6,0	199	1
3,5	3	6,3	6,0	199	2

Exp. 4: Variable dosis de coagulante= 2,5- 4,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0	7,9	7,9	209	209
1,5	3	7,7	6,0	209	12

2,0	3	7,7	6,0	209	1
2,5	3	7,6	6,0	209	2
3,0	3	7,6	6,0	209	1
3,5	3	7,6	6,0	209	1

Estandarización del coagulante para una turbiedad inicial de 300 FTU

Exp. 1: Variable dosis de coagulante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	6,8	6,8	303	303
1,0	3,0	6,6	6,0	303	57
2,0	3,0	6,6	6,0	303	9
3,0	3,0	6,5	6,0	303	5
4,0	3,0	6,3	6,0	303	4
5,0	3,0	5,8	6,0	303	6

Exp. 2: Variable dosis de coagulante= 2,5- 4,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,1	7,1	304	304
2,5	3,0	6,6	6,0	304	4
3,0	3,0	6,5	6,0	304	3
3,5	3,0	6,4	6,0	304	2
4,0	3,0	6,3	6,0	304	1
4,5	3,0	6,2	6,0	304	5

Exp. 3: Variable dosis de coagulante= 2,5- 4,5 ml (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	8,0	8,0	302	302
2,5	3,0	7,8	6,0	302	5
3,0	3,0	7,7	6,0	302	4
3,5	3,0	7,6	6,0	302	2
4,0	3,0	7,5	6,0	302	0
4,5	3,0	7,4	6,0	302	4

Estandarización del polímero para una turbiedad inicial de 10 FTU

Exp. 1: Variable dosis de floculante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	6,7	6,7	10	10
1,5	1,0	6,5	6,0	10	2
1,5	2,0	6,5	6,0	10	1
1,5	3,0	6,5	6,0	10	2
1,5	4,0	6,5	6,0	10	2
1,5	5,0	6,5	6,0	10	6

Exp. 2: Variable dosis de floculante= 0,5- 2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F.(FTU)
0	0,0	7,8	7,8	10	10
1,5	0,5	7,6	6,0	10	1
1,5	1,0	7,6	6,0	10	0
1,5	1,5	7,6	6,0	10	0
1,5	2,0	7,6	6,0	10	5
1,5	2,5	7,6	6,0	10	4

Exp. 3: Variable dosis de floculante= 0,5- 2,5 ml (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	8,0	8,0	10	10
1,5	0,5	7,8	6,0	10	1
1,5	1,0	7,8	6,0	10	0
1,5	1,5	7,8	6,0	10	1
1,5	2,0	7,8	6,0	10	3
1,5	2,5	7,8	6,0	10	4

Estandarización del polímero para una turbiedad inicial de 30 FTU

Exp. 1: Variable dosis de floculante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,0	7,0	29	29
1,5	1,0	6,6	6,0	29	0
1,5	2,0	6,6	6,0	29	0
1,5	3,0	6,6	6,0	29	1
1,5	4,0	6,6	6,0	29	2
1,5	5,0	6,6	6,0	29	2

Exp. 2: Variable dosis de floculante= 0,5- 2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F.(FTU)
0	0,0	6,8	6,8	33	33
1,5	0,5	6,4	6,0	33	3
1,5	1,0	6,4	6,0	33	1
1,5	1,5	6,4	6,0	33	0
1,5	2,0	6,4	6,0	33	2
1,5	2,5	6,4	6,0	33	2

Exp. 3: Variable dosis de floculante= 0,5- 2,5 ml (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	8,0	8,0	30	30
1,5	0,5	7,8	6,0	30	3
1,5	1,0	7,8	6,0	30	0
1,5	1,5	7,8	6,0	30	0
1,5	2,0	7,8	6,0	30	1
1,5	2,5	7,8	6,0	30	1

Estandarización del polímero para una turbiedad inicial de 100 FTU

Exp. 1: Variable dosis de floculante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,2	7,2	108	108
2,5	1,0	6,9	6,0	108	15
2,5	2,0	6,9	6,0	108	9
2,5	3,0	6,9	6,0	108	5
2,5	4,0	6,9	6,0	108	4
2,5	5,0	6,9	6,0	108	6

Exp. 2: Variable dosis de floculante= 2- 4 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,3	7,3	108	108
2,5	2,0	7,1	6,0	108	4
2,5	2,5	7,1	6,0	108	2
2,5	3,0	7,1	6,0	108	1
2,5	3,5	7,1	6,0	108	3
2,5	4,0	7,1	6,0	108	4

Exp. 3: Variable dosis de floculante= 2- 4 ml (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,9	7,9	102	102
2,5	2,0	7,7	6,0	102	2
2,5	2,5	7,7	6,0	102	1
2,5	3,0	7,7	6,0	102	4
2,5	3,5	7,7	6,0	102	4
2,5	4,0	7,7	6,0	102	5

Estandarización del polímero para una turbiedad inicial de 200 FTU

Exp. 1: Variable dosis de floculante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,2	7,2	200	200
3,0	1,0	6,5	6,0	200	11
3,0	2,0	6,5	6,0	200	4
3,0	3,0	6,5	6,0	200	2
3,0	4,0	6,5	6,0	200	4
3,0	5,0	6,5	6,0	200	13

Exp. 2: Variable dosis de floculante= 1,5- 3,5ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,2	7,2	203	203
3,0	1,5	6,7	6,0	203	8
3,0	2,0	6,7	6,0	203	4
3,0	2,5	6,7	6,0	203	1
3,0	3,0	6,7	6,0	203	0
3,0	3,5	6,7	6,0	203	1

Exp. 3: Variable dosis de floculante= 1,5- 3,5ml (repetición del exp. 2)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,3	7,3	199	199
3,0	1,5	6,9	6,0	199	8
3,0	2,0	6,9	6,0	199	4
3,0	2,5	6,9	6,0	199	1
3,0	3,0	6,9	6,0	199	0
3,0	3,5	6,9	6,0	199	1

Estandarización del polímero para una turbiedad inicial de 300 FTU

Exp. 1: Variable dosis de floculante= 1- 5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	8,0	8,0	297	297
3,5	1,0	7,6	6,0	297	9
3,5	2,0	7,6	6,0	297	9
3,5	3,0	7,6	6,0	297	6
3,5	4,0	7,6	6,0	297	11
3,5	5,0	7,6	6,0	297	12

Exp. 2: Variable dosis de floculante= 1- 5 ml (repetición del exp. 1)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	8,0	8,0	298	298
3,5	1,0	7,6	6,0	298	3
3,5	2,0	7,6	6,0	298	2
3,5	3,0	7,6	6,0	298	0
3,5	4,0	7,6	6,0	298	2
3,5	5,0	7,6	6,0	298	4

Exp. 3: Variable dosis de floculante= 2- 4 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	8,0	8,0	296	296
3,5	2,0	7,6	6,0	296	2
3,5	2,5	7,6	6,0	296	1
3,5	3,0	7,6	6,0	296	1
3,5	3,5	7,6	6,0	296	3
3,5	4,0	7,6	6,0	296	5

Exp. 4: Variable dosis de floculante= 2- 4 ml (repetición del exp. 3)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	8,0	8,0	302	302
3,5	2,0	7,7	6,0	302	2
3,5	2,5	7,7	6,0	302	2
3,5	3,0	7,7	6,0	302	0
3,5	3,5	7,7	6,0	302	0
3,5	4,0	7,7	6,0	302	2

Exp. 5: Variable dosis de floculante= 2- 4 ml (repetición del exp. 3)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	8,0	8,0	298	298
3,5	2,0	7,7	6,0	298	3
3,5	2,5	7,7	6,0	298	1
3,5	3,0	7,7	6,0	298	0
3,5	3,5	7,7	6,0	298	1
3,5	4,0	7,7	6,0	298	2

Estandarización de mozote para una turbiedad inicial de 10 FTU

Exp. 1: Variable 1 ml de mozote a distintas diluciones (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,3	7,3	11	11
1,5	[ ] *	7,1	6,0	11	6
1,5	01:01	7,1	6,0	11	4
1,5	01:02	7,1	6,0	11	2
1,5	01:03	7,1	6,0	11	1
1,5	01:04	7,1	6,0	11	1
1,5	01:05	7,1	6,0	11	2

Exp. 2: Variable dosis de mozote solución 1:4= 1-6 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,2	7,2	11	11
1,5	1,0	6,9	6,0	11	4
1,5	2,0	6,9	6,0	11	6
1,5	3,0	6,9	6,0	11	6
1,5	4,0	6,9	6,0	11	9
1,5	5,0	6,9	6,0	11	10
1,5	6,0	6,9	6,0	11	10

Exp. 3: Variable dosis de mozote= 0,5-2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,1	7,1	10	10
1,5	0,5	6,8	6,0	10	0
1,5	1,0	6,8	6,0	10	1
1,5	1,5	6,8	6,0	10	2
1,5	2,0	6,8	6,0	10	3
1,5	2,5	6,8	6,0	10	3

Exp. 4: Variable dosis de mozote= 0,4-1,4 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)

0,0	0,0	7,1	7,1	10	10
1,5	0,4	6,9	6,0	10	1
1,5	0,6	6,9	6,0	10	1
1,5	0,8	6,9	6,0	10	0
1,5	1,0	6,9	6,0	10	2
1,5	1,2	6,9	6,0	10	2
1,5	1,4	6,9	6,0	10	2

Estandarización de mozote para una turbiedad inicial de 30 FTU

Exp. 1: Variable 1,5 ml de mozote a distintas diluciones (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,2	7,2	30	30
1,5	[ ]	7,1	6,0	30	9
1,5	01:01	7,1	6,0	30	5
1,5	01:02	7,1	6,0	30	5
1,5	01:03	7,1	6,0	30	3
1,5	01:04	7,1	6,0	30	2
1,5	01:05	7,1	6,0	30	2

Exp. 2: Variable dosis de mozote solución 1:4= 1-6 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,2	7,2	31	31
1,5	1,0	6,9	6,0	31	2
1,5	2,0	6,9	6,0	31	5
1,5	3,0	6,9	6,0	31	10
1,5	4,0	6,9	6,0	31	12
1,5	5,0	6,9	6,0	31	15
1,5	6,0	6,9	6,0	31	18

Exp. 3: Variable dosis de mozote= 0,5-2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,0	7,0	29	29
1,5	0,5	6,8	6,0	29	1
1,5	1,0	6,8	6,0	29	3
1,5	1,5	6,8	6,0	29	6
1,5	2,0	6,8	6,0	29	9
1,5	2,5	6,8	6,0	29	12

Exp. 4: Variable dosis de mozote= 0,4-1,4 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,0	7,0	29	29
1,5	0,4	6,8	6,0	29	2
1,5	0,6	6,8	6,0	29	3
1,5	0,8	6,8	6,0	29	4
1,5	1,0	6,8	6,0	29	7
1,5	1,2	6,8	6,0	29	9
1,5	1,4	6,8	6,0	29	10

Exp. 5: Variable dosis de mozote= 0,4-1,4 ml (repetición de exp. 4)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,0	7,0	31	31
1,5	0,4	6,8	6,0	31	1
1,5	0,6	6,8	6,0	31	1
1,5	0,8	6,8	6,0	31	2
1,5	1,0	6,8	6,0	31	3
1,5	1,2	6,8	6,0	31	5
1,5	1,4	6,8	6,0	31	4

Estandarización de mozote para una turbiedad inicial de 100 FTU

Exp. 1: Variable 2,0 ml de mozote a distintas diluciones (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)

0	0	7,1	7,1	103	103
2,5	[ ]	6,9	6,0	103	16
2,5	01:01	6,9	6,0	103	8
2,5	01:02	6,9	6,0	103	4
2,5	01:03	6,9	6,0	103	3
2,5	01:04	6,9	6,0	103	3
2,5	01:05	6,9	6,0	103	4

Exp. 2: Variable dosis de mozote solución 1:4= 1-6 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	6,9	6,9	98	98
2,5	1,0	6,7	6,0	98	9
2,5	2,0	6,7	6,0	98	7
2,5	3,0	6,7	6,0	98	10
2,5	4,0	6,7	6,0	98	9
2,5	5,0	6,7	6,0	98	11
2,5	6,0	6,7	6,0	98	13

Exp. 3: Variable dosis de mozote= 1,5-4,0 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	6,9	6,9	102	102
2,5	1,5	6,6	6,0	102	1
2,5	2,0	6,6	6,0	102	1
2,5	2,5	6,6	6,0	102	2
2,5	3,0	6,6	6,0	102	3
2,5	3,5	6,6	6,0	102	3
2,5	4,0	6,6	6,0	102	4

Exp. 4: Variable dosis de mozote= 0,5-2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	6,8	6,8	101	101
2,5	0,5	6,6	6,0	101	6
2,5	1,0	6,6	6,0	101	5
2,5	1,5	6,6	6,0	101	8
2,5	2,0	6,6	6,0	101	8
2,5	2,5	6,6	6,0	101	9

Exp. 5: Variable dosis de mozote= 0,5-2,5 ml (repetición del exp. 4)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,0	7,0	103	103
2,5	0,5	6,7	6,0	103	4
2,5	1,0	6,7	6,0	103	4
2,5	1,5	6,7	6,0	103	6
2,5	2,0	6,7	6,0	103	7
2,5	2,5	6,7	6,0	103	10
2,5	3,0	6,7	6,0	103	12

Estandarización de mozote para una turbiedad inicial de 200 FTU

Exp. 1: Variable 2,5 ml de mozote a distintas diluciones (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,2	7,2	201	201
3	[ ]	6,9	6,0	201	17
3	01:01	6,9	6,0	201	8
3	01:02	6,9	6,0	201	6
3	01:03	6,9	6,0	201	3
3	01:04	6,9	6,0	201	1
3	01:05	6,9	6,0	201	1

Exp. 2: Variable dosis de mozote solución 1:4= 1-6 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,4	7,4	203	203
3,0	1,0	6,9	6,0	203	4
3,0	2,0	6,9	6,0	203	6
3,0	3,0	6,9	6,0	203	8
3,0	4,0	6,9	6,0	203	9
3,0	5,0	6,9	6,0	203	9
3,0	6,0	6,9	6,0	203	13

Exp. 3: Variable dosis de mozote= 0,5-2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,2	7,2	203	203
3,0	0,5	6,8	6,0	203	4
3,0	1,0	6,8	6,0	203	5
3,0	1,5	6,8	6,0	203	6
3,0	2,0	6,8	6,0	203	8
3,0	2,5	6,8	6,0	203	8

Exp. 4: Variable dosis de mozote= 0,5-2,5 ml (repetición del exp. 3)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,2	7,2	205	205
3,0	0,5	6,5	6,0	205	3
3,0	1,0	6,5	6,0	205	2
3,0	1,5	6,5	6,0	205	3
3,0	2,0	6,5	6,0	205	4
3,0	2,5	6,5	6,0	205	5
3,0	2,5	6,5	6,0	205	5

Estandarización de mozote para una turbiedad inicial de 300 FTU

Exp. 1: Variable 3,0 ml de mozote a distintas diluciones (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 y 1:5)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0	7,3	7,3	304	304
3,5	[ ]	6,8	6,0	304	14
3,5	01:01	6,8	6,0	304	11
3,5	01:02	6,8	6,0	304	11
3,5	01:03	6,8	6,0	304	7
3,5	01:04	6,8	6,0	304	5
3,5	01:05	6,8	6,0	304	6

Exp. 2: Variable dosis de mozote solución 1:4= 1-6 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0,0	0,0	7,0	7,0	305	305
3,5	1,0	6,2	6,0	305	7
3,5	2,0	6,2	6,0	305	6
3,5	3,0	6,2	6,0	305	8
3,5	4,0	6,2	6,0	305	10
3,5	5,0	6,2	6,0	305	13
3,5	6,0	6,2	6,0	305	15

Exp. 3: Variable dosis de mozote= 0,5-2,5 ml

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	7,0	7,0	305	305
3,5	0,5	6,2	6,0	305	4
3,5	1,0	6,2	6,0	305	3
3,5	1,5	6,2	6,0	305	4
3,5	2,0	6,2	6,0	305	5
3,5	2,5	6,2	6,0	305	7

Exp. 4: Variable dosis de mozote= 0,5-2,5 ml (repetición del exp. 3)

Coa (ml)	Floc (ml)	pHi	pHf	T. I. (FTU)	T. F. (FTU)
0	0,0	6,9	6,9	303	303
3,5	0,5	6,0	6,0	303	3
3,5	1,0	6,0	6,0	303	4
3,5	1,5	6,0	6,0	303	4
3,5	2,0	6,0	6,0	303	3
3,5	2,5	6,0	6,0	303	5
3,5	2,5	6,0	6,0	303	7