

Mecanismo coagulación- floculación, utilizando alumbre comercial y alumbre preparado a partir de material de reciclaje. Comparación de la eficiencia. Universidad Metropolitana¹

Rosa María Rodríguez², Nancy Confortti³, Miguel Pérez⁴, Sashenka Suarez⁵, Daniela Lobo⁶

Resumen

Introducción: entre los factores que afectan la calidad de las aguas, se pueden citar, sólidos en suspensión, que pueden estar conformados por materia orgánica e inorgánica, dureza, pH, presencia de bacterias, coliformes, etc. **Objetivo:** establecer una comparación de la eficiencia de floculación, entre dos tipos de alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$): comercial y preparado a partir de material de reciclaje (papel de aluminio), utilizados como agente floculante, en el agua de entrada de la Universidad Metropolitana

(Caracas). **Materiales y Métodos:** se toman muestras de agua, ubicadas en diferentes puntos, dentro de la Universidad. Se caracterizan desde el punto de vista fisicoquímico. A continuación, se lleva a cabo el procedimiento de coagulación-floculación, comenzando con la determinación del punto isoeléctrico, que determinará el pH adecuado, donde se llevará a cabo el proceso. Se determina la concentración óptima del coagulante, necesaria para lograr la efectiva floculación. Los valores obtenidos, son respectivamente, 47 ppm para el alumbre comercial y 40 ppm para el sintetizado, a partir

¹ Artículo derivado de trabajo de investigación, llevado a cabo en la Escuela de Ingeniería Química. Universidad Metropolitana. Caracas. Venezuela

² Msc. Gerencia General en la Universidad Central de Venezuela. Licenciada en Química en la Universidad Central de Venezuela. Profesor titular en el Departamento de Química de la Universidad Metropolitana. Jefe del Departamento de Química de la Universidad Metropolitana. Correo: rrodriguez@unimet.edu.ve
ORCID: 0000-0002-1589-9392

³ Msc. Fisicoquímica, Université de Bourgogne, Francia; Licenciada en Química en la Universidad Simón Bolívar. Profesor Agregado en el Departamento de Química de la Universidad Metropolitana. Correo: nconfortti@unimet.edu.ve
ORCID: 0000-0002-3659-9057

⁴ Dr. en Fisicoquímica, Université de Bourgogne, Francia; Licenciado en Química en la Universidad Simón Bolívar. Profesor Titular en el Departamento de Energía y Automatización de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Metropolitana. Correo: mperez@unimet.edu.ve / ORCID: 0000-0002-8237-8538

⁵ Ingeniero Químico de la Universidad Metropolitana. Cursante del MBA en la Universidad Complutense de Madrid. Correo: sashenks@ucm.es / ORCID: 0000-0002-0950-5860

⁶ Ingeniero Químico de la Universidad Metropolitana. Ingeniero de línea del Departamento de Calidad en Sucesora Puig & Cía. Correo: danielacarolinalv@gmail.com / ORCID: 0000-0002-3650-4134

Autor para Correspondencia: Nancy Confortti: nconfortti@unimet.edu.ve

Recibido: 15/03/2021 Aceptado: 13/06/2022

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

de material de reciclaje. **Resultados:** después de haber aplicado los dos tipos de alumbre, se observó una mejora en el aspecto visual de las muestras (turbidez), en ambos casos. Involucró una reducción de la absorbancia (clarificación), en promedio, de 73 % con el alumbre comercial y 58 % para el obtenido a partir de material de reciclaje. Con respecto a la dureza, la disminución fue de 26 % y 27 % respectivamente y la disminución de la conductividad, del 70 % en ambos

casos. **Conclusiones:** de la investigación, se desprende la efectividad de ambos tipos de alumbre, como agente floculante. En ambos casos los resultados fueron similares, lo que podría conducir a un método de bajo costo si se sustituye el alumbre comercial por el alumbre preparado a partir de material de reciclaje.

Palabras claves: alumbre, coagulación-floculación, material de reciclaje.

Coagulation-flocculation mechanism using commercial alum and alum prepared from recycling material Efficiency comparison. Metropolitan University

Abstract

Introduction: among the factors that affect the quality of water, we can mention suspended solids, which can be made up of organic and inorganic matter, hardness, pH, presence of bacteria, coliforms, etc. **Objective:** establish a comparison of the flocculation efficiency between two types of alum ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$): commercial and prepared from recycling material (aluminum foil), used as a flocculating agent, in the inlet water of the Metropolitan University (Caracas). **Materials and Methodology:** water samples are taken, located at different points, within the University. They are characterized from the physicochemical point of view. Next, the coagulation-flocculation procedure is carried out, beginning with the determination of the isoelectric point, which will determine

the appropriate pH, where the process will be carried out. The optimum concentration of the coagulant, necessary to achieve effective flocculation, is determined. The values obtained are, respectively, 47 ppm for commercial alum and 40 ppm for synthesized alum, from recycled material. **Results:** after applying the two types of alum, an improvement in the visual appearance of the samples (turbidity) was observed in both cases. It involved a reduction in absorbance (clarification), on average, of 73 % with commercial alum and 58 % for that obtained from recycled material. Regarding hardness, the decrease was 26 % and 27 % respectively and the decrease in conductivity, 70 % in both cases. **Conclusions:** from the investigation, the effectiveness of both types of alum, as a flocculating agent, emerges. In both cases the results were similar, which could lead to a low-cost method if commercial alum is substituted for alum prepared from recycled material.

Keywords: alum, coagulation-flocculation, recycling material.

Mecanismo de coagulación-floculación, usando alúmen comercial e alúmen preparado de material de reciclagem. Comparação de eficiência. Universidade Metropolitana

Resumo

Introdução: dentre os fatores que afetam a qualidade da água, podemos citar os sólidos em suspensão, que podem ser compostos por matéria orgânica e inorgânica, dureza, pH, presença de bactérias, coliformes, etc. **Objetivo:** estabelecer uma comparação da eficiência de floculação entre dois tipos de alúmen ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$): comercial e preparado a partir de material reciclável (folha de alumínio), utilizado como agente floculante, na entrada de água da Universidade Metropolitana (Caracas). **Materiais e Métodos:** são coletadas amostras de água, localizadas em diferentes pontos, dentro da Universidade. Eles são caracterizados do ponto de vista físico-químico. Em seguida, é realizado o procedimento de coagulação-floculação, iniciando-se com a determinação do ponto isoelétrico, que

determinará o pH adequado, onde o processo será realizado. A concentração ideal do coagulante, necessária para obter uma floculação eficaz, é determinada. Os valores obtidos são, respectivamente, 47 ppm para alúmen comercial e 40 ppm para alúmen sintetizado, a partir de material reciclado.

Resultados: Após a aplicação dos dois tipos de alúmen, observou-se uma melhora no aspecto visual das amostras (turbidez) em ambos os casos. Envolveu uma redução de absorvância (clarificação), em média, de 73 % com alúmen comercial e 58 % para o obtido a partir de material reciclado. Em relação à dureza, a diminuição foi de 26 % e 27 % respectivamente e a diminuição da condutividade, 70 % em ambos os casos.

Conclusões: a partir da investigação, emerge a eficácia de ambos os tipos de alúmen, como agente floculante. Em ambos os casos os resultados foram semelhantes, o que pode levar a um método de baixo custo se o alúmen comercial for substituído por alúmen preparado a partir de material reciclado.

Palavras-chave: alúmen, coagulação-floculação, material reciclável.

Introducción

Los sólidos suspendidos, los cuales por su propia naturaleza son de composición altamente heterogénea, se componen de partículas lo suficientemente grandes, como para enturbiar el agua, adicional a ello, se pueden incluir a los sólidos disueltos, que pueden agregar color al agua, estos pueden ser estimados fácilmente, a través de medidas la conductividad eléctrica (STS. 2020)

Con relación al agua que surte a la Universidad Metropolitana, ésta proviene del Parque Nacional Waraira Repano (El Ávila) y es de tipo cruda, ya que no es sometida a ningún tipo de tratamiento hasta llegar al punto de almacenamiento de la institución, desde el cual, se distribuye el agua a todo el campus de la universidad para cubrir el consumo de una población de aproximadamente 4.500 personas. El Departamento de Planta Física de la universidad, de acuerdo

con información suministrada, Mendoza I. y Morón L. (Comunicación personal, 14 de enero, 2019), indica que el agua que transita por las tuberías que distribuyen el agua a la universidad, presenta cierta turbidez (cantidad de partículas en suspensión) y adicional a ello, en las mencionadas tuberías se observan incrustaciones y formación de depósitos blancos calcáreos. El procesamiento del agua cruda contempla un tratamiento fisicoquímico, conocido como coagulación y floculación, utilizando agentes coagulantes. Aquí, los más utilizados son los coagulantes metálicos, pues poseen la capacidad de actuar como coagulantes y floculantes y, cuando son disueltos, forman compuestos complejos hidratados. Un ejemplo de ellos es el sulfato de aluminio (alumbre)(Guzmán et al., 2013).

El proceso fisicoquímico que se llevará a cabo, coagulación-floculación, se define como la adición de sustancias químicas, para que las partículas y algunos contaminantes disueltos se aglutinan en partículas más grandes que se puedan retirar mediante procesos de remoción de sólidos (Dempsey, 2006) 3. Involucra la desestabilización de cargas en las partículas coloidales (entre 10^{-6} y 10^{-9} m) presentes en un sistema. Estas partículas están, por lo general, cargadas negativamente, debido a la presencia de grupos RCOO^- y OH^- . La carga negativa en la superficie causa repulsión entre las partículas, evitando la aglomeración y la formación de partículas más grandes que sedimentan fácilmente. En general, la coagulación es un proceso donde el potencial repulsivo de la doble capa eléctrica del coloide es reducido, de tal manera, que se

pueden producir micro-partículas. Estas micro-partículas chocan con otras y forman estructuras más grandes (flóculos) en el proceso de floculación (Matilainen et al., 2010). Este proceso, se lleva a cabo a un pH óptimo de coagulación, y que corresponde al punto isoeléctrico (Lorenzo-Acosta, 2006).

La remoción de turbidez y de organismos en los suministros de agua involucra la eliminación de impurezas que están cargadas negativamente a niveles de pH natural y han formado una dispersión estabilizada (Bolto, 1995). A través del uso de un agente floculante, (Restrepo, 2009), se promoverá la formación y precipitación de flóculos, los cuales, al ser posteriormente removidos, minimizará la cantidad de los sólidos en suspensión presentes en el sistema. Su aplicación incluye la remoción de especies químicas disueltas y eliminación de la turbiedad del agua; además, la coagulación/floculación es un paso fundamental en el proceso de tratamiento del agua, no solamente porque remueve las partículas responsables de la turbiedad producida por las partículas suspendidas (mayores a 10^{-6} m) y por el material coloidal, sino porque también remueve los microorganismos que, a menudo, se adhieren a las partículas (McCarthy y Zachara, 1989) (Antov et al., 2010) ; sin embargo, existen desventajas asociadas al uso de estos coagulantes, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodo y el hecho que afectan significativamente el pH del agua tratada (Yin, 2010) (Haaroff y Cleasby 1988).

Al implementar correctamente el mecanismo de coagulación-floculación (Andía, 2000), (Rodríguez M. et al., 2007)

para la mejora de la calidad del agua, se garantiza el cumplimiento, por parte de la institución, de los requisitos establecidos a nivel nacional (Gaceta Oficial N° 36.395).

En el presente estudio, no se maneja el aspecto de calidad del agua, desde el punto de vista bacteriológico, solo se tratará de comparar el mecanismo de coagulación-floculación con dos tipos de coagulante, alumbre: comercial y preparado a partir de material de reciclaje, como una alternativa para mejorar la calidad de las aguas de entrada de la Universidad Metropolitana y que redundaría en reducción de costos y en una contribución con el ambiente.

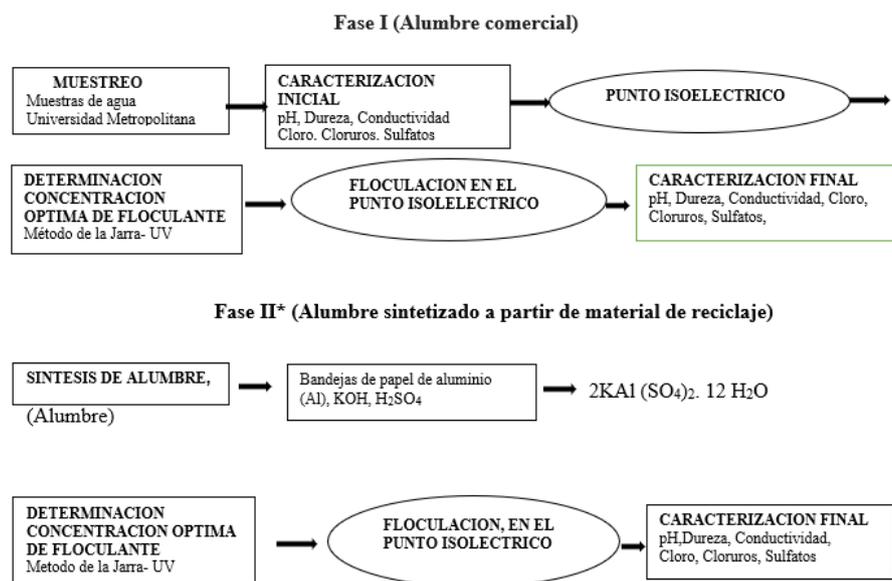
El material de reciclaje seleccionado está constituido por bandejas de papel de aluminio utilizadas como recipientes colectores de

alimentos. Pudo ser utilizado también latas de refrescos, solo, que en este caso habría que llevar a cabo un procedimiento adicional para eliminar las capas de esmalte, algo que no se hace necesario, en el caso de las bandejas, ya que se pueden utilizar directamente, después del proceso del acondicionamiento (lavado, secado, cortado).

Materiales y métodos

Procedimiento experimental

El procedimiento experimental consta de dos fases: **Fase I** (referida al alumbre comercial) y **Fase II** (referida al alumbre sintetizado a partir de material de reciclaje). Como se muestra en la Figura 1



(*) Las muestras de agua utilizadas tanto en la Fase I como en la Fase II, son de la misma procedencia.

Figura 1. Esquema del procedimiento experimental

Fuente: Elaboración propia

Fase I

Muestreo

Las muestras se tomaron en diferentes puntos de la Universidad: Zona de aulas (Cendeco), Biblioteca y zona de laboratorios (Corimón). El agua cruda que se suministra en la Universidad Metropolitana proviene del Parque Nacional Waraira Repano (El Ávila) y se almacena en un tanque principal cuya capacidad es de un millón de litros (1.000.000 L.), desde el cual se hace la distribución. La red de distribución tiene una antigüedad de más de 30 años y está conformada por tuberías de hierro galvanizado de un diámetro aproximado de 2 a 3 pulgadas. Indicado por L. Morón (Comunicación personal, 14 enero, 2019).

La cantidad mínima requerida para el análisis de muestras instantáneas es de 1 a 2 L (COVENIN 2709:2002, 2002). En función de esto, la muestra de estudio estuvo constituida por la toma de 1,5 L. de volumen de agua; su recolección constó de dos muestras por cada punto de captación (Cendeco, Biblioteca y Corimón). Los envases con las respectivas muestras se etiquetaron y resguardaron refrigeradas a una temperatura de 7 °C aproximadamente para evitar la formación de microorganismos.

Reactivos y equipos utilizados en la caracterización inicial de las muestras de agua.

En la Tabla 1, se muestran las propiedades evaluadas al agua cruda, junto con los equipos, técnicas y reactivos utilizados en cada caso.

Tabla 1. Propiedades evaluadas en el agua cruda

Propiedad	Instrumentos, reactivos, Técnica
pH	pHmetro y electrodo de vidrio, Marca: Hanna Instruments, modelo HI 8424 ($\pm 0,01$)
Dureza (Rodríguez, 2014)	Titulación volumétrica, utilizando EDTA, solución amortiguadora (pH=10) y el indicador Negro de EriocromoT
Conductividad	Conductímetro con su respectivo electrodo, Marca Hanna Instruments, Modelo: HI 8033 ($\pm 1\%$)
Cloro	Reactivo O-Tolidina (3,3'-dimetilbencidina) como indicador y el dispositivo de escala Hellige, Modelo N° 605-HT
Cloruros	Identificación cualitativa, utilizando una plancha de calentamiento con agitación magnética, marca: Corning, Marca: Corning, modelo PC-420 y soluciones de HNO ₃ 1M y AgNO ₃ 0,1M
Sulfatos	Identificación cualitativa con HCl 1M y BaCl ₂ 0,01M

Fuente: Elaboración propia

Punto isoeléctrico y determinación de la concentración óptima de agente floculante. proceso de coagulación-floculación en el punto isoeléctrico.

Estos procedimientos se aplicaron tanto para el alumbre comercial (Riedel-de Haen®),

como para el alumbre sintetizado a partir de material de reciclaje.

En la Tabla 2 se muestran los instrumentos, reactivos y técnica utilizados para la evaluación de estos parámetros.

Tabla 2. Parámetros evaluados. Instrumentos, reactivos, técnica

Parámetro	Instrumentos, Reactivos, Técnica
Punto Isoeléctrico (Lorenzo-Acosta, 2006)	Potenciómetro Marca: Metrohm. Modalidad dual (pH y eH) ($\pm 0,01$) Reactivos HCl 1M
Concentración óptima de agente floculante (Escudero, 2016) (Cogollo, 2011)	Método de la Jarra (ASTM D2035-13): Alumbre comercial: $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (Riedel-de Haen), material de vidrio, plancha con agitación magnética, Marca Corning, modelo PC-420, cronómetro ($\pm 0,005$ s)
Proceso de coagulación-floculación (Cogollo, 2011) (Escudero, 2016)	UV-visible: Espectrofotómetro Marca Fisher, modelo 4001/4 Thermo Scientific (Genesys 20). Longitud de onda 575 nm

Fuente. Elaboración propia

Concentración óptima de agente floculante y Proceso de coagulación-floculación en el punto Isoeléctrico

Para establecer la concentración óptima de agente floculante, se siguió el Método de la Jarra (ASTM D2035-13), combinándolo con medidas de absorbancias (UV visible), pues hay una relación numérica entre la densidad de la luz que incide sobre la muestra y la intensidad de la misma luz, que sale de la muestra. (Molano y Iannacone, 2018). Se realizó un barrido espectral utilizando el espectrofotómetro GENESYS. La longitud de onda arrojada fue de 575 nm. Se escogió un rango de trabajo entre 20 y 80 ppm.

Después de haber establecido el punto isoeléctrico, se midió la absorbancia inicial (antes de agregar el agente floculante) en el Espectrofotómetro a 575 nm. Luego a cada solución se le agregó el agente floculante, se colocó en la plancha con agitación magnética y se agitó en marcha rápida durante 3 minutos, seguidamente se continuó agitando en marcha lenta durante 12 minutos y se dejó reposar durante 1 hora. El tiempo se midió con cronómetro). Se determinó la absorbancia final, del sobrenadante, con el espectrofotómetro a 575 nm.

Caracterización final.

Posteriormente, después del proceso de coagulación floculación, cada solución se caracterizó nuevamente en función de dureza, conductividad, cloro, cloruros y sulfatos.

Fase II

Síntesis del alumbre, a partir de material de reciclaje

Se pesaron en una balanza Ohaus ($\pm 0,01g$) tiras de bandejas de papel de aluminio, en un rango de 0,90 g a 1,20 g. Se utilizaron KOH 2,8 M, H_2SO_4 6M y etanol (pa), como reactivos y rojo de metilo, como indicador (Gonzalez et al., 2018). La reacción (1), se muestra a continuación:



Los siguientes pasos (**Fase II**), fueron los mismos que para la **Fase I**, (ya mencionado anteriormente).

Resultados-Discusión

Fase I

Es de destacar, que las mediciones se realizaron por triplicado y lo que se muestra es el promedio de estas.

En la Tabla 3, se muestran los valores de caracterización inicial, para las muestras de agua cruda, de Cendeco, Biblioteca y Corimón.

Tabla 3. Valores de caracterización inicial, obtenidos para las muestras de agua cruda

Muestra	pH $\pm 0,01$	Dureza (mg/L) $\pm 0,02$	Conductividad $\mu s \pm 25$	Cloro	Cloruros	Sulfatos
Cendeco	7,28	80,07	467	No	Si	Si
Biblioteca	7,36	100,09	738	No	Si	Si
Corimón	6,99	90,04	543	No	Si	Si

Fuente: Elaboración propia

Los valores del pH podrían explicar la formación de incrustaciones de carbonatos en las tuberías mencionadas por Morón L. (Comunicación personal, 14 de enero de 2019).

Que un agua sea finalmente ligeramente básica, como es lo habitual en un agua natural, se debe básicamente a la existencia de carbonatos-bicarbonatos, provenientes de lixiviación de rocas calizas (parte del carbonato que contienen, puede pasar al agua, aumentando de forma natural el pH hasta rangos ligeramente alcalinos (Eyre, B.D. 2014) Los valores de pH obtenidos, corroboran esta afirmación.

En el caso del agua de entrada de la Universidad Metropolitana, esta proviene de acuíferos naturales del Parque Nacional Waraira Repano, por lo que es viable su tránsito a través de rocas calizas.

Al establecer una comparación entre la Gaceta Oficial N° 36.395 y los resultados obtenidos en este apartado; se pudo determinar que las muestras de agua analizadas (Cendeco, Corimón y Biblioteca) están dentro del rango de pH óptimo según la normativa (pH = 6,5–pH = 8,5), para este tipo de agua.

En cuanto a los resultados obtenidos, para la dureza, se puede decir que todas las muestras están en el rango de clasificación de agua poco dura, (76-150 mg/L en CaCO₃) tal como se muestra en la tabla 4. Al establecer una comparación con la Gaceta Oficial N° 36.395 y los resultados que se obtuvieron antes de la aplicación de la técnica de coagulación-floculación, se observa que el valor de dureza obtenido para las tres muestras analizadas estaba dentro de los

parámetros o rangos establecidos como permitidos, para este tipo de agua, donde la concentración de carbonato de calcio (CaCO₃) debe ser menor a 250 mg/L.

A continuación, se muestra en la Tabla 4 de clasificación de agua, en función de la dureza.

Tabla 4. Clasificación del grado de dureza del agua

Concentración de CaCO ₃ (mg/L)	Grado de dureza
0-75	Suave o blanda
76-150	Poco dura
151-300	Dura

Fuente: Elaboración propia

Con relación a la conductividad, se puede observar que en el caso de la muestra de tomada en la zona de la Biblioteca, este valor es más alto, esto puede estar, en principio, correlacionado con el valor de dureza asociada a esta muestra (es el mayor valor) y adicional a ello el trayecto recorrido para distribución por las tuberías es más largo en comparación al de las muestras de agua de Corimón y Cendeco, como se puede apreciar en la Figura 2, (Briceño y Olano, 2006), por lo que su impacto en el deterioro interno de dichas tuberías pudo haber sido mayor al de las otras muestras, y podría haber proporcionado iones adicionales a la muestra de agua evaluada.



Figura 2. Plano de distribución de aguas en la Universidad Metropolitana

Fuente: Suministrado por Gerencia de Planta Física. Universidad Metropolitana

Con relación al cloro, no se observa su presencia, debido a que al ser agua cruda y provenir de una fuente natural (Parque Nacional Waraira Repano), no se lleva a cabo el proceso de cloración, entra directamente

al tanque y se distribuye por las tuberías. Si el proceso de cloración se hubiese llevado a cabo, la reacción (2) que se originaría sería la siguiente, en la que se indica la formación del cloro activo (Cl₂):



Con respecto a sulfatos y cloruros, hay presencia de ambos en las tres muestras de agua analizadas (Cendeco, Biblioteca y Corimón). Era lo esperado, dada la procedencia del agua. No se realizó la determinación cuantitativa, por no ser el objetivo del presente estudio.

Con respecto al Punto Isoeléctrico y concentración óptima de agente floculante comercial, los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de pH (punto isoeléctrico) y concentración óptima de floculante (alumbre comercial)

Muestra	Concentración óptima de floculante (ppm)	Punto Isoeléctrico (pH)	Absorbancia inicial	Absorbancia final	% Reducción Absorbancia
Cendeco	60	6,92	0,038	0,0190	50
Biblioteca	20	6,90	0,143	0,0160	89
Corimón	60	6,90	0,215	0,0460	79

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3, se muestra el comportamiento del pH, para la determinación del Punto Isoeléctrico (en las tres muestras, el comportamiento es similar).

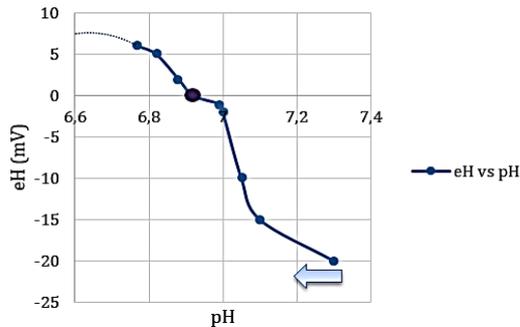


Figura 3. pH del Punto isoeléctrico

Fuente: Elaboración propia

Por el método de la Jarra, se determinó que la concentración óptima de floculante

era de 60 ppm para las muestras de Cendeco y Corimón y 20 ppm, para las muestras de la Biblioteca. Estos valores fueron corroborados, a través de las medidas de absorbancia por UV visible. Esta metodología, también puede asociarse a procesos de evaluación de clarificación del agua (Escudero, 2016) (Cogollo, 2011) (Molano y Iannaconte, 2018). El promedio de reducción en la absorbancia, para las tres muestras de agua, corresponde a 73 % aproximadamente y el promedio de la concentración óptima de floculante sería de 47 ppm. En la Figura 4, se muestra el comportamiento de la muestra de Cendeco, (En las tres muestras, el comportamiento es similar), en función de la Absorbancia obtenida inicialmente (antes de agregar el agente floculante comercial) y la Absorbancia obtenida finalmente (después de agregar el agente floculante comercial).

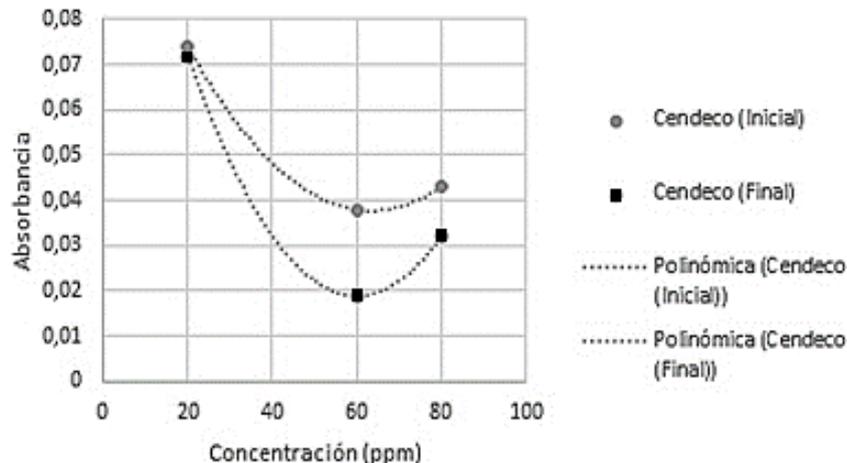


Figura 4. Absorbancia en función de concentración de alumbre comercial. Cendeco

Fuente: Elaboración propia

En este estudio se utilizaron estos dos métodos, para corroborar la concentración óptima del agente floculante, en el punto isoeléctrico. Hay autores (Restrepo, 2009) que utilizan valores de concentración y turbiedad relacionados con el potencial Z y, por ende, con el punto isoeléctrico. En este estudio se sustituyó por el método de evaluación de Absorbancias (UV-visible),

utilizado como método de evaluación para la clarificación de aguas (Escudero, 2016), pues también se pueden relacionar con la turbidez. (Molano y Iannaconte, 2018). Es posible que los resultados, sean correlativos. No se disponía de un nefelómetro.

En la Tabla 6 se muestran los valores de los parámetros de caracterización final.

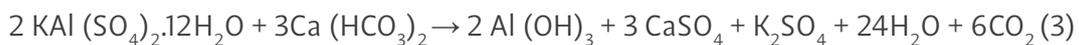
Tabla 6. Valores de caracterización final, obtenidos para muestras de agua, utilizando alumbre comercial

Muestra	Dureza (mg/L) ± 0,02	% Reducción de la dureza	Conductividad µs ± 25	% Reducción Conductividad	Cloro	Cloruros	Sulfatos
Cendeco	60,05	25	242	48	No	Si (leve)	Si (leve)
Biblioteca	68,06	32	96	87	No	Si (leve)	Si (leve)
Corimón	72,07	20	133	76	No	Si (leve)	Si (leve)

Fuente: Elaboración propia

En los tres tipos de muestras se observa una disminución sustancial en cuanto a la conductividad en un 70 % en promedio, aproximadamente y en cuanto a la dureza en un 26 % en promedio, aproximadamente,

quedando ésta, en el rango de suave o blanda. Una posible reacción (3) entre el agente floculante y una sal de calcio puede ser la siguiente:



En cuanto a la presencia de cloruros y sulfatos, lo que se observaba era una turbidez, sin llegar a consolidarse el precipitado, en el fondo del recipiente, a diferencia de las muestras sin tratamiento de floculación, donde se formaba un precipitado abundante y rápidamente que se asentaba en el fondo del recipiente. Adicionalmente, se observó

una mejora en el aspecto visual (clarificación) de los tres tipos de muestras.

Fase II

En las Tablas 7 y 8, se muestran los mismos parámetros evaluados a través del proceso de floculación con alumbre preparado a partir de material de reciclaje.

Tabla 7. Valores de pH (punto isoeléctrico) y concentración óptima de floculante (alumbre preparado a partir de material de reciclaje)

Muestra	Concentración óptima de floculante (ppm)	Punto Isoeléctrico (pH)	Absorbancia inicial	Absorbancia final	% Reducción Absorbancia
Cendeco	40	6,92	0,155	0,022	85,8
Biblioteca	20	6,90	0,179	0,084	53
Corimón	60	6,90	0,187	0,123	34

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que se mantiene la concentración óptima de floculante, en 20 y 60 ppm, para los casos de las muestras de Biblioteca y Corimón, mientras que en el caso de Cendeco disminuye hasta 40 ppm. El promedio de la concentración óptima, para las tres muestras, sería 40 ppm.

Tabla 8. Valores de caracterización final, obtenidos para muestras de agua floculadas con alumbre preparado a partir de material de reciclaje

Muestra	Dureza (mg/L) ± 0,02	% Reducción de la dureza	Conductividad µs± 25	% Reducción Conductividad	Cloro	Cloruros	Sulfatos
Cendeco	60,05	25	94	80	No	Si (leve)	Si(leve)
Biblioteca	64,06	36	169	77	No	Si (leve)	Si (leve)
Corimón	72,07	20	247	54	No	Si (leve)	Si (leve)

Fuente: Elaboración propia

Al igual, que, en el caso del proceso con alumbre comercial, en este caso (alumbre sintetizado, a partir de material de reciclaje), se observó una mejora en el aspecto visual de los tres tipos de muestras (clarificación), lo cual se puede observar en la reducción de la absorbancia, siendo esta del 58 % en promedio. En el caso de la dureza, la reducción fue 27 % en promedio, aproximadamente.

Con respecto a la conductividad, se redujo en un 70 % en promedio, aproximadamente.

En la Figura 5 se muestran los valores del comportamiento de absorbancia, en función de las concentraciones, para la muestra de Cendeco, (En las tres muestras, el comportamiento es similar).

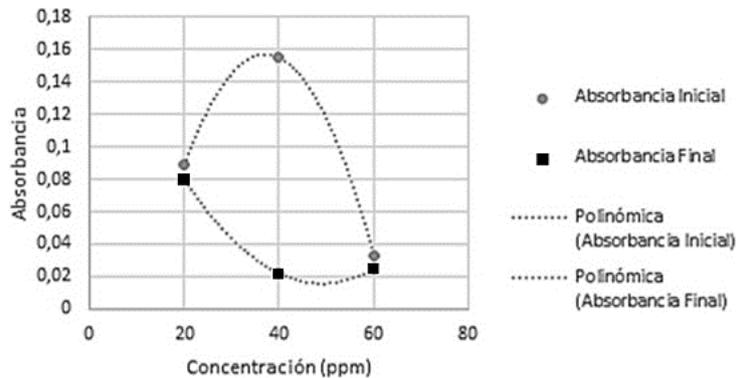


Figura 5. Absorbancia en función de concentración del floculante sintetizado. Cendeco

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra en la Tabla 9 un resumen de los valores obtenidos, para los parámetros evaluados con los dos tipos de alumbre, comercial y sintetizado a partir de material de reciclaje.

Tabla 9. Valores comparativos entre Alumbre comercial y Alumbre sintetizado a partir de material de reciclaje

Tipo de Alumbre	Concentración óptima de floculante. ppm (promedio)	Promedio de % Reducción Conductividad	Promedio de % Reducción Dureza	Promedio de % Reducción Absorbancia
Comercial	47	70	26	73
Sintetizado	40	70	27	58

Fuente: Elaboración propia

De todo lo anteriormente expuesto, se puede inferir que el alumbre preparado a partir de material de reciclaje funciona prácticamente igual al alumbre comercial.

Con el uso de ambos tipos de alumbre se observó una mejora en el aspecto visual de los tres tipos de muestras (clarificación), lo cual se explica en función de la reducción de la absorbancia, sin embargo, quizás

después del proceso de síntesis del alumbre comercial, queden algunas impurezas, que puedan provenir del material precursor (papel de aluminio) lo cual podría afectar en algunos valores, como, por ejemplo, los de la absorbancia. Esto podría mejorarse en el proceso de purificación del alumbre obtenido a partir de la síntesis. Finalmente, también se visualiza una disminución de la dureza, similar con ambos tipos de alumbre.

Este proceso podría aplicarse previamente al agua cruda, antes de su entrada al tanque, de manera que, al ser posteriormente, distribuida a través de las tuberías de la Universidad Metropolitana de Caracas, se minimicen, por ejemplo, procesos de incrustaciones calcáreas en las mismas y presencia de sólidos en suspensión.

Por otra parte, sería interesante promover un tipo de software como el Super Pro Designer – ZelioSoft para, en un futuro, manejar los procesos involucrados en la mejora de la calidad del agua de la Universidad Metropolitana (Díaz, 2019).

Conclusiones

- El proceso coagulación-floculación aplicado a las muestras de agua de la Universidad Metropolitana, utilizando los dos tipos de alumbre (comercial y sintetizado a partir de material de reciclaje) fue efectivo para establecer una mejora en la calidad del agua cruda de entrada a la Universidad Metropolitana de Caracas.
- El valor de la concentración óptima de floculación, fue establecido en 47 ppm, en promedio, para el proceso con alumbre comercial y 40 ppm, en promedio, para el proceso con alumbre sintetizado a partir de material de reciclaje.
- La reducción en la conductividad, utilizando ambos tipos de agente floculante fue del 70 %.
- La reducción de la dureza, utilizando ambos tipos de agentes floculantes fue del 26 %.

- Hay una diferencia en la reducción de la absorbancia (20 %), ya que utilizando el alumbre comercial fue del 73 %, mientras que con el alumbre sintetizado fue del 58 %.
- Al comparar los valores obtenidos, para el porcentaje de reducción de: conductividad, dureza y absorbancia (clarificación), se demostró que el alumbre sintetizado a partir de El material de reciclaje actúa, prácticamente, con la misma eficiencia que el alumbre comercial, lo cual podría representar un ahorro sustancial en los costos asociados a un proceso de coagulación y floculación.

Referencias

- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico: Coagulación-Floculación*. SEDAPAL, Lima, Perú. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>
- Antov, M.G., Šćiban, M.B., Adamović, S.R., Klasnja, M.T. (2007). Investigation of isolation conditions and ion-exchange purification of protein coagulation components from common bean seed. *Acta periodica technologica*, 38, 3-10. <https://doi.org/10.2298/APT0738003A>
- ASTM. (2008). *Coagulation Flocculation Jar Test of Water*. (D 2035). https://kupdf.net/download/coagulation-flocculation-jar-test-of-water-astm-d2035_5911ebdbdc0d605a11959e9d_pdf

- Bolto, B.A. (1995). Soluble polymer in water purification. *Progress in Polymer Science*, 20, 987-1041. https://www.academia.edu/11820151/Soluble_polymers_in_water_purification
- Briceño, A. y Olano, R. (2006) *Estudio del sistema de aducción de agua de la Universidad Metropolitana* [Tesis de Grado, Ingeniería Civil, Universidad Metropolitana, Caracas].
- Cogollo Flórez, J. M. (2011). Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. *DYNA*, 78 (165), 18-27. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636>
- Dempsey, B. (2006). Coagulant characteristics and reactions. En: Newcombe, G., Dixon, D. (Eds.), *Interface Science in Drinking Water Treatment: Theory and Applications* (pp. 5-24). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(06\)80071-2](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(06)80071-2)
- Diaz, M. (2020) *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Universidad Metropolitana* [Tesis de Grado, Universidad Metropolitana. Caracas]
- Escudero, F. (2016) *Influencia de la concentración de dos tipos de floculantes, en el color y turbidez del jugo clarificado en agroindustrias San Jacinto S.A.A.* Tesis de grado. Universidad Nacional del Santa, Perú]. <https://core.ac.uk/download/pdf/225485643.pdf>
- Eyre, B.D., Andersson, A.J. & Cyronak, T. (2014). Benthic coral reef calcium carbonate dissolution in an acidifying ocean, *Nature Climate Change*, 4, 969-976. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2380>
- González, L., Barrera, A., Fuentes, L., Salas, J. (2018). *Preparación de Alumbre Común a Partir de Desechos de Aluminio* (Informe de Laboratorio de Química Inorgánica I). Universidad de Córdoba, Colombia. <https://library.co/document/zk67mw8y-obtencion-de-alumbre.html>
- Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C., García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 16(1), 245-251. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n1/v16n1a28.pdf>
- Haaroff, J., Cleasby, J. (1988). Comparing aluminum and iron coagulants for in-line filtration of cold water. *J. Am. Water Works Assoc.*, 80(4), 168-175. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1988.tb03022.x>
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006) Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA*, XL(2), 10-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Matilainen, A., Vepsäläinen, M., Sillanpää, M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 159(2), 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.06.007>

- Mccarthy, J.F., Zachara, J.M. (1989). Subsurface transport of contaminants. *Environ. Sci. Technol.*, 23(5), 496-502. <https://doi.org/10.1021/es00063a001>
- Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, República de Venezuela. (1998), *Normas Sanitarias de Calidad del agua potable*. (Gaceta Oficial N° 36.395, 13 de febrero). <http://www.safeintl.com/descargas/NORMAS-SANITARIAS-DE-CALIDAD-DEL-AGUA-POTABLE.pdf>
- Molano, J., Iannaconte, J. (2018). Treatment of effluents of the food industry by coagulation-flocculation using starch of *Solanum tuberosum* L. 'Potato' as an alternative to conventional handling. *Biotempo*, 15(1), 83-112. https://www.researchgate.net/publication/328175573_Treatment_of_effluents_of_the_food_industry_by_coagulation-flocculation_using_starch_of_Solanum_tuberosum_L_'Potato'_as_an_alternative_to_conventional_handling/link/5bbd0ce5299bf1049b786250/download
- Norma Venezolana, COVENIN. (2002). *Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo. (1ra Revisión)*. (2709). <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2709-02.pdf>
- Pérez, J. (2017). *Evaluación de la sustitución del agente coagulante-sulfato de aluminio-en el proceso actual de coagulación-floculación de agua potable en la empresa EAF SAS ESP*. [Proyecto de grado FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, Colombia]. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/am/20.500.11839/6371/1/6112811-2017-2-IQ.pdf>
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2561>
- Rodríguez M., J. P., Lugo U., I. P., Rojas C., A. V., Malaver C., C. (2007) Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Científico*, 11, 8-16. <https://www.redalyc.org/pdf/304/30401102.pdf>
- Rodríguez, C. (2007). *Dureza total del agua con EDTA, por volumetría*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>
- STS. (2020). Medición de conductividad en aguas naturales y otros líquidos. (<https://www.stssensors.com/es/blog/2020/07/01/conductivity-measurement-in-natural-waters-other-liquids/>)
- Yin, C.Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochem.*, 45, 1437- 1444. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>