

Ensayos con distintos coagulantes para reducir el aluminio residual en agua potabilizada

(Revista Tecnología del Agua, Mayo de 1999)

Por: Sangrador Fontecha, R.; Gutiérrez Fernández, Y.; Rivas Gonzalo, J.C.

Departamento Química Analítica, Nutrición y Bromatología.

Facultad de Farmacia. Universidad de Salamanca.

Campus "Miguel de Unamuno". 37007 Salamanca.

Tel. 923294537 Fax. 923295515

Resumen

El objeto de este estudio es contrastar la eficacia de diferentes reactivos coagulantes para el tratamiento de potabilización del agua. Los ensayos se llevan a cabo con muestras de agua procedentes del río Tormes recogidas en el punto de captación del sistema de potabilización del agua de abastecimiento en la ciudad de Salamanca, tanto en condiciones habituales de calidad de agua cruda como en situaciones extraordinarias, provocadas por cambios meteorológicos o bien por causas biológicas. En circunstancias puntuales, el tratamiento convencional con sulfato de aluminio líquido resulta insuficiente, para la eliminación del color y la turbidez del agua cruda, e inadecuado, por detectarse elevadas concentraciones de aluminio residual en el agua tratada. A pesar de que no se considera el aluminio, ingerido por vía oral, como una sustancia química de influencia significativa para la salud, cada vez son más frecuentes los trabajos de investigación que relacionan este elemento con determinados desórdenes neurovegetativos y ciertas anomalías funcionales.

Palabras clave:

Coagulante, Agua potable, Aluminio residual, Salud/Enfermedad, Aluminio sulfato, Río Tormes.

1. Introducción

El agua del río Tormes, cuyas características son las típicas de un agua superficial, es blanda, con una dureza total entre 3-4 °F, y de bajo grado de mineralización. Las pocas sales disueltas y las contaminaciones que sufre en el recorrido, de tipo bacteriológico y químico, se corrigen en la estación potabilizadora empleando tratamientos convencionales. Tras el bombeo, el agua bruta se mezcla con una dosis adecuada de cloro gas en la torre de reparto. Posteriormente, el agua se somete a un proceso de clarificación que consta de las etapas de coagulación/floculación, decantación y filtración. La sedimentación de las partículas en suspensión se realiza en un decantador tipo "Pulsator" y la filtración rápida del agua decantada se lleva a cabo en filtros de arena abiertos. Más tarde, se produce una desinfección del agua filtrada que, en función de su calidad, se puede efectuar con dióxido de cloro, generado a partir de una disolución de clorito sódico vía cloro, o bien con ozono y cloro gas. Finalmente, se realiza un ajuste del pH con hidróxido sódico, ya que a lo largo del proceso de potabilización se produce un

ligero descenso del mismo causado por la adición de los distintos reactivos químicos usados durante el tratamiento.

El proceso de potabilización suele ser suficiente para ajustar las características del agua cruda captada a las especificaciones de potabilidad exigidas en la Reglamentación Técnico Sanitaria vigente (1). No obstante, en determinadas circunstancias, las características organolépticas y/o fisicoquímicas del agua del río Tormes han sufrido variaciones excepcionales provocadas por cambios meteorológicos (lluvias, tormentas, etc.) y, en otras ocasiones, por causas biológicas, principalmente por una excesiva proliferación de algas.

Las variaciones en la calidad de la fuente de agua cruda por causas meteorológicas son frecuentes en los cambios de estación y, particularmente, son más intensas en la época de otoño-invierno. La causa de dichas variaciones tiene un origen inorgánico, pues se trata, fundamentalmente, de arrastre de limos y arcillas que confieren al río un aspecto embarrado y de color marrón oscuro. Los valores de color y turbidez aumentan exageradamente llegando a alcanzar valores extremos de hasta 2000 mg Pt-Co/l y 250 UNF respectivamente, cuando los resultados habituales, para estos parámetros, suelen oscilar entre márgenes de 25-50 mgPt-Co/l para el color y entre 3-6 UNF de turbidez. Además, el pH puede bajar incluso hasta 6 cuando lo normal son valores entre 7,2-7,5 unidades y la concentración de aluminio, en el agua cruda, está muy por encima del valor medio habitual debido precisamente al arrastre de arcilla. En estas ocasiones el problema que se crea en el tratamiento de potabilización es complejo, pues por una parte el pH es tan bajo que la decantación debe producirse a pH menores de 5,5, con lo que este proceso no se realiza de forma eficaz y se encuentra aluminio disuelto en el agua decantada, por lo que tampoco es retenido en los filtros de arena. Esta circunstancia hace que, en diferentes ocasiones, se hayan detectado en muestras de agua de la red de distribución concentraciones de aluminio residual excesivamente elevadas, que incluso superaban los límites permitidos para este elemento en la actual Legislación Española (200 µg/L).

En otras ocasiones las variaciones en la calidad del agua son debidas a una excesiva proliferación de algas propias de los cursos de agua dulce. Se trata de variaciones que se repiten periódicamente en determinadas épocas del año, coincidentes con los ciclos biológicos de diferentes especies de algas, principalmente en el principio del verano, y que se ven favorecidas por determinadas condiciones ambientales como excesivo calor, luminosidad intensa y bajo caudal del río. En este sentido, son especialmente problemáticas las algas verdes, las cianofíceas y las diatomeas, que comunican olores y sabores desagradables al agua, aunque se elimine el organismo durante el tratamiento de potabilización. En este caso, río presenta un color verde intenso y, sin embargo, una baja turbidez. El pH puede aumentar hasta valores de 10 unidades, lo cual hace que la decantación sea muy deficiente por producirse a un pH demasiado elevado y, por tanto, alejado del rango óptimo que para el sulfato de alúmina está estimado entre valores de 5,5-6,5. Por este motivo, y al igual que ocurría en el caso anterior, el aluminio pasa en disolución al agua de suministro, detectándose en concentraciones anormalmente elevadas. Hay que tener en cuenta que la corrección del color, cuando se debe a la causa antes citada, solamente es efectiva con dosis altas de coagulante.

2. Aspectos sanitarios

La OMS no clasifica el aluminio como una sustancia química de influencia significativa para la salud. Por otra parte, la cantidad de aluminio que el hombre puede tomar con el agua de bebida representa tan solo un 1-3 % del aporte total diario, que procede en su mayor proporción de los alimentos ingeridos (2).

Por vía digestiva, la alimentación normal diaria de un adulto contiene por término medio de 10 a 100 mg de aluminio. La mayor parte de este elemento se consume en forma insoluble y pasa por el tubo digestivo sin ser absorbido. No obstante, cuando el aluminio soluble es absorbido puede penetrar en la mayoría de las células y concentrarse, preferentemente, en ciertos órganos, como el riñón, hígado, cerebro, músculo, glándulas paratiroides y médula ósea, donde no se distribuye de manera uniforme, sino que se concentra en orgánulos celulares llamados lisosomas, en los cuales se encuentra en forma insoluble asociado al fósforo.

Este efecto de acumulación de aluminio puede ser grave, más aún, cuando las células afectadas tienen poca o nula capacidad de renovación, como es el caso de las células cerebrales o cardíacas, pudiendo provocar en estos casos la destrucción de las mismas, causando encefalopatías o cardiomiopatías mortales (3). En los últimos años se han realizado numerosos trabajos de investigación basados en la posible relación entre aluminio y ciertos desórdenes neurodegenerativos (4,5,6).

La mayor parte de la información acerca de los efectos del aluminio en el agua de bebida está relacionada con pacientes sometidos a tratamientos de diálisis (7). En los años setenta fue descrito un síndrome caracterizado por alteraciones de la conducta, demencia, disfasia, temblores musculares y convulsiones. Se comprobó que existía cierta relación entre las concentraciones de aluminio en el agua usada para preparar el fluido de diálisis y la incidencia de este tipo de trastornos.

Así mismo, el aluminio aparece como un factor de riesgo importante en otros graves desórdenes neurodegenerativos, como la esclerosis lateral amiotrófica y la demencia parkinsoniana, muy frecuentes en el Pacífico Oeste, especialmente en la isla de Guam, donde el agua de bebida y el terreno son pobres en calcio y magnesio pero poseen gran cantidad de aluminio, hierro y silicio.

En este mismo sentido, se han realizado estudios que ponen de manifiesto una correlación entre el aluminio en el agua de bebida y la incidencia de la enfermedad de Alzheimer (8), desorden neurológico caracterizado por una demencia progresiva con cambios neuropatológicos muy característicos, cuyos síntomas más evidentes son pérdida de memoria, confusión persistente, disfasia y deterioro intelectual generalizado (9). Esta enfermedad se restringe al tejido cerebral y mediante avanzadas técnicas microscópicas se ha detectado acumulación de aluminio en neuronas y neurofibrillas de ciertas zonas del cerebro (10). A pesar de estos trabajos existe bastante controversia sobre el tema, pues algunos autores sostienen que no hay evidencia real de que el aluminio sea el responsable directo de la enfermedad.

3. Objetivos

De lo anteriormente expuesto se deduce que es necesario realizar un control riguroso de los

reactivos coagulantes, deliberadamente añadidos en el tratamiento de potabilización, con el fin de evitar riesgos de concentraciones residuales de los mismos en el agua de bebida, así como establecer las condiciones óptimas para que los procesos de coagulación, decantación y filtración sean eficaces, ya que el aumento de los niveles de aluminio en el agua están normalmente asociados con problemas operacionales en la planta de tratamiento.

Por ello, se estimó oportuno realizar un estudio en el laboratorio, con el fin de probar diferentes tipos de agentes de coagulación e intentar encontrar el más adecuado para la calidad del agua captada por la planta potabilizadora.

4. Material y métodos

Los ensayos llevados a cabo en el laboratorio han consistido en pruebas de coagulación "Jar test", aplicando dosis crecientes de cada uno de los siguientes coagulantes:

- SAL (Sulfato de aluminio líquido, 8,2% Al_2O_3)
- PAX-10 (Policloruro de aluminio, 9,5% Al_2O_3)
- Dksal- 17 (Coagulante polimérico, 7,9% Al_2O_3)

Las pruebas "Jar-test" son sin duda las más utilizadas en el control diario de tratamiento convencional de aguas, con la ventaja práctica de que las dosis óptimas de coagulantes, así determinadas, ofrecen también un rendimiento óptimo en las estaciones de potabilización (11, 12). Por otra parte, con este tipo de ensayos se puede realizar, de forma sistemática, un estudio comparativo de los diferentes coagulantes sobre muestras de agua cruda con idénticas condiciones de calidad, evitando así la dificultad obvia que entraña contrastar los resultados obtenidos durante el tratamiento en planta real, en cuyo caso las variaciones de calidad de agua cruda obligan a realizar cambios tanto en la dosificación de reactivos como en la mecánica del proceso de potabilización. Los ensayos se han efectuado con agua del río Tormes de diferente calidad sin adición de polielectrólitos, con el fin de no enmascarar la acción de los coagulantes. Inicialmente, en pruebas previas, se establecieron los intervalos de dosis óptimas de cada uno de los coagulantes comparados. A continuación, en el sobrenadante obtenido tras la decantación de los flóculos formados y sin filtrar, para cada una de las dosis óptimas probadas, se llevaron a cabo las determinaciones de Turbidez, Color, pH y Aluminio residual, utilizando en todos los casos los Métodos Oficiales de Análisis Físicoquímico para Aguas Potables de Consumo Público (13).

5. Resultados y discusión

Seguidamente se presentan los comportamientos obtenidos en cada uno de los cuatro parámetros seleccionados.

5.1. Turbidez

Las aguas superficiales tienen, en general, una turbidez importante que imposibilita su consumo directo. La medida de este parámetro es muy útil para el control del tratamiento, si bien no da información acerca de la naturaleza de las partículas en suspensión, que constituyen un

problema por la posibilidad de ocasionar gustos y olores desagradables e influyen en la eficacia de los tratamientos de desinfección.

En la **Figura 1** se representan los resultados obtenidos en la determinación de la turbidez cuando se prueban diferentes dosis de los agentes coagulantes, ensayados en las condiciones de peor calidad de agua cruda. En ellos se observa que el PAX- 10 es el agente que consigue una mayor reducción de la turbidez del agua. Por otra parte, las dosis de SAL necesarias para conseguir valores aceptables de turbidez son notablemente más elevadas.

En la **Figura 2** se recogen los resultados obtenidos en un ensayo similar, tras la coagulación de un agua cruda que presenta valores iniciales de turbidez mucho más bajos. Si bien con el DKsal se consiguen valores bajos de turbidez, comparables a los anteriores, el margen de dosificación para obtener buenos resultados es mucho más estrecho. En estas circunstancias se puede comprobar que los valores de turbidez tras la adición de SAL son inferiores a los obtenidos con DKsal y comparables a las conseguidas con PAX-10, aunque para este último son necesarias dosis más bajas.

De todo ello, puede deducirse que, tanto en situaciones problemáticas como normales de calidad de agua cruda, el PAX- 10 es el coagulante más adecuado para reducir la turbidez, si bien en el caso de que el río no presente demasiada materia en suspensión el SAL tampoco ofrece malos resultados.

5.2. Color

La determinación de este parámetro no está contemplada en la realización de los análisis “mínimo” y “normal” que la Legislación vigente establece para evaluar la potabilidad de un agua. No obstante, su medida es importante, pues constituye una de las características organolépticas determinante, para la aceptabilidad del agua de bebida por parte del consumidor. Asimismo, su análisis en las distintas etapas del proceso de potabilización puede dar una idea de la eficacia del tratamiento de clarificación utilizado.

En las Figuras 3 y 4 respectivamente. aparecen las representaciones gráficas de los resultados obtenidos en ensayos realizados con los tres agentes coagulantes ensayados, usando dosis óptimas, previamente determinadas para cada uno de ellos, en condiciones problemáticas y aceptables de calidad de agua cruda.

Los comentarios que pueden hacerse están en la misma línea que los realizados en el caso de la turbidez. De estos resultados se deduce que, cuando el agua cruda captada presenta valores de color anormalmente elevados, el PAX-10 es el reactivo que logra mayor reducción de este parámetro, hecho que se traduce en una mejora sustancial en la clarificación. Además, hay que tener en cuenta que las dosis óptimas de reactivo son notablemente inferiores a las que serían necesarias si se pretendiera realizar la coagulación con SAL, agente mayormente empleado en las plantas potabilizadoras. Sin embargo, cuando la calidad del agua cruda es mejor, ni el PAX-10 ni el DKsal suponen una mejor alternativa frente al SAL.

5.3. pH

De lo anteriormente expuesto en la introducción de este trabajo, puede entenderse que el valor de pH en un agua es de gran trascendencia en el proceso de decantación, pues de él depende que esta etapa del tratamiento de potabilización se realice de forma eficaz y que la concentración de aluminio residual en el agua tratada sea mínima. También se han comentado las notables variaciones que el pH puede sufrir cuando la calidad del agua cruda varía.

Teniendo en cuenta que los reactivos coagulantes tienen un rango óptimo de actuación, es necesario efectuar un continuo control de pH con el fin de mejorar en la medida de lo posible las condiciones idóneas de clarificación. Si no existe la posibilidad de modificar el pH del agua a la entrada de la estación potabilizadora, será preciso ajustar al máximo la dosificación de reactivos químicos añadidos para evitar deficiencias en la decantación, ya que la adición de los mismos tiende a reducir el pH.

En la **Figura 5** se recogen las modificaciones de pH en función de las dosis de los distintos coagulantes ensayados cuando el agua de partida tiene un pH=6,80. Como puede observarse, el SAL provoca una disminución importante del pH, por lo que puede existir el riesgo de que este parámetro sobrepase el rango óptimo para que la decantación sea eficaz, que para el SAL se considera entre 5,5-6,5. Como consecuencia, pasará aluminio en disolución en el agua decantada que tampoco será retenido en los filtros y en última instancia pasará al agua tratada.

A las dosis utilizadas, el PAX-10 al ser un policloruro y presentar una hidrólisis menos ácida que el SAL, conlleva una menor reducción de pH, circunstancia que puede ser interesante en aguas de baja mineralización pues puede permitir, en determinados casos, la supresión del ajuste de pH a la salida de la planta. El DKsal produce valores intermedios entre los productos anteriormente mencionados. En la Figura 6 se recogen los resultados obtenidos tras la adición de dosis óptimas de esos mismos coagulantes a un agua cruda de mejor calidad y con pH=7,16. En este caso, puede comprobarse que la reducción de pH es menor y similar con los tres tipos de agentes probados.

5.4. Aluminio residual

La Reglamentación Técnico-Sanitaria española, basada en la normativa comunitaria (14), establece para el aluminio un nivel guía de 50 µg/l y una concentración máxima admisible de 200 µg/l. Así mismo, la OMS recomienda no sobrepasar la concentración de 200 µg/l en aguas de bebida, basándose fundamentalmente en criterios organolépticos.

Por tanto, la determinación de la cantidad de aluminio en el agua de bebida es interesante y, más aún si se tiene en cuenta la reciente controversia originada por la publicación de numerosos trabajos de investigación que inciden en la correlación entre tasa de aluminio en el cerebro y distintos tipos de desórdenes neurodegenerativos.

De todo ello se deduce que la eficacia del proceso de clarificación es de suma trascendencia en la concentración de aluminio residual en el agua tratada. Si esta cantidad es elevada, durante la distribución una parte de este aluminio puede reducirse en el agua por

sedimentación de nuevos flóculos en las tuberías de la red y, de hecho, se observa una disminución progresiva de este metal a lo largo del sistema de abastecimiento. Este elemento se acumula en distintos puntos, sobre todo donde el caudal es débil, y forma sedimentos con hierro, manganeso, sílice, materias orgánicas y microorganismos, sedimentos que pueden ser perturbados por variaciones de caudal y hacer organolépticamente inaceptable el agua del grifo del usuario.

En las **Figuras 7 y 8** respectivamente aparecen los resultados obtenidos en la determinación de aluminio, cuando se usan dosis ajustadas de los coagulantes ensayados en agua cruda de diferente calidad del río Tormes.

Cuando el agua cruda presenta ya un aporte considerable de aluminio (1457 $\mu\text{g/l}$) puede observarse (Figura 7) que su concentración se reduce considerablemente cuando se usa PAX-10 como coagulante mientras que el DKsal ofrece resultados más aleatorios. Así mismo, la utilización de SAL parece totalmente inapropiada, pues las concentraciones de aluminio residual encontradas son notablemente mayores, acercándose e incluso superando la cifra obtenida para el agua cruda. Este dato es indicativo de que la decantación es muy deficiente, por realizarse a pH demasiado bajo y la considerable cantidad de aluminio que pasa en disolución se detectará también en el agua tratada. Por tanto, el PAX-10 es el agente más idóneo para ser utilizado como coagulante en estas circunstancias de calidad de agua. Sin embargo, cuando el agua cruda presenta características mejores de calidad (86 $\mu\text{g/l}$ y 7,16 unidades de pH), se puede observar (**Figura 8**) que la concentración de aluminio residual, en los ensayos realizados, es menor cuando se usa SAL que con cualquiera de los otros agentes químicos estudiados. Esta circunstancia se justifica porque el pH, en estas ocasiones, es más alto, la clarificación es adecuada y el aluminio queda retenido en los flóculos en el decantador o, en último caso, en los filtros de arena.

6. Conclusiones

El proceso de tratamiento que utiliza como coagulante SAL se halla perfectamente optimizado, obteniéndose adecuados niveles de calidad en el agua de suministro, en condiciones aceptables de agua cruda del río Tormes que, por otra parte, son las habituales durante la mayor parte del año. El pH se mantiene en un rango óptimo para que la decantación sea eficaz, la reducción del color y la turbidez son adecuados y la concentración de aluminio residual, en el agua de la red de abastecimiento, es siempre inferior a la que establece la Reglamentación Técnico-Sanitaria vigente para este metal. No obstante, en ocasiones puntuales, en que la calidad del agua cruda se deteriora notablemente, el tratamiento convencional se muestra insuficiente. En este caso, el PAX-10 parece ser el agente coagulante más idóneo para el tratamiento, por provocar menor reducción en los niveles de pH y mayor eliminación de color, turbidez y aluminio residual. Estos resultados son comparables a los obtenidos por Torra, A. y cols. (1998) (15), cuando emplearon este mismo producto para el tratamiento de potabilización de aguas en planta real. Además, para conseguir estos efectos las dosis óptimas de coagulante son notablemente inferiores a las de los otros agentes ensayados, lo que conlleva un ahorro en el gasto de reactivo. En esas mismas circunstancias, el DK-sal se mostró, en general, para todos los parámetros analizados así como para las dos calidades diferentes de agua cruda, con una eficacia intermedia entre el SAL y el PAX 10, por lo que su uso no se considera una alternativa ventajosa

en el tratamiento del agua del río Tormes.

Por lo anteriormente expuesto, se recomienda el uso combinado de SAL y PAX-10 en función de la diferente calidad del agua del río Tormes a tratar, es decir, en condiciones normales la utilización de SAL parece ser lo más adecuado, mientras que en episodios de aguas turbias puntuales el PAX-10 es el agente más idóneo.

Bibliografía

- (1) Real Decreto 1138/1990 de 14 de Septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el Abastecimiento y Control de Calidad de la Aguas Potables de Consumo Público (B. O. E. N^o - 226, de 20 de Septiembre de 1990).
- (2) Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson. Vol. 2. Critères d'Hygiène et Documentation l'Appui. 253-256. O.M.S. Genève, 1986.
- (3) Pérez López, JA. y Espigares García, M. Estudio Sanitario del Agua. Universidad de Granada 1995.
- (4) Michel, P., Commenges, D. y Dartigues, J. F. (1990). Neurobiol. Aging, 11,264-266.
- (5) Neri, L.C. y Hewitt, D. (1991). The Lancet, 338-390.
- (6) Flaten, T. P. (1990). Environ. Geochem. Health, 12, 152-157.
- (7) Gray, N.F. (1994). Drinking Water Quality. Problems and Solutions. Ed. John Wiley & Sons Ltd., Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO 19 IUD, England.
- (8) Martyn, C. N.; Osmond, C.; Edwardson, J. A.; Barker, D. J. P.; Harris, E. C. (1989). Lancet LANAAl Vol 1,59-62.
- (9) Forbes, W. F.; McLachlan, D. R.(1996). J. Epidemiol. Comm. Health, 50(4), 401-403.
- (10) Nilsson, R. Residual aluminium concentration in drinking water after treatment with aluminium or iron salts. Chemical water and wastewater treatment, 1990.
- (11) Degremont. Manual Técnico del Agua. S.A.E. de Depuración de Aguas Degremont. 1979.
- (12) Marín Galvín, R. Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento. Gestió i Promoció Editorial, S.A. Barcelona 1995.
- (13) Orden del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno de 1 de Julio de 1987, por la que se aprueban los Métodos Oficiales de Análisis Físicoquímicos para Aguas Potables de Consumo Público (B. O. E. N^o 163, de 9 de Julio de 1987).
- (14) Directiva del Consejo de la C.E.E. (80/778/C.E.E. DO. CE., L22911 ,, 1980), relativa a la

Calidad de las Aguas Destinadas al Consumo Humano.

(15) Torra,A.;Valero,F.;Bisbal,J. L.;Tous,J.F. (1998).Tecnología del Agua, 177,58.