



Eficacia y estabilidad de la monocloramina como desinfectante en el agua potable

En la mayoría de los abastecimientos la vía de desinfección es mediante cloro libre. En cambio, Canal de Isabel II ha optado por un sistema de desinfección basado en cloro combinado, la monocloramina. Aunque es conocido que esta tiene menor poder desinfectante que el cloro libre, ofrece dos ventajas clave: un mayor tiempo de permanencia del cloro residual en red y una menor formación de subproductos de la desinfección. Mediante este estudio se ha evaluado el efecto del pH en el porcentaje de monocloramina disponible en el agua desinfectada, para determinar el rango en el que se obtiene mayor cantidad y estabilidad del desinfectante. Además, se ha cuantificado la variación del poder desinfectante de la monocloramina con el pH. Dicho estudio se ha realizado con bacterias de la especie *Escherichia coli*, tanto por su facilidad de tratamiento en el laboratorio, como por ser buenos indicadores de los procesos de desinfección.

Palabras clave

Desinfección, monocloramina, cloraminas inorgánicas, agua de consumo, capacidad desinfectante.

EFFICACY AND STABILITY OF MONOCHLORAMINE AS A DISINFECTANT IN DRINKING WATER

In the majority of the water utilities, disinfection is assured by a free chlorine content in the distribution system. In contrast, Canal de Isabel II has opted for a disinfection method based on combined chlorine, the monochloramine. Although it is known that it has less disinfectant power than free chlorine, it offers two key advantages: a longer residence time of disinfection agent and lower by-products formation. In this study, the effect of the pH on the monochloramine content available in the disinfected water has been evaluated, in order to establish the range in which the greatest amount and stability of the disinfectant is obtained. In addition, the influence of pH on the disinfection efficacy of monochloramine has been quantified. Escherichia coli were used as test organisms, due to their ease of treatment in laboratory, as well as being a good indicator of disinfection processes.

Keywords

Disinfection, monochloramine, inorganic chloramines, drinking water, disinfectant efficacy.

Margarita Amado González

jefa del Área de Tratamiento de Aguas de Lozoya-Jarama en Canal de Isabel II

María González Lucena

titulada superior del Área de Tratamiento de Aguas de Lozoya-Jarama en Canal de Isabel II

Bárbara López Martínez

técnica analista del Área de Tratamiento de Aguas de Lozoya-Jarama en Canal de Isabel II

Elvira García Torrijos

titulada superior en Canal de Isabel II

Ana Belén Serrano Canencia

coordinadora de Tratamiento del Área de Tratamiento de Aguas de Lozoya-Jarama en Canal de Isabel II

Ricardo García Lechosa

responsable de Operación del Área de Tratamiento de Aguas Lozoya-Jarama en Canal de Isabel II

Eduardo Arozamena Ramos

jefe del Área de Tratamiento de Aguas de Guadarrama en Canal de Isabel II



1. INTRODUCCIÓN

La desinfección del agua es un tema clave desde el punto de vista sanitario, sobre todo para evitar la propagación de aquellas enfermedades que tienen este medio como vía de difusión. Por ello, es habitual que las diferentes normativas sanitarias referentes a la calidad del agua de consumo humano exijan la presencia de una determinada cantidad de desinfectante residual secundario en la red de distribución, hasta su destino final en el grifo del consumidor.

En cuanto a la elección de dicho desinfectante, hay varios aspectos clave que hay que tener en cuenta, como son la formación de subproductos que conlleva su empleo, y su capacidad de mantener una eficacia bacteriológica aceptable a lo largo de toda la red de distribución, que evite y controle el crecimiento del biofilm y los recrecimientos bacterianos (Ramírez Quirós, 2005).

Para conseguir una capacidad desinfectante apropiada a lo largo de la red de distribución, es necesario tener en cuenta el tiempo de retención que se prevé que vaya a tener el recurso, así como la tipología y la morfología de dicha red. En el caso de Canal de Isabel II, la empresa trata el agua de prácticamente toda la Comunidad de Madrid y algunos municipios aledaños en 14 estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP), y esta agua es distribuida a lo largo de 17.434 km de red hasta el grifo del consumidor.

Con estas características, se tendrían dos opciones. La primera consistiría en elegir un desinfectante lo suficientemente eficaz y construir y gestionar varias estaciones intermedias donde se suministre más cantidad de desinfectante secundario, mientras que la segunda opción sería buscar un desinfectante eficaz

TABLA 1

COMPARATIVA DE LOS TRES PRINCIPALES COMPUESTOS DERIVADOS DEL CLORO. FUENTE: TRATAMIENTO DE DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE, DE RAMÍREZ QUIRÓS, 2005).

Oxidante	Estabilidad residual	Límite del residual mg/L (USEPA)	Control biofilm	Subproducto
Cloro libre	Muy buena	4	Buena	Mala
Dióxido de cloro	Buena	0,8	Buena	Buena
Cloraminas	Excelente	4	Muy buena	Muy buena

y además persistente en el tiempo, para minimizar en lo posible los puntos en los que se redosifica desinfectante.

Los desinfectantes residuales más habituales son los derivados del cloro, en especial el cloro libre, el dióxido de cloro y las cloraminas. Cada uno de ellos tienen diferentes propiedades respecto a capacidad oxidante, estabilidad residual, toxicidad, capacidad de control del biofilm y potencial de formación de subproductos (Tabla 1, según Ramírez Quirós, 2005).

Dentro de las principales opciones, desde Canal de Isabel II se optó por la desinfección secundaria con cloraminas inorgánicas, ya que no solamente prima buscar un desinfectante eficaz, sino que también sea lo suficientemente estable para poder llegar con niveles aceptables hasta su destino.

Las cloraminas inorgánicas son compuestos que se forman cuando el cloro disuelto y el amonio reaccionan. Durante esta reacción se forman tres tipos diferentes de cloraminas: monocloraminas (NH_2Cl), dicloraminas (NHCl_2) y tricloraminas (NCl_3).

Como se aprecia en la **Figura 1**, las reacciones de las cloraminas son competitivas entre sí, dependiendo fuertemente del pH, de la relación $\text{Cl}_2:\text{NH}_3$, de la temperatura y del tiempo de contacto (Ramírez Quirós, 2005).

Sin embargo, las cloraminas no solo presentan ventajas frente a otros desinfectantes, sino que también presentan inconvenientes, como son el menor poder oxidante y bactericida que el cloro residual libre, y la posibilidad de aparición del fenómeno de nitrificación. Este fenómeno puede ocurrir cuando hay un

FIGURA 1. Reacciones de formación de cloraminas inorgánicas y especies predominantes de cloraminas inorgánicas según pH.

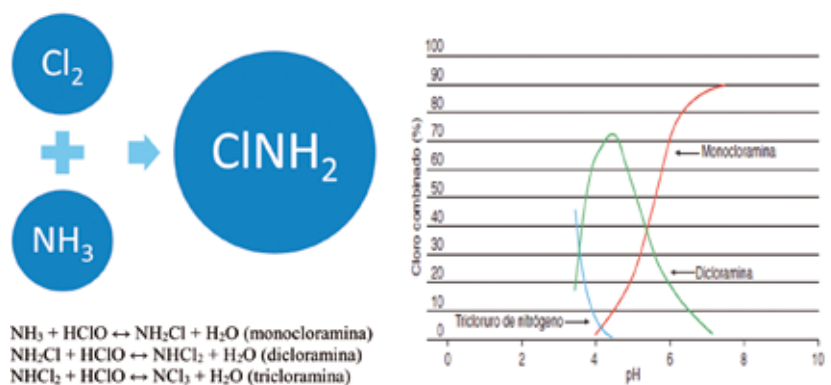


TABLA 2

CONCENTRACIÓN MEDIA DE CLORAMINAS INORGÁNICAS EN 6 ETAP DE CANAL DE ISABEL II.

Plantas de tratamiento	Método DPE				
	Cloro libre	Cloro combinado (mg Cl ₂ /L)			Cloro total (mg Cl ₂ /L)
		MCA (mg Cl ₂ /L)	DCA (mg Cl ₂ /L)	TCA (mg Cl ₂ /L)	
Planta-1	0,00 (0,00 - 0,00)	1,70 (1,63 - 1,78)	0,10 (0,08 - 0,16)	0,00 (0,00 - 0,00)	1,74 (1,64 - 1,82)
Planta-2	0,00 (0,00 - 0,00)	1,87 (1,72 - 2,16)	0,15 (0,08 - 0,25)	0,00 (0,00 - 0,00)	1,93 (1,75 - 2,15)
Planta-3	0,00 (0,00 - 0,00)	1,52 (1,37 - 1,72)	0,10 (0,05 - 0,016)	0,00 (0,00 - 0,00)	1,59 (1,30 - 1,90)
Planta-4	0,00 (0,00 - 0,00)	1,62 (1,46 - 1,79)	0,06 (0,03 - 0,11)	0,00 (0,00 - 0,00)	1,69 (1,59 - 1,78)
Planta-5	0,00 (0,00 - 0,00)	1,62 (1,55 - 1,70)	0,11 (0,04 - 0,22)	0,00 (0,00 - 0,00)	1,59 (1,41 - 1,76)
Planta-6	0,00 (0,00 - 0,00)	1,58 (1,40 - 1,95)	0,08 (0,03 - 0,10)	0,00 (0,00 - 0,00)	1,68 (1,54 - 2,01)

exceso de amoníaco libre, un nivel bajo de cloramina residual, excesivos tiempos de retención en el sistema de distribución y altas temperaturas, las cuales favorecen el crecimiento de bacterias nitrificantes.

1.1. REGLAMENTO DE BIOCIDAS

En el año 2012 entró en vigor el Reglamento (UE) N° 528/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de mayo de 2012, relativo a la comercialización y el uso de los biocidas, introduciendo los cambios normativos que han generado la necesidad de la realización del presente estudio.

Dentro del marco del registro y autorización para el uso de la monocloramina como biocida en la UE, se comenzaron a realizar las determinaciones de los diferentes tipos de cloraminas inorgánicas, ya que era preciso adjuntarlo a la documentación a tramitar.

Para ello, se investigó la existencia de diferentes métodos para realizar dicho análisis. Se eligieron, por su facilidad de aplicación y versatilidad, el método 4500-Cl F del libro *Métodos estandarizados para el análisis de aguas y aguas residuales*, y un método comercializado por Hach

(método 10270 de su catálogo derivado del método del indofenol con reactivos Chemkey). Adicionalmente se procedió a investigar y validar un método cromatográfico para cuantificar monocloramina en aguas con concentraciones de 50 µg/L.

Tras la elección de los métodos de análisis, se buscó en la bibliografía cuáles eran las condiciones idóneas para nuestro desinfectante, para controlar sus condiciones de reacción y conseguir que la concentración de monocloramina sea lo más alta posible.

Se detectó una gran influencia de la temperatura, sobre todo a pH 7. Por eso, se fijó un rango de pH comprendido entre 7,5 y 8 unidades, lo que teóricamente aseguraría más de un 90% de monocloramina.

Tras dichas comprobaciones teóricas, se realizó el estudio necesario para la utilización de la monocloramina como biocida, obteniéndose los resultados de la **Tabla 2**. En ella, se puede ver la concentración media de cloraminas en seis de las catorce ETAP que tiene Canal de Isabel II. Se comprueba que, en general, el 90% del cloro total corresponde a monocloramina, independientemente del sistema de generación.

Así mismo, se observa que la Planta-2 tiene mayores niveles de dicloramina, en torno a un 10-20%, llegando incluso al 40%. También se detecta en estas pruebas que para poder obtener una mayor cantidad de monocloramina en esta planta, el pH de salida debía estar muy cercano a 8 y además se debía llegar a una mayor proporción cloro/amoníaco.

2. OBJETIVO DEL TRABAJO

Este estudio se realiza desde 2016, por lo que los objetivos del estudio han ido variando según los resultados obtenidos a lo largo del tiempo.

En primer lugar, se quería evaluar, en condiciones reales, el efecto del pH en el porcentaje de monocloramina. Para ello se ajustó el pH de salida de la Planta-2 por encima de 8,0 unidades, y se ha comparado el nivel de nitritos en la red de distribución durante los meses de verano con el año anterior a la subida, asegurando que el nivel de monocloramina es mayor al 90% (1,5-2 ppm). El ámbito de aplicación es precisamente el área abastecida por dicha ETAP.

En segundo lugar, a la vista de los resultados obtenidos en los años previos de estudio, se procede al es-



tudio de la capacidad desinfectante de la monocloramina según el pH, para las bacterias *Escherichia coli*. En esta parte del estudio, se ha ampliado su ámbito de aplicación al área abastecida por las Plantas 2 y 1a, así como se ha incluido un análisis de la desinfección en la Planta-2a.

3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.1. ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE LA MONOCLORAMINA

Para el estudio de estabilidad de la monocloramina, se realizaron análisis de los parámetros de control que influyen en dicha estabilidad. Por lo tanto, se decidió determinar las concentraciones de amonio, monocloramina, dicloramina, cloro total, pH y nitritos.

El método empleado para la determinación de amonio es el de Berthelot o del azul de indofenol, midiéndose la absorbancia del compuesto producido a 660 nm.

La determinación del otro compuesto nitrogenado, los nitritos, se hace mediante la diazotación de la sulfanilamida en medio ácido y su posterior asociación con NED, midiéndose la absorbancia del compuesto coloreado a 540 nm.

Para la determinación de monocloramina y dicloramina, se emplean

métodos diferentes según se realicen los análisis en el laboratorio o *in situ*. Así, en el laboratorio se emplea el método 4500-Cl F, del libro *Standard methods for the examination of water and wastewater*, mientras que en los análisis *in situ* se aplica el método de Hach 10270, derivado del método del azul de indofenol, utilizando para ello el equipo Hach SL1000 y los reactivos Chemkey.

Por último, el análisis de amonio libre se ha realizado tanto por el método del azul de indofenol, como mediante el equipo de Hach SL1000 y sus reactivos Chemkey.

3.2. ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DESINFECTANTE DE LA MONOCLORAMINA

En cuanto al estudio de la capacidad desinfectante de la monocloramina se han realizado los análisis de caracterización empleando los mismos métodos fisicoquímicos descritos en el estudio de la estabilidad, y los análisis de capacidad desinfectante aplicando la siguiente metodología.

Se han tomado 5 L de muestra de agua de consumo de cada punto analizado y se han llevado al laboratorio para realizar el análisis en el mismo día.

Después, con hidróxido cálcico o ácido clorhídrico, se ha modificado

el pH en el intervalo comprendido entre 6,5 y 9,5 unidades en las muestras de ETAP, y entre 8,0 y 9,5 unidades en las muestras de red de distribución. Las muestras resultantes se han introducido en frascos estériles de bacteriología de 500 mL sin tiosulfato. Además, se ha procedido a realizar una muestra blanco añadiendo tiosulfato.

Posteriormente, se ha inoculado cada una de las muestras con *E. coli* NCTC 9001 mediante la adición de Bioball HighDose - 10 K de BioMérieux, con lo que se obtienen unas concentraciones teóricas de microorganismos de 2.000 UFC/100 mL.

Finalmente, se siembra cada muestra mediante Colilert-18 y bandejas de Qtray 2000 en diferentes tiempos. Se han empleado frascos de 100 mL de Colilert con tiosulfato, por lo que es en el momento de la siembra en el que se detiene la reacción con el cloro.

En cuanto a los puntos de muestreo elegidos, han sido la Planta-2a y diferentes Estaciones Oficiales de Muestreo (EOM) con valores habituales de pH comprendidos entre 9,0 y 9,5 unidades.

El resumen de los puntos de muestreo elegidos, la fecha de análisis y el tiempo de contacto de las bacterias con el cloro se recogen en la **Tabla 3**.

RESUMEN DE PUNTOS DE MUESTREO Y TIEMPOS DE CONTACTO DE LAS BACTERIAS CON EL CLORO.							
Característica	ETAP		Estación oficial de muestreo				
Punto	Planta 2-a		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Fecha	22/5/2018	25/06/2018	23/10/2018	23/10/2018	29/10/2018	12/11/2018	29/10/2018
Tiempo de contato (minutos)	30	10	10	10	10	10	10
	150	25	25	25	25	25	25
	270	40	40	40	40	40	40
	-	55	55	55	55	100	55
	-	70	70	70	70	165	70

4. RESULTADOS

Tal y como se ha explicado anteriormente, en la Planta-2 se observó que en las condiciones habituales de tratamiento (pH 7-7,5), de los 2 ppm de cloro total combinado, el 60% era monoclaramina y el 40% restante dicloramina. También se apreció mayor porcentaje de dicloramina en el Punto Oficial de Muestreo (POM) y en el depósito D-1, debido a la descomposición de la monoclaramina en dicloramina. Esta es una reacción que no está controlada y hay una serie de reacciones que compiten entre sí. En cambio, cuando se reguló la relación cloro/amoniaco y se subió el pH, aumentó la concentración de monoclaramina y además se mantuvo la proporción

a lo largo de la red de distribución de manera más constante.

A la vista de los resultados, en marzo de 2016 se modificaron las condiciones de tratamiento de la Planta-2. Además, este cambio generó variaciones en el nivel de nitritos a través de la red de distribución durante los meses de verano del mismo año, lo que motivó el inicio del estudio del seguimiento del cloro total y de los nitritos de manera más exhaustiva. Para ello, se tomaron como referencia los datos de dichos puntos del año 2015, antes de las modificaciones en la explotación, y se ha mantenido el estudio hasta el año 2018 (**Figura 2**).

Mediante el seguimiento se ha podido apreciar que en el mes de abril

de 2016 el cloro a la entrada de las recloradoras era bastante similar que en el mismo periodo del año 2015. En cambio, al comparar el nivel de nitritos, la diferencia comenzó a ser significativa en algunos puntos de la red, reiterándose los resultados en los meses posteriores.

Además, a partir del mes de septiembre se empezaron a apreciar también diferencias en la cantidad de cloro a la entrada de las recloradoras, siendo mucho mayor a los años anteriores. En cuanto al valor de nitritos, la disminución comenzó a ser generalizada.

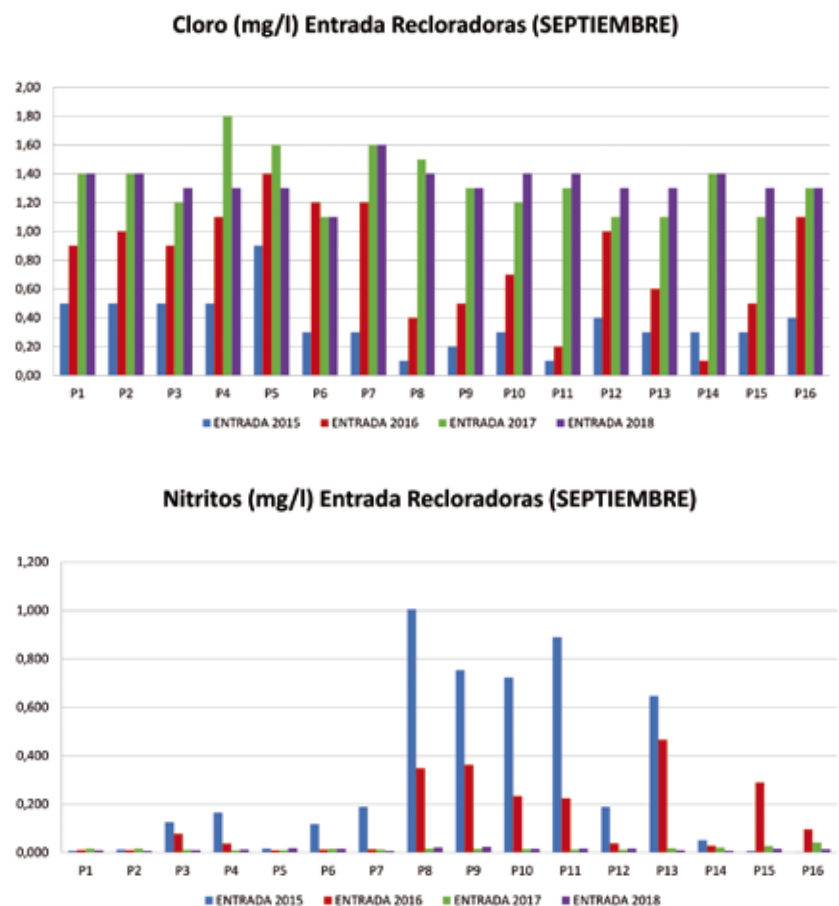
Como consecuencia de los resultados obtenidos, en 2016 se redujo el nivel de nitritos en la red y se pudieron cerrar dos recloradoras antes que en años anteriores, lo que supuso un ahorro en costes.

Si se amplía el estudio al año 2018, se puede apreciar que se obtienen niveles de cloro total cada vez mayores en toda la red de distribución, a la vez que continuó la disminución de la concentración de nitritos. Como consecuencia, durante los años 2017 y 2018 se ha suprimido el uso de 17 recloradoras.

Por lo tanto, a la vista de los resultados obtenidos, se podría decir en primer lugar que el efecto que tiene el pH en el porcentaje de la monoclaramina parece depender de las características del agua tratada. Así, para conseguir una estabilidad de la monoclaramina adecuada se tendrían que realizar ensayos en cada planta a diferentes valores de pH de salida, teniendo en cuenta las variaciones en varios puntos de la red de distribución.

En segundo lugar, se han detectado varios aspectos clave a la hora de evitar la nitrificación cuando se tiene una red con tiempos de retención muy altos y comienzan a bajar las

FIGURA 2. Evolución del cloro y de los nitritos en las entradas de las estaciones recloradoras de la red de la Planta-2 (desde septiembre de 2015 a 2018).





temperaturas tras el periodo estival. Para ello, primero se debería prevenir la formación de dicloramina aumentando tanto el pH de salida por encima de 8,0 unidades, como la relación Cl_2/NH_3 . En el caso de la Planta-2, el punto crítico de dicha relación es 4:1, o incluso un poco mayor.

Además, se detecta como necesaria la determinación de monoclaramina dentro del análisis rutinario de la planta de tratamiento, así como el de amoníaco libre en la red de distribución.

Sin embargo, tras este importante paso en la mejora de la calidad del agua, se detectó en la bibliografía que la capacidad desinfectante de la monoclaramina se ve disminuida con valores altos de pH. Por ello, se procede a estudiar la capacidad desinfectante de la monoclaramina a valores de pH superiores a 8,0 unidades. Además, los puntos de muestreo se han elegido teniendo en cuenta aquellos que según la información que teníamos serían más críticos, con valores de pH habituales entre 9,0 y 9,5 unidades.

Las primeras pruebas se realizaron en la Planta-2a los días 22/05/2018 y 25/06/2018. En la prueba preliminar se obtuvieron bacterias solamente en las muestras con tiempo de contacto de 40 minutos. Por lo tanto, se ve necesario realizar las pruebas en red de distribución con un tiempo de contacto máximo de 2,5 horas y media (**Figura 3**).

Tras realizar las pruebas previas en planta de tratamiento, se procedió a evaluar varios puntos de la red de distribución, ya que el objetivo principal de este estudio era determinar en qué medida la capacidad desinfectante de la monoclaramina se ve disminuida en los puntos en los que de manera habitual se tienen valores de pH elevados, dentro del intervalo

FIGURA 3. Evolución de la concentración de bacterias en el tiempo, a diferentes valores de pH.



FIGURA 4. Evoluónde la concentración de bacterias en el tiempo, a diferentes valores de pH.



de 9,0 y 9,5 unidades.

Estos valores suelen darse en puntos de la red con altos tiempos de retención y la Sierra Norte de Madrid se trata de una zona en la que el agua tiene que recorrer muchos kilómetros hasta su destino final, frente al poco consumo de la zona debido a la baja población.

Así, se eligieron los Puntos 1 y 2, con agua procedente de la Planta-2, y los Puntos 3, 4 y 5, con agua proce-

dente de la Planta-1a. Además, cada agua proviene de un final de línea diferente y dos de los puntos tienen características especiales: El Punto-3, con menor tiempo de retención, pero con tramos nuevos de tubería, y el Punto-1, con agua que ha sido tratada adicionalmente en una recloradora. Con ello, se quiso determinar si existen diferencias entre los diferentes puntos más allá de la concentración de cloro o del valor de pH.

FIGURA 5. CxT vs. log de reducción de bacterias en el tiempo, a diferentes valores de pH.

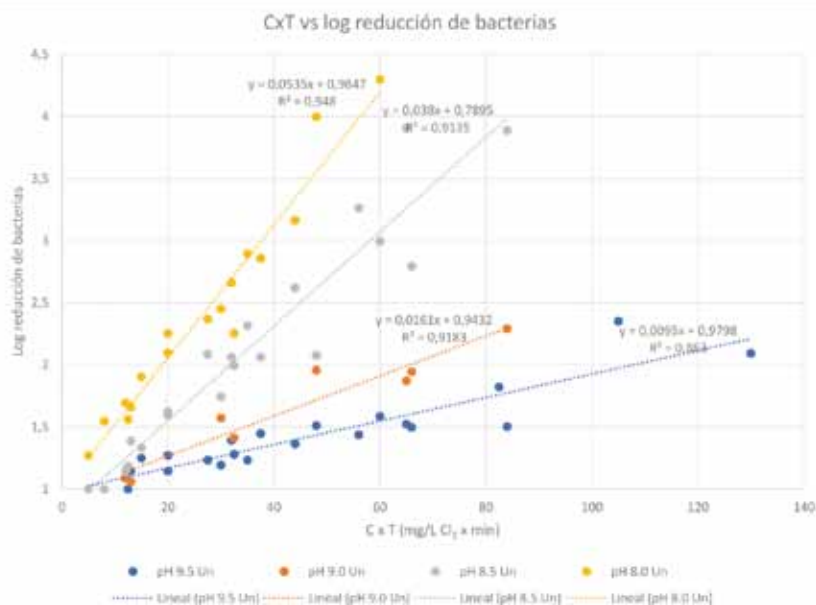


TABLA 4

RECTAS CXT VS. LOG REDUCCIÓN DE BACTERIAS. COMPARATIVA DE VALORES DE PENDIENTE Y R² SEGÚN PH.

Valores	pH 9,5	pH 9,0	pH 8,5	pH 8
Pendiente	0,0095	0,0161	0,0380	0,0535
R ²	0,8630	0,9183	0,9434	0,9480

En todos los casos, se aprecia como al disminuir el pH de 9,5 a 8,0 unidades, aumenta la eficacia de la monocloramina. También se detecta que la velocidad de disminución de las bacterias parece proporcional al producto de la concentración de cloro y el tiempo de contacto de la muestra de estudio, por lo que sigue la Ley de Chick-Watson (**Figura 4**).

Para cuantificar dichos resultados, se procede a buscar la relación de la concentración de cloro por el tiempo (CxT) frente al logaritmo de reducción de bacterias (1-log(Bf/Bo)). Se aprecia que dicha relación se ajusta aproximadamente a una línea recta, con valores de R² comprendidos

entre 0,863 y 0,948. No se aprecian diferencias significativas respecto a la diferente procedencia del agua (**Figura 5**).

En la **Tabla 4** se pueden ver las características de las diferentes rectas obtenidas.

A la vista de los resultados se evidencia que la pendiente, que representa el coeficiente de letalidad específica de Chick-Watson a un pH determinado, aumenta notablemente según decrece el pH. En la **Figura 5** también se aprecia un cambio abrupto de la pendiente entre los valores de 8,5 y 9,0 unidades de pH, siendo aún más drástico en relación con la pendiente de pH 9,5 unidades.

5. CONCLUSIÓN

De este estudio realizado, se pueden sacar varias conclusiones. Por un lado, en lo referente a la estabilidad de la monocloramina, se han detectado como aspectos clave tanto conseguir tener a la salida de planta un pH por encima de 8,0 unidades, como la relación Cl₂/NH₃. Estos datos son orientativos, por lo que se debería investigar en cada planta cuales son los valores óptimos para el agua a tratar.

Asimismo, parece que otro de los puntos clave para conseguir mantener la estabilidad de la monocloramina y reducir la nitrificación es conseguir tener un pH superior a 8,0 unidades a lo largo de la red de distribución, ya que llegado a ese punto comienzan a aumentar los valores de monocloramina en dicha red, y como consecuencia disminuye el amoníaco libre disponible.

Respecto a la capacidad desinfectante de la monocloramina, se ha apreciado que, tanto al finalizar la etapa de tratamiento, como en la red de distribución, se aseguraría la eficacia del tratamiento con valores de pH de 9,0 unidades como máximo.

Además, parece que el intervalo óptimo de pH sería el comprendido entre 8,0 y 8,5 unidades, ya que permite asegurar una buena estabilidad de la monocloramina, a la vez que una desinfección aceptable.

Por último, es indispensable volver a incidir en que este estudio es una de las varias pruebas que hay que realizar para autorizar la monocloramina como sustancia biocida aprobada. La experiencia previa con la monocloramina como desinfectante secundario permite ser optimistas respecto a su autorización como biocida porque esta ha demostrado ser lo suficientemente



» En relación a la estabilidad de la monocloramina en la ETAP, se ha detectado como punto clave tanto conseguir tener a la salida de planta un pH por encima de 8,0 unidades como la relación Cl_2/NH_3

» Otro de los puntos clave para conseguir mantener la estabilidad de la monocloramina y reducir la nitrificación es conseguir tener un pH superior a 8,0 unidades a lo largo de la red de distribución

eficaz para conseguir controlar el crecimiento en la red de distribución tanto de bacterias coliformes, como de *E. coli*, con la gran ventaja que supone para la salud de la población abastecida la menor formación de subproductos de la desinfección.


Torrijos, al Área de tratamiento de Guadarrama y a todos aquellos que trabajaron en el estudio previo para la legalización de las cloraminas, el cual aportó datos concluyentes para la realización de este estudio de Canal de Isabel II.

[2] AWWA (2006). Water chlorination/ chloramination practices and principles. Second edition.

[3] APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd. edition.

[4] National Research Council - Safe Drinking Water Committee (1980). Drinking water and health. Vol. 2, Estados Unidos.

[5] Ramírez Quirós, F. (2005). Tratamiento de desinfección del agua potable. Canal Educa.

[6] Valentine, R.L.; Ozekin, K. Vikesland, P.J. (1998). Chloramine decomposition in distribution system and model waters. AWWA Research Foundation and American Water Work Association. 

6. AGRADECIMIENTOS

A la titulada superior Elvira García

Bibliografía

[1] AWWA (2013). Nitrification, prevention and control in drinking water. Second edition.

Más artículos técnicos,
reportajes, novedades
y otras informaciones
sobre el sector
del agua en:
www.tecnoaqua.es