

Evaluación de cinco plantas para el tratamiento de eliminación de microcistinas en agua de consumo humano

Evaluation of Five Treatment Plants for the Removal of Microcystins in Drinking Water

Avaliação da remoção de microcistina em cinco estações de tratamento de água de consumo humano

Manuel Álvarez Cortiñas¹, Elvira Íñiguez Pichel¹, Oliva Cadahía Maríz²

¹ Servicio de Sanidad Ambiental. Dirección General de Salud Pública. Consellería de Sanidade. Xunta de Galicia.

² Laboratorio de Salud Pública de Galicia. Consellería de Sanidade. Xunta de Galicia.

Cita: Álvarez Cortiñas M, Íñiguez Pichel E, Cadahía Maríz O. Evaluación de cinco plantas para el tratamiento de eliminación de microcistinas en agua de consumo humano. Rev. salud ambient. 2017; 17(1):100-108.

Recibido: 21 de diciembre de 2016. **Aceptado:** 28 de abril de 2017. **Publicado:** 15 de junio de 2017.

Autor para correspondencia: Manuel Álvarez Cortiñas.

Correo e: manuel.alvarez.cortinas@sergas.es

Servicio de Sanidad Ambiental. Dirección General de Salud Pública. Consellería de Sanidade. Xunta de Galicia.

Financiación: Este grupo no ha contado con ningún tipo de financiación para el desarrollo de su trabajo.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses que hayan influido en la realización y la preparación de este trabajo.

Declaraciones de autoría: Todos los autores contribuyeron al diseño del estudio y la redacción del artículo. Asimismo, todos los autores aprobaron la versión final.

Presentado como comunicación en el XIII Congreso Español de Salud Ambiental, celebrado en Cartagena los días 24, 25 y 26 de junio de 2015, obtuvo el 2º premio a la mejor comunicación en cartel otorgado por la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (SESA).

Resumen

En Galicia existen abastecimientos que captan agua de embalses con crecimiento de cianobacterias con riesgo de producir toxinas. Las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) de estos abastecimientos deben tener tratamientos adecuados y estar sometidas a mantenimientos. Las guías de la OMS hacen recomendaciones sobre los tratamientos más convenientes para eliminar las microcistinas. La Consellería de Sanidade elaboró conjuntamente con los organismos de cuenca un protocolo de actuación frente a estos eventos. Para este estudio se han identificado 4 embalses y 5 plantas de tratamiento. Se han evaluado los tratamientos de las plantas, los mantenimientos que se realizan a las ETAP y los resultados de las toxinas sestónicas y disueltas analizadas por el laboratorio de Salud Pública de Galicia en los embalses cerca del punto de captación, antes de las plantas de tratamiento y después de ellas durante el bienio 2013-2014.

Palabras clave: microcistinas; cianobacterias; tratamiento de aguas; toxinas; estación de tratamiento de agua potable (ETAP).

Abstract

In Galicia there are supplies that collect water from reservoirs showing growth of cyanobacteria that could produce toxins. The drinking water treatment plants (DWTPs) of these supplies should provide adequate treatment and be subjected to maintenance. WHO guidelines make recommendations on the most suitable treatments for removing microcystins. The Department of Health developed a protocol of action against these events jointly with water basin authorities. 4 reservoirs and five treatment plants were identified for this study. The treatments of the plants, the maintenance carried out at the DWTPs and the results for sestonic and dissolved toxins analyzed by the Public Health Laboratory of Galicia in the reservoirs near the point of collection, before the treatment plants and after them, during the 2013-2014 biennium were evaluated.

Keywords: microcystin; cyanobacteria; water treatment; toxins; drinking water treatment plant (DWTP).

Resumo

Na Galiza há abastecimentos que captan agua de barragens con crescimento de cianobactérias com risco de producir toxinas. As estações de tratamento de água potável (ETAP) destes abastecimentos deben ter os tratamentos adecuados e ser sometidas a manutención. As guías da OMS fazem recomendacións dos tratamentos máis apropiados para erradicar as microcistinas. O Departamento de Saude da Xunta da Galiza elaborou, xunto con os organismos de bacía, un protocolo de actuación fronte a estes eventos. Para o traballo se teñen identificado catro reservatórios e cinco plantas de tratamento. Alé de ser avaliados os tratamentos das plantas, a manutención que se faz às ETAP e os resultados das toxinas sestónicas e disolvidas, analizadas polo Laboratorio de Saude Pública da Galiza, nas barragens perto do punto de captación, antes das plantas de tratamento e depois delas, no biénio 2013-2014.

Palavras-chave: microcistina; cianobactérias; tratamento da água; toxinas; estação de tratamento de água potável (ETAP).

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha observado en Galicia un incremento del crecimiento de cianobacterias en las aguas superficiales donde se realiza la captación para abastecimiento de agua potable, con el consiguiente riesgo de que se puedan introducir toxinas en las plantas de tratamiento.

Las cianotoxinas pueden tener una variedad de efectos sobre la salud humana. Los síntomas agudos van desde gastroenteritis, fiebre e irritación de la piel, ojos, garganta y tracto respiratorio a daños en el hígado y neurotoxicidad. Los efectos crónicos a largo plazo incluyen la promoción de tumores. Las cianobacterias no se multiplican en el cuerpo humano y por tanto no son infecciosas¹.

Las guías de la OMS y otros organismos e instituciones internacionales hacen recomendaciones sobre los tratamientos más convenientes para eliminar las microcistinas², si bien, dada la falta actual de sólidos datos toxicológicos para una más amplia gama de cianotoxinas, la OMS ha emitido una directriz para una sola microcistina-LR (1 µg/L) la variante más tóxica conocida de microcistina³. La normativa sanitaria en España establece un valor paramétrico de microcistina de 1 µg/L en aguas de consumo humano⁴.

La mayor parte de las especies de cianobacterias que forman floraciones superficiales pueden producir toxinas, sin embargo no todas las cianobacterias son tóxicas. Como medida de precaución, las floraciones de cianobacterias deberían ser consideradas tóxicas, ya que la evidencia muestra que hasta el 75 % de las floraciones lo son¹.

Por esta razón, Chorus y Bartram⁵ recomiendan que la gestión de la salud pública se centre en las cianotoxinas, y que las cianobacterias en el agua potable se gestionen como un problema químico. La presencia de cianobacterias puede considerarse como un disparador para el seguimiento de cianotoxinas⁶.

No obstante, como la mayoría de las empresas de agua potable todavía dependen de los procesos de tratamiento convencionales, existe la necesidad de optimizar aún más los procesos para la eliminación y control de las cianobacterias y sus metabolitos².

Las ETAP que utilizan un tratamiento convencional seguido de oxidación o de carbón activado pueden eliminar tanto microcistinas intracelulares como extracelulares hasta el 99,99 % para lograr concentraciones inferiores a 0,1 µg/L en el agua tratada⁷.

La Consellería de Sanidade de la Xunta de Galicia, los organismos de cuenca y el Laboratorio de Medio Ambiente se coordinaron para gestionar el riesgo por la presencia de cianobacterias y elaboraron sus protocolos de actuación conjuntamente frente a estos eventos^{8,9}. El enfoque empleado se centra inicialmente en conocer el comportamiento particular de cada embalse. Se modifican las directrices de la OMS, que establecen tres niveles de actuación genéricos (vigilancia, alerta 1 y alerta 2), adaptando el protocolo, de manera que diferencia únicamente dos situaciones: "estado de normalidad" cuando no existe proliferación de cianobacterias y por tanto no existe riesgo de toxicidad y "estado de alerta/ afloramiento" cuando se superan las 2000 células/mL, en los casos de captación directa, o 50 000 células/mL en los casos de captación aguas abajo del embalse. Además, se contempla el criterio de experto para poder realizar de

una forma más flexible la declaración de alerta aunque los niveles sean más bajos de los anteriormente citados.

A partir de la declaración de una situación de alerta, se comprueba si estas cianobacterias son productoras de toxinas y se establece un programa de análisis de las muestras del embalse y de los abastecimientos. De esta manera, la toma de decisiones no se ve condicionada exclusivamente por unos valores paramétricos de clorofila y número de células de cianobacterias, que pueden no ser representativos de la realidad por no medir el riesgo de presencia de toxina.

Por último, entre las actuaciones que tienen que realizar los gestores de los abastecimientos, se incluyen unas recomendaciones para la determinación de cianotoxina así como de medidas de gestión.

En el presente trabajo se hace una evaluación de la gestión para la eliminación de cianotoxinas aplicados en cinco ETAP de Galicia en función de tres criterios: de los resultados analíticos de los muestreos de vigilancia sanitaria realizados por la Consellería de Sanidade, de la idoneidad de los tratamientos aplicados en función de la existencia de referencias bibliográficas sobre su eficacia, así como la corrección de las labores de mantenimiento de la ETAP y resultados de autocontrol.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para este estudio se han identificado cuatro embalses que se utilizan para captación de agua para consumo humano y cinco estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP). Se corresponden con cinco zonas de abastecimiento (ZA) situadas en la Comunidad Autónoma de Galicia: Embalse de Rosadoiro y ETAP de Sabón (ZA Sabón-Arteixo); Embalse das Forcadas de donde captan dos ETAP, la de Valdoviño (ZA Valdoviño) y la ETAP de Ferrol (ZA-Ferrol); Embalse de Vilasouto y ETAP de Bóveda (ZA Bóveda) y Embalse de Cecebre con la ETAP de A Telva (ZA Coruña).

En cada control se tomaron muestras en tres puntos: en el cuerpo de los embalses, en el punto de captación antes de la entrada a las plantas de tratamiento y a la salida de las ETAP. Se determinaron las toxinas sestónicas y disueltas.

Con respecto a la valoración de la idoneidad de los tratamientos, se hizo una revisión bibliográfica sobre la eficacia teórica de los métodos empleados y se valora cada uno de ellos en función de la misma. El manejo de las ETAP se valoró según los resultados de las inspecciones de vigilancia sanitaria, de la aparición de incidentes en la gestión, así como la revisión de los resultados del

autocontrol de toxinas de los gestores.

El periodo de estudio fue desde el mes de junio de 2013 al mes de diciembre de 2014.

Las actuaciones de vigilancia de la presencia de cianotoxinas en los embalses están basadas en los acuerdos entre la Consellería Sanidade de la Xunta de Galicia, Laboratorio de Medio Ambiente de la Consellería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia y los organismos de cuenca, Confederación Hidrográfica del Miño-Sil y Demarcación Hidrográfica Galicia-Costa.

Los organismos de cuenca y el Laboratorio de Medio Ambiente de Galicia realizan la vigilancia periódica de los embalses. La toma de muestras, identificación y conteo de cianobacterias las realizaron los organismos de cuenca con competencia en Galicia: Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, Demarcación Hidrográfica Galicia-Costa, y el Laboratorio de Medio Ambiente de Galicia. En función de los resultados, se establece la situación de los embalses como de normalidad o de alerta. El estado de los embalses se notifica a la Consellería de Sanidade y a las empresas gestoras.

La detección, confirmación y cuantificación de cianotoxinas la realizó el Laboratorio de Saúde Pública de Galicia de la Consellería de Sanidade. La técnica empleada fue la cromatografía líquida de alta resolución con detección por espectrometría de masas con triple cuadrupolo (LC-MS/MS). Se determinaron las cianotoxinas tanto sestónicas como disueltas siguientes: microcistina LR, RR, YR, LA, LF, LW, WR, desmetilada RR, desmetilada LR, nodularina, cilindrospermopsina y anatoxina A, siendo el límite de cuantificación del método de 0,2 µg/L.

La extracción de la toxina para la determinación de la fracción sestónica tiene lugar mediante un proceso de congelación y descongelación que provoca la lisis celular, para posteriormente realizar una extracción por medio de una solución de metanol-agua. Se cromatografían por HPLC y se detectan por LC-MS/MS.

Así mismo, las empresas gestoras de los abastecimientos realizan el autocontrol en los abastecimientos que gestionan, determinando microcistina disuelta o total (sestónica y disuelta) en diferentes puntos del abastecimiento, en función de los resultados de microcistina en el embalse. Para su determinación pueden utilizar cualquier método de determinación de microcistinas siempre y cuando el límite de cuantificación del método sea como mínimo de 0,5 µg/L.

RESULTADOS

Las principales especies potencialmente productoras de microcistinas presentes en los cuatro embalses (tabla 1) son coincidentes excepto en el de Vilasouto.

Todas las ETAP, excepto la de Bóveda, tienen un tratamiento de previo de oxidación, coagulación/floculación, decantación, filtración y post-oxidación y en las de A Telva y Valdoviño suplementadas con filtros de carbón activo (tabla 2).

Tabla 1. Principales géneros productores de toxinas presentes en los embalses y toxinas detectadas

Embalse	Géneros/Especies presentes	Toxinas detectadas
Rosadoiro	<i>Microcistis</i> sp. <i>Anabaena</i> sp. <i>Woronichinia</i> sp. <i>Aphanocapsa</i> sp.*	MC-LR MC-RR MC-RR desmetilada MC-LW MC-YR
Cecebre	<i>Microcistis</i> sp. <i>Anabaena</i> sp. <i>Woronichinia</i> sp. <i>Aphanocapsa</i> sp.*	MC-LR MC-RR MC-LR desmetilada MC-RR desmetilada MC-LW
As Forcadas	<i>Microcistis</i> sp. <i>Anabaena</i> sp. <i>Woronichinia</i> sp. <i>Aphanocapsa</i> sp.*	MC-LR MC-RR MC-RR desmetilada MC-LW
Vilasouto	<i>Planktothrix rubescens</i> <i>Anabaena planctonica</i> <i>Woronichinia naegeliana</i> <i>Aphanocapsa</i> sp.*	MC-LR desmetilada MC-RR desmetilada

* *Aphanocapsa* no figura como genero productor de toxinas en el catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas¹⁰, pero se ha descrito como productor de microcistinas en otros países

Tabla 2. Características de las ETAP y tratamientos de eliminación de microcistinas

Tratamiento	Sabón	A Telva	Ferrol	Valdoviño	Bóveda
Pre-ozonización	√	0	0	√	0
Pre-cloración	0	0	√	0	0
Pre-oxidación con permanganato	0	√	0	0	0
Coagulación-Floculación	√	√	√	√	0
Decantación	√	√	√	√	√
Filtración arena	√	√	√	0	√
Filtración air-lift	0	0	0	√	0
Post-cloración	√	√	√	0	√
Post-ozonización	0	0	0	√	0
Carbón activo en polvo (PAC)	0	√	0	0	0
Filtro carbón activo	0	0	0	√	0
m ³ de agua tratados /día	4 000	93 139	40 022	1 033	710

El agua de partida de la ETAP de Sabón es de mala calidad. Se capta de Rosadoiro, que es un embalse muy eutrofizado y con niveles de toxina elevados. Los tratamientos de que dispone podrían ser adecuados, pero se ha detectado toxina a la salida de la ETAP en dos ocasiones (tabla 3). Una, en la vigilancia sanitaria, siendo el motivo la elevada carga orgánica del agua bruta que dio lugar a que los filtros de arena no fueran suficientes para tratar todo el volumen de agua; se subsanó realizando limpiezas adecuadas. El segundo caso lo detectó el gestor en el autocontrol (por medio de inmunoensayo) ya que la empresa gestora no había puesto en funcionamiento el tratamiento de ozonización. Se constata una gestión deficiente de la planta. Desde el año 2015, se ha abandonado su uso para agua de consumo público y se mantiene como uso industrial.

Tabla 3. Resultados del muestreo del embalse de Rosadoiro y ETAP de Sabón

Punto de muestreo	Nº de muestras	Toxinas de terminadas	Toxinas detectadas	Toxina > 1 mg/L
Embalse	53	1272	65	33
Antes de la ETAP	33	792	61	36
Después de la ETAP	33	792	1	0
Totales	119	2856	127	69

Los tratamientos de la ETAP de A Telva, que capta en el embalse de Cecebre, son adecuados. Nunca se ha detectado toxina a la entrada de la planta por lo que no se puede valorar la idoneidad del manejo de la planta (tabla 4). Disponen de carbón activo en polvo para posibles eventos.

Tabla 4. Resultados del muestreo del embalse de Cecebre y ETAP A Telva

Punto de muestreo	Nº de muestras	Toxinas de terminadas	Toxinas detectadas	Toxina > 1 mg/L
Embalse	43	1032	20	10
Antes de la ETAP	5	126	0	0
Después de la ETAP	16	126	0	0
Totales	64	1284	20	10

Tabla 5. Resultados del muestreo del embalse de Forcadas y ETAP de Valdoviño y Ferrol

ETAP de Valdoviño				
Punto de muestreo	Nº de muestras	Toxinas de terminadas	Toxinas detectadas	Toxina > 1 mg/L
Embalse	55	1320	57	28
Antes de la ETAP	36	864	31	21
Después de la ETAP	36	864	0	0
Totales	127	3048	88	49
ETAP de Ferrol				
Punto de muestreo	Nº de muestras	Toxinas de terminadas	Toxinas detectadas	Toxina > 1 mg/L
Embalse	55	1320	57	28
Antes de la ETAP	36	864	29	16
Después de la ETAP	36	864	0	0
Totales	127	3048	86	44

Las ETAP de Ferrol y Valdoviño captan en dos puntos diferentes del embalse de As Forcadas, ambas tienen tratamientos extraordinarios para eliminación de toxinas y la gestión de las plantas es adecuada. Se ha detectado toxina a la entrada de las plantas pero nunca a la salida (tabla 5).

La calidad de agua de partida de la ETAP de Bóveda, que capta del embalse de Vilasouto, es deficiente, con *Planktothrix* como cianobacteria principal, además se han detectado problemas ocasionales por la presencia de hierro, arsénico, manganeso, amonio y sulfuros. Además de una gestión deficiente, la planta no tiene tratamientos adecuados, ya que sólo filtra y desinfecta. Por este motivo, se realizan más controles en vigilancia sanitaria que de presencia de toxina en el embalse (tabla 6). Se ha detectado toxina en red en 19 ocasiones y una de ellas mayor de 1 µg/L en el autocontrol (por medio de inmunoensayo), lo que ha obligado a prohibir el suministro.

Durante el período de estudio se tomaron un total de 542 muestras en los distintos embalses y 487 a la entrada

y a la salida de las ETAP de los abastecimientos. En cada muestreo se determinaron las 12 toxinas indicadas anteriormente, tanto sestónicas como disueltas, por lo que el número de determinaciones fue de 11 688. Se detectó la presencia de toxina en 298 determinaciones, tanto en el cuerpo del embalse como en la entrada y a la salida de la ETAP. Se detectó presencia de toxina a la salida de la ETAP en un total de 20 determinaciones y solo en 1 caso con valor $> 1 \mu\text{g/L}$ de toxina (en este caso microcistina).

Tabla 6. Resultados del muestreo del embalse de Vilasouto y ETAP de Bóveda

Punto de muestreo	Nº de muestras	Toxinas de terminadas	Toxinas detectadas	Toxina $> 1 \text{ mg/L}$
Embalse	19	456	15	5
Antes de la ETAP	0	0	0	0
Después de la ETAP	86	0	19	0
Totales	105	456	34	5

DISCUSIÓN

La bibliografía consultada recoge distintos niveles de alerta, que se definen por el valor de un parámetro directamente relacionado con las cianobacterias (número de células, biovolumen o concentración de clorofila *a*), así como por la detección de cianotoxinas^{3,11,12}. El elemento disparador primario para pasar de un estado de normalidad a otro de vigilancia o alerta es, en la mayoría de los casos, la superación de las 2000 células de cianobacterias por mililitro, que recogen las guías de la OMS. Una vez en estado de alerta, en nuestro protocolo no se establecen medidas adicionales en función del recuento celular, sino basadas exclusivamente en los valores paramétricos de microcistinas (sestónicas o disueltas).

Además del número de células, también se utiliza el criterio de experto. Cuando se den las condiciones que hagan previsible la aparición de un florecimiento inminente, se puede declarar un estado de alerta sin que se alcancen los valores de 2000 células por mililitro, lo que permite adoptar las correspondientes medidas de gestión con un menor tiempo de respuesta.

El mayor activo de este protocolo es la coordinación existente con los organismos de cuenca, que permite

una toma de decisiones en función de la información obtenida sobre la toxicidad de las cepas de cianobacterias y de esta manera minimizar los riesgos para la salud.

Cada célula de cianobacterias puede contener en su interior un nivel significativo de toxina que puede ser liberada en el agua en el caso en el que se dañe la pared celular. Dado que la toxina disuelta no se elimina fácilmente por los tratamientos de agua convencionales, la forma más eficaz de reducir su concentración total en el agua es eliminar las células intactas. Esto puede hacerse mediante la selección de sólo aquellos procesos que pueden reducir el nivel de las cianobacterias sin causar la lisis celular.¹⁶

Con excepción de la de Bóveda, las demás ETAP aplican un proceso de coagulación/floculación, que puede ser un eficiente método para eliminar células de cianobacterias del agua, aunque las cianotoxinas solubles no se eliminan de manera muy eficiente¹³. La coagulación con alúmina a pH 6,3 es un método con un buen rendimiento para la eliminación de las cianobacterias, cumpliendo además los objetivos de calidad del agua. No obstante, a un pH < 6 hay un riesgo de lisis celular y de liberación de metabolitos con cualquier coagulante¹² lo que es de gran importancia en Galicia, con aguas con pH de estas características.

El comportamiento de las cianobacterias durante el proceso de coagulación/floculación está en gran medida influenciado por el tipo y la forma de las células de algas: alta motilidad y una geometría alargada y filamentosa puede perjudicar la coagulación del floculo. En la actualidad, se pueden encontrar en la literatura consejos contradictorios acerca de los tipos de coagulante y polielectrolito más eficaz en la eliminación de las cianobacterias. También se debe evaluar el grado de lisis celular causado por la agitación mecánica después de la adición de los reactivos¹⁶.

Todas las ETAP realizan una decantación y posterior filtración por arena, con excepción de Valdoviño que utiliza una filtración airlift.

El tratamiento convencional (coagulación, floculación, clarificación y filtración) se considera, generalmente, que tiene una eficacia limitada para la eliminación de las microcistinas extracelulares, por lo que se requieren procesos adicionales, tales como la adsorción, oxidación química, la biodegradación, la ósmosis inversa o la nanofiltración para eliminar microcistinas extracelulares⁷.

Puesto que la coagulación/floculación, decantación y filtración son procesos comunes, el análisis se centra en

los distintos procesos para la eliminación de toxinas que se aplican en las cinco ETAP.

En la ETAP de Ferrol se realiza una precloración. Si bien la cloración en condiciones controladas es efectiva para la eliminación de toxina extracelular, la literatura sugiere que, la precloración debería ser suspendida en presencia de cianobacterias. A dosis bajas, donde la integridad y la viabilidad de las cianobacterias no están afectadas, no se obtiene ningún beneficio en términos de coagulación o de la demanda química, mientras que hay costos significativos asociados con la cloración. A concentraciones más altas de cloro, cuando la integridad celular y la viabilidad se ven afectadas, puede haber efectos beneficiosos sobre la coagulación debido a la pérdida de la flotabilidad de las células, sin embargo, esto resultará en la liberación de metabolitos². Por ello, sería necesario un estudio más detallado de las características de las toxinas presentes en esta ETAP, para afinar con los parámetros finales del procedimiento o en su caso valorar sustitución por otros más eficaces.

Por otro lado, la preozonización, ha sido ampliamente utilizada para ayudar a la coagulación. El principal problema asociado con este método es el peligro de la lisis celular y la liberación de toxinas. Entonces, sería esencial un segundo paso de post-ozonización, utilizando una concentración de ozono lo suficientemente alta como para oxidar el resto la materia orgánica y la toxina¹³. Los resultados de este estudio, sin tener en cuenta otros parámetros que pudieran afectar al proceso final, coincidirían con esta apreciación ya que en la ETAP de Sabón, que aplica únicamente una pre-ozonización sin posterior post-ozonización, se detecta la presencia de toxina en agua tratada.

En la ETAP de A Telva se dispone de un proceso de preoxidación con permanganato potásico. La preoxidación de microcistinas en agua por permanganato es uno de los procesos más eficaces para la oxidación de microcistinas extracelulares en agua. Rodríguez et ál.¹⁴ mostraron una oxidación del 90 % de microcistina-LR en una dosis de 1,0 mg/L, con un tiempo de contacto de 60 minutos, un pH de 8, y una temperatura de 20 °C. La oxidación completa se produjo a una dosis de 1,5 mg/L, si bien pueden producir problemas con la coloración del agua que pueden dar lugar a quejas de los consumidores⁷. No obstante, durante el periodo de estudio no fue necesario su aplicación ya que no se dieron las condiciones de presencia de toxina recogidas en el protocolo de actuación, por lo que no se puede evaluar la eficacia del tratamiento en esta ETAP.

El carbón activado es un material poroso que se

caracteriza por un alto desarrollo superficial. Está disponible en dos formas: carbón activado en polvo (CAP) y carbón activado granular (CAG)¹⁶.

El CAP presenta como ventaja, que se puede añadir antes o durante la sedimentación de coagulación. Su uso se puede limitar al periodo de floración de algas, para contener los costos de operación. La principal desventaja de la utilización de CAP, deriva del hecho de que el tiempo de contacto es demasiado bajo para explotar al máximo la capacidad total de adsorción de carbón. En la elección del tipo de CAP, el punto de entrada y la dosis recomendada para la eliminación de los cianotoxinas hay necesidad de considerar también la competencia con la materia orgánica natural, cuya concentración en el agua es normalmente alrededor de tres órdenes de magnitud mayor que la de los microcontaminantes para eliminar¹⁶.

El CAG se emplea, generalmente, entre el tratamiento convencional y el posterior a la desinfección o, posiblemente, en la filtración primaria en lugar de arena o antracita o también en la adición a la propia arena. Proporciona una barrera constante y eficaz contra la contaminación inesperada de toxinas y sustancias que pueden alterar las propiedades organolépticas del agua. El tiempo necesario para saturación de CAG depende del tipo de carbón utilizado, la concentración y la naturaleza de las sustancias orgánicas presentes en el agua y el tiempo de residencia en el lecho vacío¹⁶.

Todos los adsorbentes de carbón desarrollan actividad biológica que puede mejorarse a través de preozonización o mayor tiempo de residencia. La capa biológicamente activa es capaz de reducir las toxinas y otras sustancias orgánicas biodegradables causando un aumento en la vida del filtro de carbón¹⁶.

En este sentido, las ETAP que utilizan CAP, en este estudio A Telva, tendrán que desarrollar un procedimiento específico, ya que el porcentaje de eliminación de toxina por medio de CAP varía en función de la toxina presente (RR, LR, YR o LA), así como la dosis y el tiempo de contacto². El gestor deberá conocer cuáles son las características específicas del agua que tiene que tratar para conseguir unos resultados de eliminación de la toxina más favorable. Antes de elegir un material adsorbente ha de llevarse a cabo una prueba comparativa para determinar el adsorbente más eficaz para la toxina en particular, o la mezcla de toxinas para las que una planta debe estar preparada³.

Los resultados del presente estudio dieron lugar a varias actuaciones, en primer lugar a una revisión del protocolo de actuación en lo referente a la frecuencia

de determinación de toxina en embalse por parte del organismo de cuenca, que pasó de ser semanal a quincenal. Se consideró que una vez que el embalse está en situación de alerta, con presencia de cianotoxinas y que el riesgo asociado a este peligro ya ha sido comunicado a los gestores, la frecuencia establecida en el protocolo de actuación para determinar la presencia de toxinas a la salida de sus plantas de tratamiento (diaria si es mayor de 1 µg/L o cada 3 días si es inferior a 1 µg/L) era suficiente para garantizar un control adecuado de la calidad del agua, por lo que no era necesario una determinación tan reiterada de los niveles de toxina en el embalse mientras no variaran los recuentos celulares.

Se prioriza la información al gestor sobre el nivel de riesgo, de modo que pueda controlar los niveles de toxina y materia orgánica a la entrada y salida de la planta, ajustando los tratamientos para que los niveles de toxina sean menores de 1 µg/L.

Por otro lado, según estos resultados, para la gestión del riesgo se confirma la necesidad de incidir en la dotación de las ETAP con sistemas de tratamiento adecuados, adaptados a las características específicas del agua a tratar y de las especies presentes.

Finalmente, el control del mantenimiento de la planta va a determinar, en último término, que una adecuada planificación de la actuación resulte eficaz.

AGRADECIMIENTOS

- Rede de Observación Ambiental de Galicia, Laboratorio de Medio Ambiente de Galicia.
- Área de Calidade das Augas de Augas de Galicia.
- Área de Gestión Ambiental, Calidad de Agua y Vertidos de la Confederación Hidrográfica Miño-Sil.
- Subdirección Xeral de Investigación, Cambio Climático e Información Ambiental. Secretaría Xeral de Calidade e Avaliación Ambiental. Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio. Lourizán (Pontevedra).
- Al Personal del Laboratorio de Saúde Pública de Galicia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Management of Cyanobacteria in Drinking-water Supplies: Information for regulators and water suppliers. WHO/FWC/WSH/15.03. Technical Brief. Ginebra: WHO, 2015 [actualizado en 2015; citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/cyanobacteria_in_drinking-water.pdf.
2. Newcombe G, Dreyfus J, Monrolin Y, et ál. Optimizing Conventional Treatment for the Removal of Cyanobacteria and Toxins. Denver, CO: Water Research Foundation. 2015. [citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: http://www.waterrf.org/ExecutiveSummaryLibrary/4315_ProjectSummary.pdf.
3. International Guidance Manual for the Management of Toxic Cyanobacteria. Global Water Research Coalition Water Quality Research Australia. London: Global Water Research Coalition, 2009. [actualizado en 2009; citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: <https://www.waterra.com.au/cyanobacteria-manual/PDF/GWRCCGuidanceManualLevel1.pdf>.
4. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE nº 45, de 21 de febrero de 2003. [actualizado en 2016; citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2003/BOE-A-2003-3596-consolidado.pdf>.
5. Chorus I, Bartram J (eds). 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E and FN Spon. Published on behalf of the World Health Organization. [citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxycyanchap3.pdf.
6. Ministry of Health. 2016. Guidelines for Drinking-water Quality Management for New Zealand (2nd edn). Wellington: Ministry of Health, 2016. [actualizado en 2016; citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: <http://www.health.govt.nz/publication/guidelines-drinking-water-quality-management-new-zealand>.
7. Drinking Water Health Advisory for the Cyanobacterial Microcystin Toxins. U.S. Environmental Protection Agency Office of Water. EPA Document Number: 820R15100. June 15. Washington DC: USEPA, 2015. [citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/microcystins-report-2015.pdf>.
8. Seguimento e control de cianobacterias. Novo protocolo. Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia. [citado el 12 de mayo de 2017] Disponible en: <http://siam.xunta.gal/protocolo-seguimento-de-cianobacteria>.
9. Actuacións nos abastecementos de auga de consumo público que captan dun encoro con risco de crecemento de cianobacterias. Dirección Xeral de Saúde Pública. Consellería de Sanidade. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia. [citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: <http://www.sergas.es/Saude-publica/Documents/1520/ProtActAbastCiano.pdf>.
10. Catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio, 2011.
11. Du Preez HH, and Van Baalen L. Generic Management Framework for toxic blue-green algal blooms, for application by potable water suppliers. WRC Report No: TT 263/06. Pretoria: Water Research Commission, 2006.
12. Newcombe G, House J, Ho L, et ál. Management Strategies for Cyanobacteria (Blue-Green Algae) and their Toxins: A Guide

- for Water Utilities. CRC for Water Quality and Treatment/WQRA Research Report 74. Adelaide: WQRA Head Office, 2009. [citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: <http://www.waterra.com.au/cyanobacteria-manual/Overview.htm>.
13. Hitzfeld BC, Hoger SJ, Dietrich DR. Cyanobacterial Toxins: Removal during Drinking Water Treatment, and Human Risk Assessment. Germany. *Environmental Health Perspectives*. 2000; 108(1):113-22. [citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: https://kops.unikonstanz.de/bitstream/handle/123456789/7458/Cyanobacterial_toxins.pdf?sequence=1.
 14. Rodríguez E, Onstad GD, Kull TPJ, et ál. Oxidative elimination of cyanotoxins: comparison of ozone, chlorine, chlorine dioxide and permanganate. *Water Research*. 2007; 41(15): 3381-93.
 15. Ewerts H, Swanepoel A, du Preez HH. Efficacy of conventional drinking water treatment processes in removing problem-causing phytoplankton and associated organic compounds, South Africa *Water SA*. 2013; 39(5):739-49 [actualizado en 2013; citado el 25 de octubre de 2016] Disponible en: <http://www.ajol.info/index.php/wsa/article/viewFile/95362/84710>.
 16. Istituto Superiore di Sanità. Cianobatteri in acque destinate a consumo umano. Stato delle conoscenze per la valutazione del rischio. Volume 1. A cura di Luca Lucentini e Massimo Ottaviani per il "Gruppo nazionale per la gestione del rischio cianobatteri in acque destinate a consumo umano" 2011, XXII, 165 p. Rapporti ISTISAN 11/35 Pt. 1. Roma: Istituto Superiore di Sanità, 2011. [citado el 4 de abril de 2017] Disponible en: http://www.iss.it/binary/publ/cont/11_35_pt_1_web.pdf.