



Nuevos riesgos para el agua potable: Microcistina. Mejora de la calidad del agua de consumo por eliminación de toxinas

Estudio dirigido por **Yolanda Vergara - María Luisa Peleato**



CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL DE ARAGÓN
COLECCIÓN TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

Premio Proyecto de Investigación del
Consejo Económico y Social de Aragón 2005

Equipo de Investigación:

OX-CTA, S.L.
Yolanda Vergara Larrayad
Armando Moya Jaraba

Dpto Bioquímica Universidad Zaragoza
María Luisa Peleato Sánchez
Enma Sevilla Miguel
Sara López Gomollón

La responsabilidad de las opiniones expresadas en las publicaciones editadas por el CES de Aragón incumbe exclusivamente a sus autores y su publicación no significa que el Consejo se identifique con las mismas.

La reproducción de esta publicación está permitida citando su procedencia.

Primera edición, 15 de septiembre de 2007
© Consejo Económico y Social de Aragón, 2007.
Derechos reservados conforme a la Ley:
CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL DE ARAGÓN
Avda. César Augusto, 30 Ed. Verdi, 1º H.
50004 Zaragoza. ESPAÑA.
Tel.: 976 21 05 50 – Fax 976 21 58 44
E-mail: cesa@aragon.es
Información Internet: <http://www.aragon.es>

Depósito Legal: Z-3695/07

Imprime: ARPIrelieve S.A.

Nuevos riesgos para el agua potable:

Microcistina. Mejora de la calidad del
agua de consumo por eliminación de toxinas

Premios a Proyectos de Investigación CESA 2005

El CES de Aragón con el fin de promover y divulgar la investigación en las materias relacionadas con sus funciones convoca anualmente un premio a un Proyecto de Investigación, en cuya convocatoria del año 2005, efectuada por Resolución de 29 de agosto de 2005, de la Presidencia del Consejo Económico y Social de Aragón (BOA n.º 107 de 7 de septiembre de 2005), pudieron participar los investigadores o equipos de investigadores, bajo la dirección de un investigador principal o coordinador del Proyecto y responsable del mismo a todos los efectos, que presentaran un Proyecto de Investigación sobre cualquier materia económica, social y laboral con trascendencia para la Comunidad Autónoma de Aragón.

Por Resolución de 29 de noviembre de 2005, de la Presidencia del Consejo Económico y Social de Aragón (BOA n.º 148 de 14 de diciembre de 2005) se otorgó el premio Proyecto de Investigación 2005, dotado con 15.000 euros, al proyecto "Nuevos riesgos para el agua potable: Microcistina. Mejora de calidad del agua de consumo por eliminación de toxinas" del equipo de investigación dirigido por doña Yolanda Vergara Larrayad como investigadora principal.

El Jurado encargado de fallar el premio ha estado compuesto por los siguientes miembros:

Presidente: D. Jorge Arasanz Mallo

Secretario: D. Miguel Ángel Gil Condón

Vocales: M.^a José González Ordovás (en representación del Gobierno de Aragón)

D. Javier Franco Enguita (en representación de las organizaciones sindicales)

D. Carmelo Pérez Serrano (en representación de las organizaciones empresariales)

D. José Luis Briz Velasco (en calidad de experto)

D.^a Ana Navas Izquierdo (en calidad de experta)

Secretaría Técnica: D.^a Belén López Aldea

La Comisión de Seguimiento del Proyecto ha estado constituida, por su parte, por los siguientes miembros:

Presidente: D. Jorge Arasanz Mallo

Secretario: D. Miguel Ángel Gil Condón

Expertos: Ana Navas Izquierdo

Pilar Gómez López

Presentación

Existen gran cantidad de lagos, embalses o depósitos contaminados que pueden provocar problemas de salud pública y ambiental. Los tratamientos utilizados en el intento de evitar esta contaminación, como el cloro, pueden llegar a empeorar la situación. Existen alternativas al cloro en el tratamiento y mejora de la calidad de las aguas no sólo más efectivas sino también con menos impacto en el medio ambiente.

El Consejo Económico y Social de Aragón, en un período en el que urge todo lo relativo a la buena gestión del agua como recurso escaso, ha decidido publicar este resumen del trabajo resultante del Premio Proyecto de Investigación 2005, entendiendo que su divulgación puede ayudar a la sensibilización de los principales agentes sociales y que su desarrollo puede singularizar la presencia aragonesa en el sector. Con esta publicación, de carácter eminentemente divulgativo, se adjunta un CD que contiene toda la información referente a los datos técnicos de las investigaciones que sustentan las conclusiones contenidas en la misma.

En este proyecto, OX-CTA y el Departamento de Bioquímica de la Universidad de Zaragoza investigan en el desarrollo de un método de eliminación de microcistinas, las toxinas peligrosas más comunes en aguas eutrofizadas, y de sus agentes causantes, por medio de productos químicos y técnicas físicas que no originan subproductos perjudiciales para el medio ambiente. Los métodos OX, basados en el uso de peróxidos, son más seguros y menos perjudiciales que el cloro. Esta investigación ha demostrado que los métodos OX activados por sistemas físicos son efectivos en la lucha contra las cianobacterias y alguna de sus toxinas, las microcistinas. La integración de estos métodos en Estaciones de Tratamiento de Aguas es un objetivo posible y deseable.

Calidad del agua, calidad de vida

El agua es la base de la vida, y dependemos de ella. El 70% de la superficie de la Tierra es agua. Sin embargo, tan solo el 0.01% del agua dulce que existe en el planeta es aprovechable para consumo humano. Por esta razón, preservar la calidad de las aguas es un problema realmente acuciante. La calidad y la gestión del agua tienen actualmente una gran relevancia por parte de organismos y autoridades, aunque falta mucho por hacer.

En algunas partes del mundo la relación entre agua, higiene y salud es un hecho indiscutible. Pero para la mayoría de la población el acceso a agua limpia y adecuada es una lucha diaria. El 90% de las muertes relacionadas con el agua se deben a la contaminación y no a la escasez. Ni la neumonía, ni el sarampión u otras enfermedades epidémicas: el principal agente letal para la comunidad infantil de los países en vías de desarrollo es, precisamente, el elemento más imprescindible para la vida, el agua. Más de dos millones de niños menores de cinco años mueren cada año a consecuencia de enfermedades diarreicas provocadas por cauces de agua contaminada y la falta de un saneamiento adecuado. Naciones Unidas y Unicef recuerdan además que los pequeños que viven en condiciones insalubres y beben agua no segura enferman más a menudo, de forma más grave y sufren retrasos en su crecimiento y desarrollo.

Aunque sin problemas de salubridad ni riesgos inmediatos para la población, los países desarrollados tampoco escapan a las críticas por el despilfarro y la mala gestión hídrica generalizados. En su informe "Índice de Agua y Humedales", la organización ecologista WWF/Adena (Asociación para la defensa de la naturaleza) pasa revista a las políticas hidrológicas de 23 países europeos y señala a Finlandia, Suiza y Bélgica como los más rigurosos, mientras España, Grecia e Italia figuran entre los de peor gestión hídrica. Según el estudio, 50 de los 69 tramos de ríos analizados en el continente tienen una calidad ecológica "pobre" debido al impacto de las canalizaciones, presas, contaminación y regímenes fluviales alterados. Además, en la mayoría de los países la red de seguimiento de control de la calidad de las aguas "es muy deficiente". En España, denuncia Adena, los puntos de toma de datos de calidad se ubican "de forma interesada" en la cabecera de los ríos, donde la contaminación es menor, mientras que en los tramos más conflictivos escasean los controles¹. Concluye esta organización que las actuales políticas no garantizan el buen estado ecológico y químico de las aguas, que la nueva Directiva Marco del Agua de la Unión Europea exige que se alcance para 2015, por lo que todos los países pertenecientes deben revisar su "filosofía del agua" y no limitarse a simples retoques formales para cumplir los mínimos de la normativa europea².

El agua es un bien común y es un recurso renovable, pero limitado. En épocas de escasez de agua como la que nos encontramos, hay que rentabilizar los recursos de agua con los que contamos. Por esta razón, estamos obligados a controlar no sólo la disponibilidad, sino la conservación de los reservorios, controlando la calidad de sus aguas.

¹ "Water and wetland index: Critical issues in water policy across Europe", WWF/ADENA, 2003.

² Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Dicha directiva fue transpuesta al ordenamiento jurídico español a través de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre de 2000.

En España existen ya más de 1.200 grandes embalses. En cuanto a la contaminación, sólo el 48% de las aguas residuales se depuran, nuestro país figura entre los países con mayor uso de plaguicidas por hectárea y hay más de 10.000 vertidos industriales al año. En cuanto al consumo del agua, el regadío supone el 70% del agua utilizada y 18 acuíferos han sido oficialmente declarados como "sobreeplotados".

Los plaguicidas, herbicidas y abuso de abonos con nitrógeno y fósforo, provocan la contaminación y la eutrofización de las aguas con el consiguiente incremento de fitoplancton en ellas. Estos "blooms" o proliferaciones indeseadas son actualmente muy frecuentes debido al creciente enriquecimiento en nutrientes de todos nuestros acuíferos, que se constituyen en un medio de cultivo muy apropiado para organismos de tipo fotoautótrofo, con unos requerimientos nutricionales muy bajos.

El aumento del fitoplancton tiene consecuencias de muy diversa índole como la obstrucción de conducciones o el colapso vital por agotamiento de oxígeno³, las proliferaciones de bacterias que usan como sustrato la biomasa generada, etc. Una de las consecuencias severas que puede originar el fitoplancton es la producción de toxinas peligrosas, que pueden dar lugar a un problema de salud pública. La eliminación sin efectos laterales indeseados de estas toxinas o de las bacterias que las producen no es un problema fácil de resolver y es el objeto principal de la investigación que aquí se resume.

Las cianobacterias y sus cianotoxinas

La producción de toxinas en aguas eutrofizadas está originada principalmente por cianobacterias. Una foto al microscopio de *Mycrocystis sp* se puede ver en la figura 1. Las toxinas que producen se conocen como cianotoxinas. De ellas, las más frecuentes se denominan microcistinas. Aunque estas toxinas se descubrieron en el género *Microcystis sp*, de ahí su nombre, se ha sabido posteriormente que las pueden producir también otros géneros bacterianos.

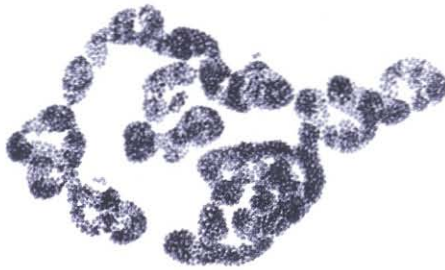


Fig. 1. Foto al microscopio de *Microcystis sp*

Los factores ambientales en los que una cianobacteria pasa a expresar toxinas es uno de los aspectos más estudiados por los especialistas, pero dista mucho de estar claro. Parece ser que altas temperaturas, alta luminosidad, poco viento (es decir, aguas tranquilas y no aireadas), además de disponibilidad de nitrógeno y fósforo, podrían ser los factores implica-

³ Colapso vital por agotamiento de oxígeno: daños al ecosistema por agotamiento del oxígeno disuelto.

dos en que una determinada especie se transforme en tóxica, dando lugar a grandes problemas cuando estas proliferaciones y liberaciones de toxinas se producen en agua para consumo humano o ganadería.

Los ambientes de riesgo son particularmente todos los embalses o reservorios de agua con alto contenido en nutrientes, utilizados en suministro de agua para consumo humano o ganado. Estudios recientes sobre una amplia muestra de embalses en España indican que aproximadamente en la mitad de ellos las cianobacterias potencialmente tóxicas son abundantes o dominantes⁴.

ESTRUCTURA DE LAS MICROCISTINAS

Las microcistinas son toxinas peptídicas de bajo peso molecular y relativamente polares. Poseen una estructura heptapeptídica (ver fig. 2). Hay más de 70 isoformas de microcistinas diferentes, la más frecuente y estudiada es la microcistina LR (MC-LR).

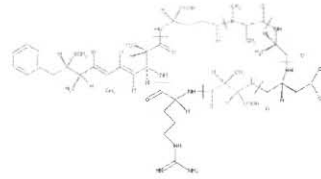


Fig. 2. Estructura de MC-LR

Toxicidad y riesgos para la salud de las cianotoxinas

Las cianotoxinas se clasifican en función de sus efectos sobre la salud:

■ TABLA 1

Clasificación de cianotoxinas

Dermatoxinas	Son alcaloides como apliasiatoxina y lyngbyatoxina que producen dermatitis severa con el simple contacto cutáneo. En caso de ingestión accidental producen inflamación gastrointestinal.
Neurotoxinas	Normalmente son alcaloides que afectan al sistema nervioso de los vertebrados. Ejemplos: anatoxina-a , anatoxina-a (s) y saxitoxinas .
Hepatotoxinas	Grupo al que pertenecen las microcistinas , pero se encuentran también las nodularinas . Se consideran las más importantes por su abundancia en la naturaleza y su elevada toxicidad. Son toxinas muy estables y no las destruyen los oxidantes comunes.
Citotoxinas	Son de naturaleza alcaloide y sus mecanismos de acción no se conocen todavía al 100%, afecta a muchas líneas celulares y a varios órganos como hígado, bazo, riñones, timo y corazón. A este grupo pertenece la cilindrospermopsina .

Las microcistinas afectan a muchos y diversos organismos, desde algas microscópicas hasta mamíferos. En los mamíferos, las microcistinas se introducen por las células hepáticas, inhibiendo de una manera irreversible las protein-fosfatasas 1 y 2A (PP1 y PP2A) provocando el deterioro del hígado con posible necrosis y hemorragias internas mortales. El hígado pierde su estructura y desarrolla las lesiones internas características. Los síntomas típicos de una intoxicación incluyen dolor abdominal, náuseas, vómitos, diarrea, dolor de cabeza y de garganta, mareos e irritaciones en piel y ojos.

⁴ Caridad de Hoyos Alonso: Cianobacterias en los embalses españoles. Jornadas sobre las cianobacterias tóxicas. Problemas asociados. Seguimiento y control. 2006.

Las microcistinas constituyen un serio asunto de salud pública ya que la exposición del hombre a estas toxinas es relativamente fácil. Puede ser exposición directa a través de agua de red, de recreo o indirecta a través de los alimentos. Su toxicidad también es notable en plantas de cultivo que servirán para el propio consumo humano, ya que el agua de riego puede contener microcistinas. Así por ejemplo, la lechuga (*Lactuca sativa*) retiene las microcistinas del agua de riego por aspersión. Los moluscos, cangrejos y peces de consumo humano también tienen la capacidad de acumulación de las microcistinas provocándonos un elevado peligro por intoxicación.

Las microcistinas pueden producir intoxicaciones agudas e incluso promover tumores en el caso de exposiciones crónicas o prolongadas a ellas por medio del agua de bebida (problema con una alta incidencia en China). La elevada toxicidad de las microcistinas se muestra en la Tabla 2⁵.

■ TABLA 2

Toxicidad en ratón por vía intraperitoneal de las cianotoxinas y otros compuestos químicos

Clase	Cianotoxina	Dosis Letal 50* (µg / kg peso corporal)
Hepatotoxinas	Microcistina-LR	50
	Microcistina-YR	70
	Microcistina-RR	300-600
	Nodularina	30-50
Neurotoxinas	Anatoxina-a	250
	Anatoxina-a (s)	40
	Saxitoxinas	10-30
Citotoxinas	Cilindropermopsina	200
Endotoxinas	Lipopolisacáridos	70.000
Dermatotoxinas	Apilsiatoxina	300
Otros tóxicos no cianobacterianos	Atrazina	4.000.000
	Sarin	100

* DL₅₀: Dosis necesaria para matar a la mitad de la población en estudio. En este caso en ratón, lo que no implica que sea la misma dosis en rata o en humanos.

Casos de intoxicación por cianotoxinas documentados

El problema de eutrofización con desarrollo de toxinas es creciente en los países del área mediterránea. En el caso del ganado hay numerosas referencias de muertes por toxicidad procedente de cianobacterias. En el caso de humanos, fue tristemente famoso un caso de fallecimiento de numerosos pacientes sometidos a diálisis en Brasil (Ciudad de Caruaru, 1996). Es de destacar que en nuestro entorno se dio esta situación en el año 2000 en La Estanca de Alcañiz (Teruel) (Fig. 3), que aprovisiona de agua a varios pueblos que tuvieron que buscar fuente alternativa de agua.

⁵ Tabla extraída del texto "Cianobacterias en aguas de consumo y de recreo: Un problema de todos" de A. Quesada Corral Jornada sobre las cianobacterias tóxicas. Problemas asociados. Seguimiento y control. 2006



Fig. 3. La Estanca (Alcañiz, Teruel): En el año 2000 sufrió una proliferación tóxica de *Microcystis aeruginosa* que obligó a buscar abastecimiento de agua de boca alternativo para varios núcleos urbanos

Entre los casos más importantes de intoxicación que han afectado a la población, se encuentran los citados en la Tabla 3.

■ TABLA 3

Casos más importantes de intoxicación por microcistina

Agua de bebida

1931: EEUU: Un florecimiento masivo de *Microcystis* en los ríos de Ohio y Potomac afectó a miles de personas que consumieron agua potable procedente de estos ríos. El tratamiento del agua mediante precipitación, filtración y cloración no fue suficiente para eliminar las toxinas⁶.

1981: Australia: En la ciudad de Armidale, se encontraron niveles de enzimas hepáticas elevados en la sangre de la población abastecida de agua superficial contaminada con *Microcystis spp*⁷.

1988: Brasil: 2.000 personas enfermaron por la presencia de microcistina en las aguas de bebida, de las que murieron 88. El síntoma principal que presentaron fue una gastroenteritis.

Aguas recreativas

1995: Australia: La evidencia epidemiológica acerca de los efectos adversos sobre la salud después del contacto con aguas recreativas obtenida de un estudio prospectivo con 852 personas, mostró una elevada incidencia de diarrea, vómito, síntomas de gripe, erupciones en la piel, úlceras en la boca, fiebre, irritación del ojo u oído de entre 2 a 7 días después de la exposición. Los síntomas aumentaron significativamente según la duración del contacto con el agua y densidad de células cianobacterianas⁸.

Hemodiálisis

1996: Brasil: En la ciudad de Caruaru, de 130 pacientes expuestos a microcistinas a través del agua utilizada para diálisis, murieron 56. Al menos 44 mostraban los típicos síntomas relacionados con microcistinas, actualmente denominados y el contenido de microcistinas en el hígado correspondía al de animales de laboratorio que habían recibido una dosis letal de microcistina⁹.

⁶ Tisdale, 1931

⁷ Falconer y otros, 1983

⁸ Pilotto y otros, 1997

⁹ Carmichael, 1996

Recomendaciones de seguridad y Legislación

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha definido unas pautas motivadas por el peligro de formación de tumores ante una exposición crónica a la toxina¹⁰. El nivel de consumo seguro propuesto para la MC-LR es de 1 µg/l, basado en estudios realizados a cerdos y ratones a los que se administró oralmente la MC-LR.

Este nivel ha sido aceptado por la gran mayoría de países, pero hay otros como Canadá que ha propuesto un valor de 1,5 µg/L, o Australia que ha propuesto un rango de 1,3 a 10 µg/l. Para comprender mejor la toxicidad de la microcistina, es necesario explicar que la cantidad que resulta tóxica es muy baja. Baste con pensar lo que significa el límite de 1 µg/l propuesto por la OMS (1 microgramo por litro): si en un día ingerimos un litro de agua contaminada con microcistina, ese límite se alcanza con un millonésimo de gramo (0,000001 gramos) de microcistina en ese litro de agua.

Se ha determinado un valor de Ingesta Diaria Tolerable (IDT) de microcistina de 0,04 microgramos por kilogramo y por día¹¹. Se ha propuesto un valor guía de 0,01 µg/L en casos de exposición crónica. Con respecto a la adquisición de MC-LR por medio de los alimentos se propone un valor máximo de 10 µg/g.

En España se establece la cantidad de 1 µg/L de MC-LR en agua de consumo humano según el RD 140/2003¹². Esta legislación no recomienda ninguna metodología ni establece las variantes de microcistina a seguir, lo que dificulta el cumplimiento de la normativa. La legislación, por otra parte, sólo hace referencia a la microcistina pero no dice nada de otras cianotoxinas importantes encontradas también en embalses españoles como la cilindrospermopsina y la anatoxina.

No hay legislación relativa a aguas de recreo, pero la OMS recomienda no permitir el baño si hay presencia de más de 20.000 células de cianobacterias potencialmente tóxicas por ml de agua (10 µg clorofila/l).

Eliminación de microcistina en agua

El control del fitoplancton productor de toxinas (principalmente cianobacterias) es una medida preventiva que puede evitar daños a personas y animales, pero las técnicas actuales de tratamiento en estaciones de potabilización de agua pueden resultar inefectivas frente a la eliminación de microcistinas. En la tabla 4 se hace referencia a los principales métodos usados en estaciones potabilizadoras de agua, y los efectos que podrían producir sobre las cianobacterias en general y las microcistinas en particular.

¹⁰ http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3sp.pdf

¹¹ Dicho valor de IDT ha sido obtenido a partir del valor NOAEL (Non Observed Adverse Effects Level), o nivel sin efectos adversos aplicado un factor de incertidumbre de 1000. Dicho valor de NOAEL se ha determinado en 40 µg/kg/día, basándose en las lesiones histopatológicas hepáticas y alteraciones enzimáticas séricas observadas en los ensayos en laboratorio.

¹² Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua del consumo humano (BOE 45/2003, de 21 de febrero).

La toxina microcistina se encuentra en su mayor parte en el interior de las células. Sólo en un pequeño porcentaje es excretado al exterior. Un tratamiento inadecuado puede provocar la ruptura de las células y derivar en la liberación de toda la microcistina contenida en el interior de las mismas. Los sistemas convencionales que se utilizan no son capaces de degradar esta toxina, por lo que se puede llegar a la paradójica situación de que tras el tratamiento, la cantidad de microcistina en el agua sea superior a la que había anteriormente.

■ TABLA 4

Algunos de los posibles sistemas de tratamiento de plantas potabilizadoras

Sistemas de ósmosis y filtración	Se impide el paso de determinados componentes del agua a través de membranas especiales, de diferentes tamaños de poro. Con las membranas de ultrafiltración retienen las cianobacterias, pero produciendo a la vez una liberación de toxinas al exterior. Las membranas de micro y nano filtración sí que son capaces de retener microcistina. Por otra parte, hay que tener en cuenta que no se produce eliminación de las toxinas, tan solo retención. A posteriori quedaría por resolver el tema de limpieza de las membranas que podrían dejar a su vez microcistina en el medio.
Sistemas de coagulación-floculación	Puede resultar un método muy eficaz para la eliminación de la microcistina. Si se controla el proceso debidamente se puede llegar a un elevado porcentaje de eliminación, ya que se eliminan las células sin dañarlas, por lo tanto, sin que se produzca una liberación extra de microcistina al exterior. Sin embargo, si el proceso no se realiza de la forma adecuada o el coagulante no es apropiado, puede producirse el efecto ya comentado de rotura celular y liberación de la toxina al exterior. Los coagulantes más habituales son cloruro férrico y sulfato de aluminio.
Cloro	El ácido hipocloroso es efectivo pero muy dependiente del pH. A pH más altos, menor es su efectividad. Las altas dosis requeridas podrían acarrear problemas a los consumidores, y los productos de degradación podrían ser peligrosos.
Carbón activo	El carbón activo consiste en una red de poros de diferente tamaño. Estos poros proporcionan gran área interna superficial, que les permite adsorber los contaminantes del agua. Su uso está ampliamente extendido en plantas de tratamiento. Es un tratamiento efectivo en la eliminación de microcistina. En este caso, el tamaño del poro tiene gran importancia. Uno de los inconvenientes es su corta vida útil. Además no degrada a la microcistina, tan solo la retiene.
Ozono	Es un sistema de oxidación. Es potente y efectivo frente a las microcistinas. Su elevado coste y alto gasto energético son los principales puntos negativos.
Peróxido de hidrógeno	Sustancia totalmente respetuosa con el medio ambiente, no genera ningún subproducto de degradación. Sin embargo, su uso es limitado, debido a la diferencia de coste con respecto a otras sustancias químicas, y a la necesidad de concentraciones elevadas para obtener un rendimiento aceptable de degradación. En tratamientos combinados (con la fotocatalisis, por ejemplo) resulta muy activo y de especial interés.
Fotocatalisis (TiO₂/UV)	Tecnología en auge. Capaz de oxidar gran variedad de contaminantes y materia orgánica. Consta de una fuente de radiación ultravioleta y un semiconductor (dióxido de titanio). Al incidir sobre el semiconductor la radiación ultravioleta se generan radicales libres (especies químicas muy reactivas) de capacidad de oxidación superior al resto de los métodos. La combinación de este sistema con peróxido de hidrógeno (TiO ₂ /UV/H ₂ O ₂) aumenta la eficacia del mismo. Este sistema también puede ser útil para la eliminación de otros tipos de toxinas y contaminantes orgánicos difíciles de degradar. Con estos sistemas de oxidación hay que ajustar muy bien las condiciones de oxidación para que se pueda llegar a la degradación total de la toxina.

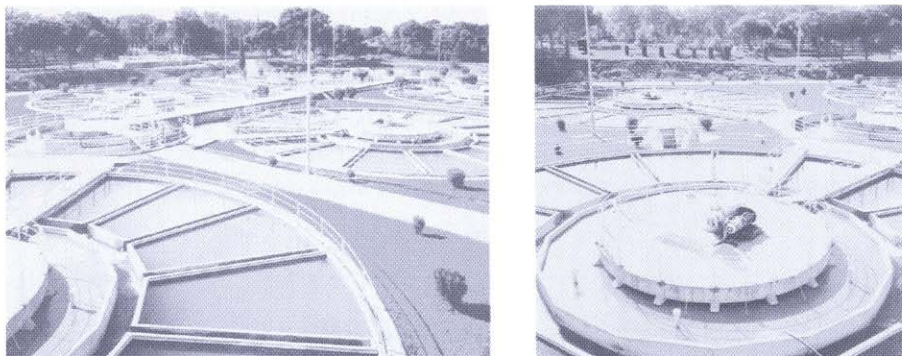


Fig. 4. Planta potabilizadora de Casablanca. [Zaragoza]

El principal método de eliminación utilizado actualmente para el tratamiento de las aguas en plantas potabilizadoras es el cloro (imagen de planta potabilizadora en fig. 4). Este desinfectante puede ser suministrado de muchas formas, que incluyen el gas cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida. Su principal ventaja es su bajo coste en comparación con otros métodos alternativos, pero presenta límites y contrapartidas en términos de salubridad y seguridad.

■ TABLA 5

Efectos de la cloración en función de la calidad del agua

Características del agua residual	Efecto en la desinfección con cloro
Amoniaco	Formación de cloraminas.
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	El grado de interferencia depende de los grupos funcionales y la estructura química
Dureza del agua, hierro y nitratos	De presentarse, sus efectos son menores
Nitrito	Reduce la efectividad del cloro y provoca formación de THM (Trihalometanos)
pH	Afecta a la distribución entre el ácido hipocloroso y los iones de hipoclorito y entre las varias especies químicas de cloraminas
Sólidos suspendidos totales	Aísla las bacterias que se encuentran incorporadas y que representan demanda de cloro

Eliminación de microcistina mediante tecnologías OX

El riesgo sobre la salud humana de la cloración del agua es evitable. Hay en la actualidad métodos de desinfección y líneas de potabilización alternativos al cloro y a los procedimientos usuales, con igual capacidad desinfectante y menor formación de compuestos clorados y bromados.

La empresa OX-CTA y el Departamento de Bioquímica de la Universidad de Zaragoza investigan conjuntamente en metodologías de eliminación de cianotoxinas (microcistina) mediante la utilización de productos OX, biodegradables y respetuosos con el medio ambiente, en combinación con un método físico de desinfección. El objetivo es aumentar de forma considerable la capacidad de desinfección de los productos mediante la sinergia entre ambos sistemas, químico y físico. Estos sistemas forman parte de las tecnologías de oxidación avanzada (AOT's) y no generan ningún tipo de subproducto tóxico ni peligroso para el medio ambiente. El funcionamiento del sistema de desinfección resultante se basará en la generación de especies químicas muy activas y de una gran eficacia frente a microorganismos y bacterias, pero de una vida muy corta y cuya degradación no implique ningún residuo.

El sistema OX está basado en la tecnología de la fotocatalisis. Se utiliza una fuente de radiación ultravioleta, que incide sobre un material semiconductor (dióxido de titanio) inmovilizado en el interior de un reactor de fotocatalisis. Al incidir la radiación ultravioleta de longitud de onda adecuada sobre el TiO_2 , se pueden generar radicales hidroxilo, especies químicas muy reactivas y con una capacidad de oxidación superior a los oxidantes convencionales (cloro, ozono o peróxidos). Dicha generación de radicales puede verse incrementada a través de la combinación del sistema con peróxido de hidrógeno, lo que incrementa la eficacia haciendo más eficaz el sistema.

En este trabajo OX-CTA ha desarrollado, junto con el Departamento de Bioquímica de la Universidad de Zaragoza, una metodología, que utiliza los productos OX para eliminar controladamente las cianobacterias tóxicas, así como sus cianotoxinas, las microcistinas.

El trabajo está orientado a su posible aplicación en las estaciones de tratamiento de agua (ETAP). Uno de los pasos utilizados en estas ETAP's es la coagulación-floculación. Se trata de un proceso que permite, además de rebajar la cantidad de contaminantes del agua, la eliminación de microcistina. Si se añade un paso final utilizando el método OX, puede proporcionarse un agua limpia, desinfectada y sin riesgo de toxicidad debido a microcistina, por la oxidación final de todos los productos o subproductos que pudiera haber.

Además de las alternativas propuestas como métodos OX existen otras que podrían ser utilizadas en combinación con los mismos, como el carbón activo, que es un método que se basa en la adsorción y consiste en retirar del agua las sustancias solubles mediante el filtrado a través de un lecho de este material, consiguiéndose que las distintas sustancias a eliminar pasen a través de los poros de los que se compone, separando y reteniendo en la superficie interna de los gránulos los compuestos más pesados.

Futuras investigaciones van en la línea de rebajar dosis de actuación, y ajustar parámetros del sistema, por lo tanto minimizar los costes, y disminuir tiempos de actuación.

Además de las conclusiones concretas extraídas de los resultados del desarrollo del proyecto para el que el CES de Aragón nos concedió el Premio Proyecto de Investigación 2005

hemos considerado de interés plantear unas reflexiones que reflejan por dónde debería continuar la investigación en el control de microcistina y otras toxinas que suponen un riesgo de salud pública.

Se debería seguir trabajando en prevención de enriquecimiento de nutrientes en masas de agua: bioseguridad (protección y restauración), aumentar estudios de monitorización de embalses/aguas brutas para agua de consumo como los que desarrollan entidades tales como CEDEX, UAM, US, MMA; como tarea pendiente queda una evaluación más exhaustiva de los tratamientos que se hacen en las ETAPs; desarrollar métodos de detección de degradación de MC y de toxicidad sin animales vivos; buscar métodos de eliminación que no nos generen más problemas.

Pero ante todo hay que remarcar que el problema de microcistina y de otras toxinas es un problema que atañe a todos: científicos, gestores, sanitarios, salud pública, confederaciones, empresas..., cada uno con su perspectiva puede aportar datos que lleven a control del riesgo que supone la presencia de toxinas, en particular microcistina en agua de consumo humano y animal.

NOTA: Con esta publicación se adjunta un CD que contiene toda la información referente a los datos técnicos de las investigaciones que sustentan las conclusiones de este informe.

Nuevos riesgos
para el agua potable:

Microcistina. Mejora de la calidad del
agua de consumo por eliminación de toxinas

Estudio dirigido por Yolanda Vergara - María Luisa Peleato



CONSEJO ECONÓMICO
Y SOCIAL DE ARAGÓN

Avda. César Augusto,
30, 1º H
50004 Zaragoza
Tel. 976 210 550
Fax 976 215 844
cesa@aragon.es

