

Mejillón cebra

Manual de control para
instalaciones afectadas

2^a
edición



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO

Mejillón cebra

Manual de control para
instalaciones afectadas

2^a
edición



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO

1ª edición julio 2007:

Realizado por: LABORATORIO DE ENSAYOS TÉCNICOS, S.A.

Cliente: CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO.

Dirigido por: Concha Durán Lalaguna.

Editado por **Confederación Hidrográfica del Ebro.**

Diseño y maquetación **Virtual&Civán, s.l.u.**

2ª edición octubre 2014 (modificada y actualizada):

Título del Informe: *MEJILLÓN CEBRA: MANUAL DE CONTROL PARA INSTALACIONES AFECTADAS.*

Esta publicación se edita como actualización del manual publicado en 2007. En esta nueva edición se aportan nuevos datos extraídos de la experiencia adquirida por la Confederación ante la plaga, así como datos concretos de instalaciones que están tratando el problema del mejillón cebra en la Cuenca del Ebro.

Fecha de publicación: octubre de 2014.

Realizado por: ÓSCAR SORIANO, S.L., Munia Lanao, Vincent Touya y Antonia Anadón.

Cliente: CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO.

Dirigido por: Concha Durán Lalaguna.

Editado por **Confederación Hidrográfica del Ebro.**

Referencia para bibliografía: Confederación Hidrográfica del Ebro. 2007. *“Mejillón cebra: manual de control de instalaciones afectadas”*. 2ª ed. Zaragoza. 42 pp.

Diseño y maquetación **Virtual&Civán, s.l.u.**

1. INTRODUCCIÓN	5
2. CONOCER LA ESPECIE ANTES DE APLICAR CUALQUIER TRATAMIENTO	7
3. MÉTODOS DE CONTROL	11
3.1. MÉTODOS DE CONTROL FÍSICOS	13
3.1.1. Filtración	13
3.1.2. Sistemas de infiltración	13
3.1.3. Deseccación/congelación	13
3.1.4. Limpieza mecánica	13
3.1.5. Radiación UV	13
3.1.6. Recubrimientos antiincrustantes	14
3.1.7. Shock térmico	15
3.1.8. Velocidad de flujo	15
3.2. MÉTODOS DE CONTROL QUÍMICOS	15
3.2.1. Cloración y derivados	15
3.2.2. Ozonificación	16
3.2.3. Peróxido de hidrógeno y ácido peracético	16
3.2.4. Compuestos químicos no oxidantes	16
3.3. NUEVAS TENDENCIAS EN DESARROLLO	17
3.3.1. Molusquicidas de origen natural	17
3.3.2. Encapsulación de agentes biocidas	17
4. INSTALACIÓN TIPO: PROBLEMÁTICA Y PRINCIPALES ESTRATEGIAS	19
4.1. COMPLEJO DE CAPTACIÓN	21
4.1.1. Esquema	21
4.1.2. Problemática asociada	21
4.1.3. Tratamientos más adecuados	22

4.2. SISTEMA DE BOMBEO	22
4.2.1. Esquema	22
4.2.2. Problemática asociada	22
4.2.3. Tratamientos más adecuados	23
4.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN	24
4.3.1. Esquema	24
4.3.2. Problemática asociada	24
4.3.3. Tratamientos más adecuados	24
5. PARTICULARIDADES EN LOS DIFERENTES TIPOS DE INSTALACIONES	25
<hr/>	
5.1. SISTEMAS DE REGADÍOS Y AGUA PARA USO ANIMAL ...	27
5.2. ESTACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLES ..	27
5.3. INDUSTRIAS CON PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA	28
5.4. INDUSTRIAS SIN PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA	28
6. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE NUEVAS CAPTACIONES DE AGUAS SUPERFICIALES	29
<hr/>	
7. CASOS PRÁCTICOS	33
<hr/>	
7.1. TRATAMIENTO PREVENTIVO	35
7.1.1. Hipoclorito sódico en un regadío	35
7.2. TRATAMIENTO DE CHOQUE	35
7.2.1. Hipoclorito sódico y sulfato de aluminio en estación potabilizadora	35
7.2.2. Ozonificación en sistemas de riego de parques	36
7.2.3. Peróxido acético en una instalación de riego	36
7.2.4. Shock térmico en industria	37
7.2.5. Implantación de filtros en potabilizadora	37
8. BIBLIOGRAFÍA	39
<hr/>	

I. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de esta publicación es informar a los usuarios del agua de algunas de las técnicas disponibles para prevenir y controlar la proliferación del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en sus instalaciones. Esta especie invasora se detectó por primera vez en España en junio de 2001 en el embalse de Flix. Con posterioridad, se encontraron adultos en los embalses de Mequinenza y Ribarroja en 2004. En 2006 se localizaron ejemplares en el embalse de Sobrón, situado cerca de cabecera, quedando afectado prácticamente todo el eje principal del río Ebro y desde entonces, ha ido extendiéndose paulatinamente por otros cauces de la cuenca. Durante este tiempo, han sido muchas las entidades afectadas y que han tomado medidas frente a esta invasión, lo que ha permitido que sus experiencias sean recogidas en este manual.

En este documento el lector encontrará una exposición de los problemas que el mejillón cebra puede generar en sus instalaciones, se expondrán las peculiaridades que han de ser tenidas en cuenta a la hora de elaborar una estrategia frente a la especie y se informará sobre los métodos disponibles y las nuevas tendencias para hacerle frente. De esta manera, el manual está compuesto de tres partes principales:

1. Métodos de control existentes para hacer frente a la plaga.
2. Problemáticas más habituales en instalaciones tipo y orientación sobre las posibles soluciones en cada una de las partes de dicha instalación modelo.
3. Recomendaciones que la experiencia adquirida dentro de la cuenca ha demostrado que deben ser tenidas en cuenta en cada uno de los diferentes usos del agua para tener éxito en el control de la especie.

Las técnicas y metodologías indicadas en este manual no deberán ser tomadas como una imposición del organismo de cuenca y deberán ser supervisadas por un profesional o asesor experto en la materia que seleccionará y adaptará estas técnicas para garantizar los resultados y proteger el Dominio Público Hidráulico.

Para mayor información el usuario puede consultar en www.chebro.es en su sección dedicada al mejillón cebra el listado actualizado sobre empresas especializadas en instalaciones y asesoría que prestan su servicio en la cuenca del Ebro.



2. Conocer la especie antes de aplicar cualquier tratamiento



El mejillón cebra es un molusco bivalvo de agua dulce procedente de los mares Negro y Caspio, donde habita en equilibrio biológico. Morfológicamente se caracteriza por poseer una concha con forma triangular con franjas claras y oscuras en forma de zigzag y un tamaño que oscila entre escasos milímetros hasta 4,5 cm de longitud. Se sujeta al sustrato mediante un biso, formando colonias en forma de extensos y densos racimos semejantes a las mejilloneras marinas.

El ciclo de vida del mejillón cebra comprende dos fases: una fase larvaria, planctónica, que vive libre en las aguas y se deja arrastrar por la corriente, y una fase adulta, fija a un sustrato. La fase larvaria es invisible al ojo humano, factor de éxito en la dispersión de esta especie invasora.

En nuestras latitudes, la reproducción suele tener lugar en primavera y verano. El primer pico de actividad reproductiva en primavera es el más intenso y está originado por los individuos fijados los años anteriores y el segundo, menos intenso, se da a finales de verano, principios del otoño, generándolo los individuos originados en el pico reproductivo de ese mismo año. En una puesta pueden llegar a poner 40.000 huevos y hasta un millón en una temporada.

La temperatura de la columna de agua es un factor clave que va a influir en los aspectos fisiológicos del mejillón cebra. El rango de temperatura óptimo que favorece su reproducción oscila entre los 11-20 °C. En la Tabla I se muestran los intervalos de valores de los factores que más influyen en el desarrollo de la especie.

Tabla I. Factores físico-químicos que influyen en el desarrollo de *Dreissena polymorpha* (Claudi y Mackie, 1994)

Factor	Sin supervivencia	Bajo crecimiento	Crecimiento moderado	Crecimiento alto	Crecimiento óptimo
Calcio (mg/L)	5-6	10-11	25-26	>35	>122
pH	0-6,8	6,9-7,4	7,5-7,8	7,9-8	>8
Temperatura (°C)	<-2 / >40	0-8 / 28-30	9-12 / 25-27	13-17 / 21-24	18-20

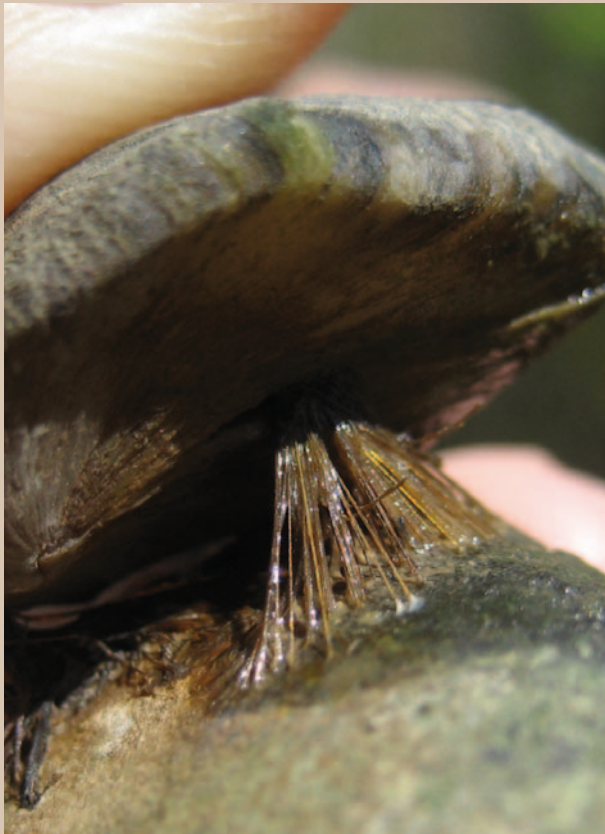


Figura 1. Mejillón cebra con biso adherido a un sustrato duro.



Figura 2. Agregados formados por el crecimiento de la población de mejillón cebra (Burgos).

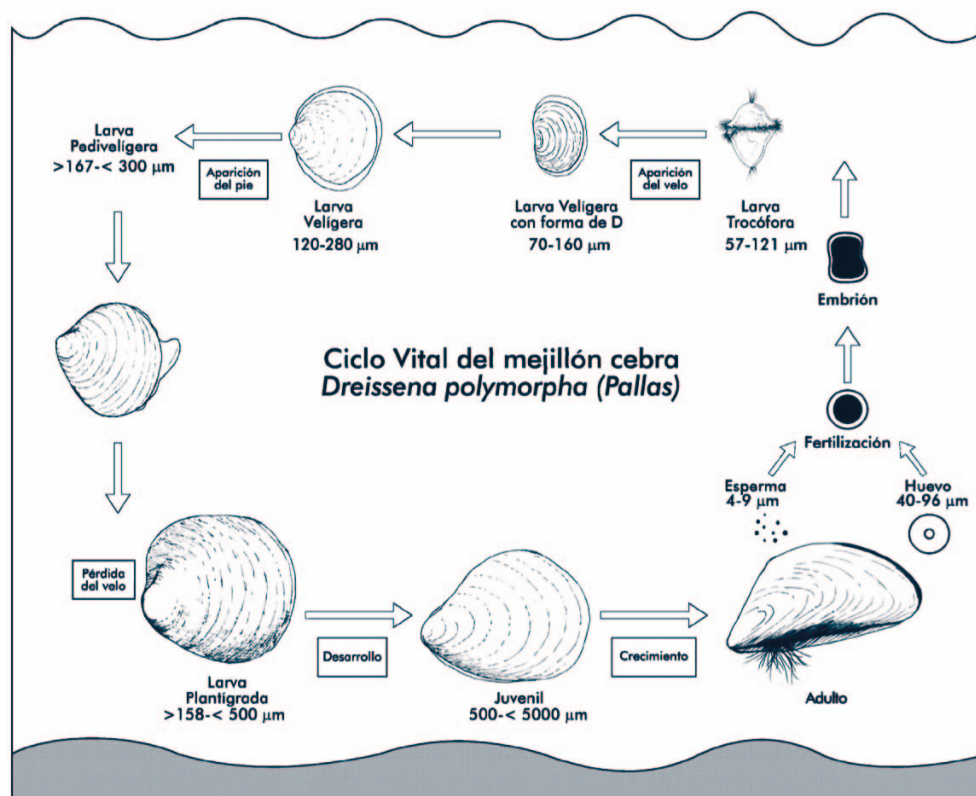


Figura 3. Ciclo larvario de *Dreissena polymorpha*. Fuente: CEAM, 2004.

Los ejemplares adultos toleran la exposición al aire libre durante 8-10 días antes de morir, dependiendo del grado de insolación, temperatura exterior y humedad.

Las consecuencias de la invasión de la especie incluyen pérdidas económicas, ocasionadas por el “biofouling” o incrustaciones de carácter orgánico sobre estructuras sumergidas en ambientes acuáticos y pérdidas medioambientales, al modificar las condiciones de los hábitats que colonizan. En la cuenca del Ebro se ha estimado que las pérdidas económicas generadas por esta plaga en el periodo 2001-09 alcanzan casi 14 millones de Euros (CHE, 2009).

Los principales problemas causados por esta plaga en las infraestructuras están relacionados con la presencia de los ejemplares adultos de la especie. Estos moluscos, una vez fijados y desarrollados en el interior de las instalaciones, pueden causar la disminución del calibre de tuberías o la obturación de rejillas. Posteriormente, al soltarse, se extienden por la red causando obturación de estructuras de pequeño calibre o acúmulos no deseados.

Las actuaciones destinadas al control del mejillón cebra en una instalación cerrada pueden enfocarse de dos maneras:

Con fines preventivos, cuya actuación va dirigida a impedir el asentamiento de colonias de mejillón cebra en una instalación (orientado principalmente a la eliminación larvaria).

Con fines reactivos, destinados a la eliminación de ejemplares adultos reproductores ya adheridos a las estructuras.

Tanto si el tratamiento es preventivo como reactivo o de choque, se puede hablar de manera global de los siguientes tipos de métodos de control:

- **Métodos físicos:** utilizan técnicas basadas en procesos físicos como la desecación, la filtración, el shock térmico, la radiación ultravioleta...
- **Métodos químicos:** utilizan productos químicos como principio activo. Son oxidantes cuando la acción se logra a través de un mecanismo de oxidación de la materia orgánica y no oxidantes, cuando el principio activo actúa de forma distinta.

Para elegir la estrategia de control a seguir se deben tener en cuenta criterios como las características y particularidades de funcionamiento de cada instalación, además de seleccionar un tratamiento que sea eficaz al tiempo que viable desde un punto de vista económico y ambiental. Es recomendable, al finalizar el tratamiento seleccionado, realizar un seguimiento sobre la eficiencia y efectividad del mismo. Hay que tener presente que esta especie presenta una enorme resistencia en condiciones extremas y una gran capacidad de adaptación a variaciones en los parámetros ambientales.

3. Métodos de control





3.1. MÉTODOS DE CONTROL FÍSICOS

3.1.1. FILTRACIÓN

Mediante este método se puede evitar la entrada de larvas y ejemplares adultos, siendo conscientes de que una eficacia del 100% de retención de todos los estadios de desarrollo del mejillón ceбра es complicada, dado que requiere retener partículas de 25-40 μm . En función de la calidad del agua, se pueden adicionar filtros previos de mayor tamaño de poro para eliminar la materia orgánica presente en el agua y evitar colapso y pérdida de carga en los filtros posteriores. Como métodos de filtración se emplean pantallas, filtros en línea y tamices.

Para plantear un sistema de filtrado en una instalación se debería tener en cuenta que la diferencia de presión entre ambos lados de la malla sea lo menor posible para impedir que deforme las fases larvarias y permitan la entrada de las mismas. También habría que ajustar los volúmenes de agua a filtrar para que no sean muy elevados y así asegurar el correcto funcionamiento de las instalaciones (según autores, $<4 \text{ m}^3/\text{min}$).

3.1.2. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN

Se puede utilizar como tratamiento previo en pequeñas tomas de agua. Están formados por sustratos estratificados de manera natural (suelos) o de forma artificial (vasos con distintas porosidades) sobre los que se infiltran las aguas de captación.

3.1.3. DESECACIÓN/CONGELACIÓN

En zonas de las instalaciones donde se pueda bajar el nivel de agua o vaciar por completo el sistema, se pueden exponer al aire las poblaciones adultas de mejillón ceбра. En su aplicación se debe asegurar el vaciado completo, ya que un pequeño volumen de agua retenido que conserve larvas de la especie puede suponer una recolonización del sistema. Este método también supone un trabajo de limpieza posterior de las conchas de los ejemplares muertos. Para valorar el tiempo de desecación se debe tener en cuenta el grado de humedad de la instalación.

Esta técnica de vaciado de las instalaciones (desecación) se puede complementar con la exposición de las poblaciones adultas a un ambiente frío (congelación).

McMahon (1992) observó que la resistencia de los individuos es termodependiente. Así, individuos sometidos a temperaturas de 15 °C tardaron 10 días en morir, a 35 °C la muerte se produjo en 41 minutos, mientras que a 25 °C tardó 150 h. (casi una semana).

Ésta es una técnica simple y altamente efectiva que es de elección en aquellas instalaciones que puedan ser vaciadas durante varios días y sean capaces de soportar elevados grados de colonización antes de desarrollar fallas en el funcionamiento del sistema.



Figura 4. Instalación de filtros de arena (Aragón).

3.1.4. LIMPIEZA MECÁNICA

La limpieza mecánica suele requerir un previo vaciado del sistema para realizar los trabajos, por lo que se suele ver como un tratamiento complementario al anterior. Esta limpieza puede realizarse mediante cepillos de alambre, rascadores u otros medios físicos similares. Es más efectivo cuando los ejemplares adultos se han secado previamente durante varios días porque se desprenden con mayor facilidad, al verse afectada la estructura natural del biso que le permite agarrarse al sustrato.

También se pueden utilizar otros mecanismos como chorros de agua a alta presión que permiten desprender, eliminar y limpiar el material adherido a la superficie a tratar o chorros a presión con agentes abrasivos como los granúlos de CO_2 o de arena. Estos mecanismos dejan la superficie muy limpia, siendo útiles como tratamientos previos a la aplicación de pinturas antiadherentes.

Es recomendable con este método asegurar la eliminación de los restos de filamentos del biso en las superficies colonizadas para evitar favorecer una nueva colonización sobre la superficie rugosa creada. También es necesario retirar las conchas desprendidas de la limpieza.

3.1.5. RADIACIÓN UV

La radiación ultravioleta es utilizada para la esterilización del aire y el agua en hospitales e industrias. Actúa sobre los organismos generando alteraciones fotoquímicas a nivel celular. Chalker Scott (1993) determinó que el rango UV-B (280-320 nm) resultó letal para las fases larvarias de *Dreissena polymorpha* y también para la fase adulta si la aplicación es continua.

Su principal inconveniente es la pérdida de efectividad cuando la presencia de sólidos en suspensión y la turbidez del agua es muy elevada. En estos casos, sería necesario un proceso previo de decantación.

3.1.6. RECUBRIMIENTOS ANTIINCRUSTANTES

Esta técnica se utilizó primeramente para evitar el biofouling en cascos de barcos. La cantidad de colonización provocada por el mejillón cebra varía en función del tipo de material, siendo esto interesante en la elección de materiales constructivos a la hora de diseñar zonas concretas de las instalaciones hidráulicas.

Los recubrimientos antiincrustantes basan su efectividad en la liberación de compuestos tóxicos en bajas concentraciones que repele la adhesión de organismos al medio circundante. Los compuestos tóxicos suelen ser óxido cuproso, compuestos de Zinc y latón. La efectividad suele variar entre 2-5 años; tras este periodo de tiempo es necesaria una nueva aplicación.

Existen materiales capaces de formar, tras su aplicación, superficies extremadamente lisas que impiden la adhesión del mejillón cebra. Son menos tóxicos para el medio, pero presentan una menor durabilidad, debido a que se ven afectados por la abrasión, perdiendo efectividad.



Figura 5. Bomba tratada con pintura antiincrustante (derecha) y bomba no tratada (izquierda). Fuente: Nuclenor (Burgos).

En un estudio realizado en el embalse de Ribarroja se comprobó la resistencia a la colonización de diversos materiales y recubrimientos (Palau y Cia, 2006). En el siguiente cuadro se muestran los resultados.

SUCEPTIBILIDAD A LA COLONIZACIÓN				
NULA	MUY BAJA	BAJA - MEDIA	MEDIA - ALTA	MUY ALTA
Epoxi Titan Yate Gris	Ramín Roble Niangón Nogal Caoba Sapely	Haya Cerezo	Niquel químico	Poliuretano Laminado de algodón
	Acero galvanizado	Bronce Latón Aluminio	Policarbonato Poliamida PETP	
	Epoxi Titan Yate Rojo Sigma Hempel Enecon 4	Poliuretano Polimetacrilato Resina acetática Poliamida (Nylatron) Polipropileno Baquelita Tejido de vidrio + Epoxi PVC PTFE	Rilsan Enecon 1 Enecon 2-3 Enecon 5	
		Epoxi varios colores Flamulit Abcite Mini de Plomo Spray galvanizador		

Figura 6. Susceptibilidad de varios materiales a la colonización de mejillón cebra (Palau y Cia, 2006).



3.1.7. SHOCK TÉRMICO

Existen múltiples estudios que demuestran la eficacia del incremento de temperatura en la eliminación del mejillón cebra. Rajagopal (2005) demostró mortalidades del 100% en ejemplares adultos de *Dreissena polymorpha* sometidos a 36 °C durante 38 min. Claudi y Mackie (1994) encontraron que la temperatura de aclimatación (temperatura a la que se encuentra los mejillones cebra a la hora de realizar el shock térmico) influye en su tolerancia térmica. Cuanto más baja sea la temperatura del agua al inicio del shock térmico mayor será la susceptibilidad de los ejemplares al incremento de temperatura. Otro factor que resulta importante es el tiempo necesario para incrementar la temperatura. Cuanto menor sea este tiempo, mayor será la eficacia del tratamiento.

Este método resulta un excelente tratamiento reactivo para instalaciones donde el agua caliente sea un subproducto del proceso de producción. Sin embargo, antes de elegir este tratamiento, se debe tener en cuenta las limitaciones del incremento de temperatura que existe en la autorización de vertidos concedida, la capacidad estructural de las instalaciones para hacer recircular el agua caliente y por último, el grado de resistencia que presentan los materiales de las instalaciones al incremento de la temperatura.

3.1.8. VELOCIDAD DE FLUJO

Las larvas y juveniles de mejillón cebra se asientan en cualquier tubería o zona sumergida cuya velocidad del flujo del agua sea inferior a 1,5 m/s porque ello permite su sedimentación y adhesión al sustrato. El mejillón cebra evita las zonas donde la velocidad del flujo del agua es elevada y llegado el caso, es capaz de desprenderse para asentarse en una zona más adecuada.

Este método es aplicable en sistemas de agua donde sea posible regular el flujo de agua sin dañar el propio sistema o en instalaciones en las que se puedan realizar adaptaciones, en las que disminuyendo secciones se consiga aumentar la velocidad de flujo.

3.2. MÉTODOS DE CONTROL QUÍMICOS

Este tipo de métodos siempre deben tener un seguimiento adecuado por un profesional, tanto por el riesgo intrínseco de su aplicación y manipulación como por la tarea de evaluar la efectividad de la aplicación. Estos productos, que son diluidos en agua, deben alcanzar unas concentraciones determinadas por el fabricante y adaptadas al uso que se le va a dar al agua. Pueden ser utilizados de forma **preventiva** durante la época de entrada de larvas a las instalaciones o **reactiva**, una o varias veces al año dependiendo del grado de colonización y de la estrategia de control elegida. Para asegurar el éxito de estos métodos es primordial tener

en cuenta los siguientes factores antes de planificar el tratamiento:

- **Dosificación:** Es la concentración de producto que hay que utilizar en el punto de inoculación. A su vez está marcada por la susceptibilidad del mejillón cebra al principio activo y en el caso de los productos oxidantes, a la pérdida de la concentración debido a la reacción del agente con la materia orgánica presente en el agua.
- **Tiempo de exposición:** Es el tiempo necesario para que un principio activo genere mortalidades en las poblaciones de mejillón cebra.

Además habría que **tener en cuenta** que:

- Las dosis de retorno al río pueden ser nocivas para el medio acuático receptor por lo que se debería medir la concentración del producto en el vertido final para no ocasionar daños ambientales. La legislación sobre los niveles de biocidas en los vertidos tiende a ser cada vez más restrictiva.
- Para garantizar la efectividad de un producto químico en toda la instalación se debería controlar la concentración de producto en las zonas del sistema con menos circulación y más alejadas del punto de inoculación, con el fin de garantizar que la disolución llega a toda la red tratada y que el tiempo de tratamiento es efectivo.
- El mejillón cebra es capaz de detectar los químicos oxidantes y cerrar sus valvas al menos durante 2 semanas, reduciendo la eficacia del tratamiento en los adultos. Por ello aplicar más producto no implica obtener mejores resultados. Para optimizar dosis y efectividad se recomienda acompañar los tratamientos químicos con análisis larvarios de seguimiento.

3.2.1. CLORACIÓN Y DERIVADOS

El cloro es uno de los agentes biocidas oxidantes más utilizados para controlar la formación de biofouling. Es un compuesto que requiere poca dosis para ser efectivo y actúa sobre el mejillón cebra tanto en adultos como en larvas. Su dosificación se realiza mediante bombas inyectoras.

Existen numerosos factores que afectan a la sensibilidad de la especie a la cloración. Así, a mayor temperatura del agua, mayor es la susceptibilidad del mejillón cebra. También los ejemplares adultos tienden a ser más sensibles justo después de los eventos reproductivos ya que sus reservas de nutrientes disminuyen drásticamente en estas condiciones.

Con fines preventivos, los niveles de cloro más utilizados para la eliminación de las fases larvarias oscilan entre 0,3-0,5 mg/L de cloro libre residual (el cloro que queda tras reaccionar con la materia orgánica natural presente en el agua tratada).

Algunas estrategias llevadas a cabo en Canadá van dirigidas a dosificaciones discontinuas o puntuales (Claudi y Mackie, 1994):

- Dosificación semicontinua del producto: con un nivel de cloro residual libre de 0,3-0,5 mg Cl₂/L. Se aplica en ciclos de 15 min. aplicación, 90 min. parada.
- Dosificación periódica del producto: con un nivel de cloro residual libre de 0,5-1 mg Cl₂/L. Se aplica de forma continua en periodos de 7-15 días.
- Dosificación puntual: dosis de cloro residual libre entre 0,5-1 mg Cl₂/L durante 2-4 semanas.

La medición del cloro libre residual se puede realizar fácilmente mediante kits colorimétricos y tiras de ensayo.

Cuando se aplica el cloro en forma de dióxido de cloro, generado “*in situ*” en la instalación a tratar, las dosis necesarias se reducen. Es un biocida orientado eminentemente a la prevención. Brooks y Matisoff (1993) utilizaron con éxito inyecciones continuas de dióxido de cloro a concentraciones de 0,4 mg/L para prevenir la colonización de *Dreissena polymorpha* y la formación de todo tipo de biofouling. Freymark (2000) propuso concentraciones de 0,1 a 0,5 mg/L para eliminar las fases larvianas del mejillón cebra de una instalación.

3.2.2. OZONIFICACIÓN

El ozono es un potente desinfectante del agua. Tiene el doble de capacidad de oxidación que el cloro, requiere tiempos de contacto inferiores si bien se disipa muy rápidamente. Es eficaz frente a larvas y adultos y requiere instalar un equipo de ozonización “*in situ*”.

Una característica importante del ozono es su alta miscibilidad en el agua. Esto hace que el producto se homogenice, actúe y se consuma rápidamente, por lo que mantener un residual en instalaciones extensas resulta técnicamente complicado.

Lewis (1993) obtuvo mortalidades del 100% en fases larvianas de *Dreissena polymorpha* con dosificaciones de 0,5 mg/L durante 5 h y en ejemplares adultos con dosis de 0,5 mg/L durante 7-12 días.

3.2.3. PERÓXIDO DE HIDRÓGENO Y ÁCIDO PERACÉTICO

El peróxido de hidrógeno es un agente biocida oxidante frecuentemente utilizado para la desinfección del agua en torres de refrigeración y en establecimientos agropecuarios. Se suele utilizar combinado con ácidos orgánicos débiles para estabilizarlo. Uno de ellos es el ácido acético que en combinación con el peróxido de hidrógeno da lugar al ácido peracético. Se puede medir su concentración residual mediante un método colorimétrico con tiras de ensayo.

Verween (2009) encontró que dosis de 0,75 mg/L produjeron mortalidades del 89,6% en larvas de mejillón cebra tras 2 h de exposición. El mismo autor obtuvo mortalidades del 100% con dosis de 1,5 mg/L y 1 h de exposición.



Figura 6. Aplicación de tratamiento de peróxido de hidrógeno y ácido peracético. Fuente: CEIDE-ENDESA.

3.2.4. COMPUESTOS QUÍMICOS NO OXIDANTES

La mayoría de estos compuestos químicos se desarrollaron originariamente para la desinfección bacteriana y el control de las algas en los sistemas de tratamiento de agua.

Tienen un coste por unidad de volumen mayor que los químicos oxidantes, pero mantienen su viabilidad económica frente a ellos, debido a que su dosificación es menor. Se ha registrado su uso en el control de las poblaciones adultas al final del periodo reproductivo o en tratamientos periódicos. La mayoría de los compuestos son de fácil aplicación y no provocan problemas de corrosión en las superficies metálicas.

Los compuestos químicos no oxidantes utilizados habitualmente son:

- Sulfato de Aluminio (Al₂(SO₄)₃)
- Nitrato Amónico (NH₄NO₃)
- Metasulfito de Sodio (Na₂SO₃)
- Sulfato de Cobre (CuSO₄)
- Potasio (K⁺)

Respecto al nitrato amónico, de acuerdo con Claudi y Mackie (1994), dosificaciones de 400-500 mg/L de nitrato amónico durante 5 días provocaron el 100% de mortalidad en ejemplares adultos de mejillón cebra. Por otra parte, Coon (1993) sostuvo que concentraciones de 3 mg/L causaron 100% de mortalidad en fases larvianas del molusco. Son necesarias grandes dosis, sobre todo en comparación con otros molusquicidas antes descritos, además de que existe un alto riesgo de percolación y contaminación de acuíferos, por lo que hay que extremar precauciones en su utilización como estrategia frente a *Dreissena polymorpha*.

También se han hecho estudios sobre las sales de potasio. Fisher (1991, 1993) demostró que concentraciones de 88-128 mg/L de fosfato potásico produjeron mortalidades del 100% en ejemplares adultos de mejillón cebra y que dosis de 50 mg/L previnieron la colonización de las instalaciones.

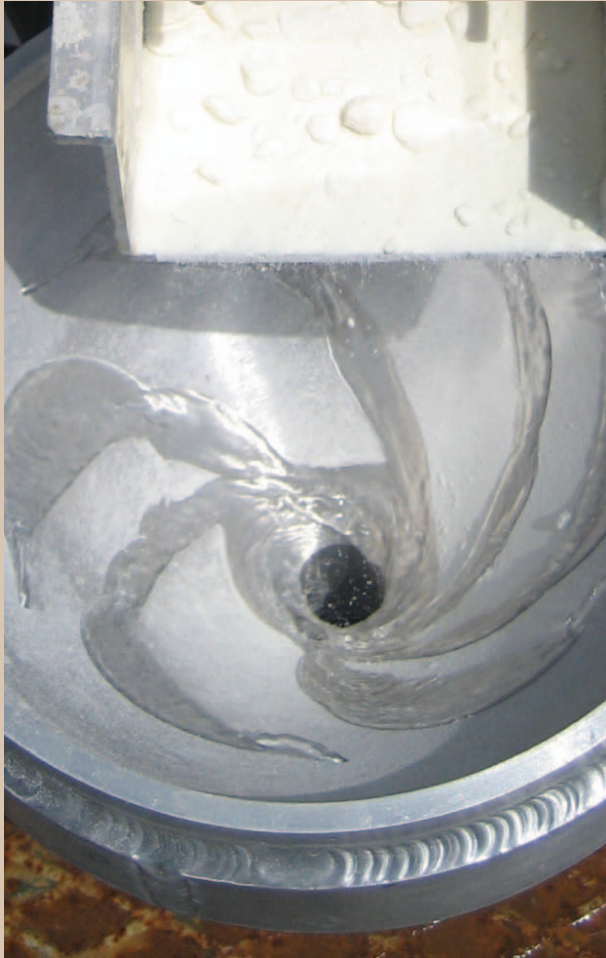


Figura 7. Dosificación de los encapsulados.



Figura 8. Resultados del tratamiento con encapsulados.

3.3. NUEVAS TENDENCIAS EN DESARROLLO

3.3.1. MOLUSQUICIDAS DE ORIGEN NATURAL

Extracto de *Phytolacca dodecandra*

El extracto de *Phytolacca* posee un principio activo conocido como lemmatoxina que ha sido extensamente utilizado en África para el control de caracoles (Mokhubu, 1987). Lemma (1991) estudió la aptitud del extracto para el control del mejillón cebra. Detectaron una dosis letal de 90 y 50% con 19 mg/L y 8,8 mg/L respectivamente tras periodos de exposición de 24 h. También se detectó que ejemplares de *Dreissena polymorpha* sometidos a pequeñas dosis de lemmatoxina fueron incapaces de adherirse a las superficies viéndose seriamente afectada su función de bisogénesis (proceso de formación del biso).

Cepa bacteriana *Pseudomonas fluorescens* CLI45A

Se trata de un biocida natural elaborado a partir de la bacteria *Pseudomonas fluorescens*, cepa CLI45A, desarrollado para el control de dreisénidos: mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) y mejillón quagga (*Dreissena bugensis*).

Cuando el mejillón cebra ingiere artificialmente elevadas cantidades de la cadena CLI45A, componente dentro de las células de estas bacterias, causan necrosis en el sistema digestivo del mejillón cebra, ocasionando su muerte. Se comercializa en EEUU para el control de ambas especies en instalaciones afectadas.

3.3.2. ENCAPSULACIÓN DE AGENTES BIOCIDAS

Esta técnica consiste en el encapsulado de productos biocidas en partículas muy pequeñas que son digeridos por los moluscos, liberando el principio activo y causando la mortalidad de los ejemplares tratados. Esta forma de dosificación permite sortear los mecanismos defensivos del cierre de valvas pues el mejillón no percibe el producto como un agente agresivo (Aldridge, 2006; Costa, 2011).

4. Instalacion tipo: problemática y principales estrategias



La inmensa mayoría de las instalaciones hidráulicas están constituidas por una serie de componentes comunes. De esta manera, se puede hablar de complejo de captación en una potabilizadora, regadíos o abastecimiento industrial. Por otra parte siguiendo esta línea argumental, las afecciones generadas por el mejillón cebra en el complejo de captación resultan similares para todas las instalaciones. Por ello, en el presente capítulo se analizan los modelos constituyentes de las instalaciones señalando en cada uno de ellos los efectos del asentamiento de *Dreissena polymorpha* y las principales estrategias de lucha.

4.1. COMPLEJO DE CAPTACIÓN

4.1.1. ESQUEMA

Para los propósitos del presente manual entendemos por complejo de captación los elementos hidráulicos situados entre la toma de agua y el sistema de bombeo. Los principales componentes del sistema de captación son:

- Reja de desbaste, con la función principal de impedir la entrada de elementos gruesos a las instalaciones.
- Compuerta de captación.
- Conducto o canal de captación.
- Foso de bombeo.

4.1.2. PROBLEMÁTICA ASOCIADA

- **Disminución de la luz de las infraestructuras** al adherirse los ejemplares adultos a las rejas de desbaste y al conducto de captación, reduciéndose la capacidad de captar agua. Esta disminución afecta a la eficacia del resto del sistema siendo necesarias más horas de funcionamiento para obtener la misma cantidad de recurso hídrico.
- **Problemas en el funcionamiento de la compuerta de captación**, pudiendo aparecer problemas en los mecanismos de apertura y cierre debido al acúmulo de biomasa.
- **Corrosión:** la fijación de *Dreissena polymorpha* favorece el asentamiento de bacterias que producen corrosión en la zona de adhesión, acortando la vida media de las instalaciones.

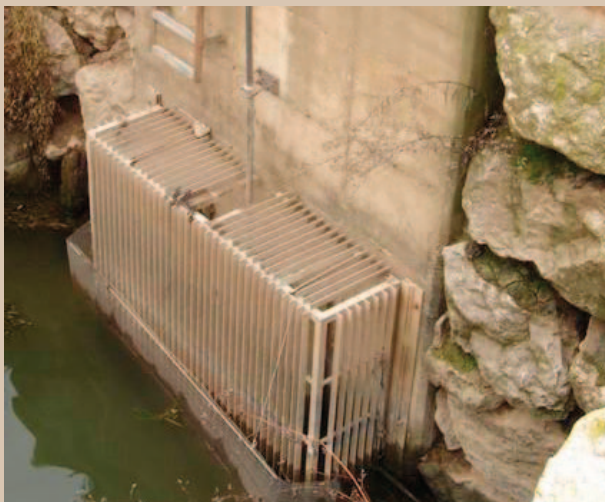


Figura 9. Rejas de desbaste en captación.



Figura 10. Compuerta de captación.



Figura 11. Conducto de captación, afectado por mejillón cebra (Aragón).



Figura 12. Acceso al foso de bombeo.

- **Crecimiento de colonias en el pozo de captación y emisión de biomasa a zonas posteriores.** En casos de invasión grave, fragmentos de las colonias adheridas a las paredes del foso de bombeo pueden llegar a desprenderse debido al peso. Estos fragmentos pueden ser canalizados a través del sistema de bombeo erosionando y desgastando los ejes de rotación del mismo e incluso llegando a ocasionar la rotura total de las bombas.

4.1.3. TRATAMIENTOS MÁS ADECUADOS

Entre los tratamientos de elección en el complejo de captación se destacan los siguientes:

- **Extracción y limpieza manual:** se aplica a la compuerta y reja de desbaste. En caso de que la extracción resulte técnicamente complicada, se puede acudir a los servicios de empresas de inmersión especializadas en este tipo de tareas.
- **Vaciado y desecación:** es un tratamiento altamente eficaz para las instalaciones que se utilizan de forma estacional. En los momentos de inactividad se pueden vaciar y tras el secado proceder a la limpieza manual de los diferentes componentes.
- **Tratamientos con productos biocida:** es el tratamiento de elección para el conducto o canal de captación y el foso de bombeo en instalaciones que carecen de estacionalidad. En la elección del producto biocida se recomienda tener en cuenta la utilización posterior del agua, los componentes constructivos de las instalaciones y factores económicos y medioambientales.
- **Aplicar recubrimientos antiincrustantes** en rejas y compuertas para evitar la fijación de ejemplares adultos sobre ellas, puesto que estas colonias constituyen un foco de larvas hacia el interior de la captación.

4.2. SISTEMA DE BOMBEO

4.2.1. ESQUEMA

En lo que se refiere al presente estudio se entiende por sistema de bombeo las estructuras hidráulicas situadas entre el foso de bombeo y la red de distribución. De forma genérica se pueden diferenciar las siguientes infraestructuras:

- Equipo de bombeo.
- Tubería de impulsión.
- Balsa de acumulación o regulación.

4.2.2. PROBLEMÁTICA ASOCIADA

Los principales problemas asociados a esta zona son:

- **Pérdida de luz** en estructuras de protección de los equipos de bombeo en las zonas de entrada de agua y en las rejas de salida. Estas rejas pueden ser objeto de colonización, haciendo trabajar a las bombas en vacío con el consiguiente deterioro del sistema.



Figura 13. Sistema de bombeo.



Figura 14. Tubería impulsora.



Figura 15. Balsa de acumulación o regulación.



Figura 16. Rejas de protección de la balsa de acumulación colonizada por mejillón cebra (Navarra).



Figura 17. Colonización de mejillón cebra en equipo de bombeo.



Figura 18. Colonización en balsa de acumulación.

- **Desgaste de los ejes de rotación** de las bombas de succión debido a la fricción con las conchas calcáreas de los ejemplares adultos que se han soltado de las estructuras previas o colapso total del motor por calentamiento tras atascos de las turbinas.
- **Disminución del diámetro en la tubería impulsora.** Este estrechamiento provoca pérdidas de carga no contempladas durante la construcción.
- **Generación de flujo turbulento** en la tubería impulsora debido a las rugosidades producidas por la fijación de ejemplares en sus paredes. Esto produce pérdidas adicionales de carga y acorta la vida media de las instalaciones.
- **Proliferación en la balsa de acumulación y emisión de biomasa a zonas posteriores,** con el consiguiente desgaste de las estructuras posteriores.

4.2.3. TRATAMIENTOS MÁS ADECUADOS

- **Inyección de productos biocida en la tubería de impulsión.** El vaciado y posterior llenado de esta estructura es una operación compleja y en muchos casos poco aconsejable. Por ello, la inyección de productos biocida puede ser una solución en esta zona. Éstos pueden ser utilizados de forma preventiva durante la época de entrada de larvas a las instalaciones o reactiva, una vez al año tras los periodos de colonización. Para asegurar el éxito de estos métodos se deberían tener en cuenta los factores de dosificación y tiempo de exposición antes de planificar el tratamiento. La incorrecta

determinación de estos factores puede hacer fracasar el tratamiento.

- **Implementación de sistemas de filtración.** Tras el bombeo y en los tramos iniciales de la tubería impulsora se pueden instalar un sistema de filtración del agua. Estos sistemas deben estar constituidos por filtros auto-limpiantes y cuando se trabaja con agua natural superficial, que no ha sido sometida a ningún proceso de decantado previo, disponer de una fase inicial de filtración de elementos gruesos y una fase posterior de filtración más fina para la retención de las fases larvarias. Supone la eliminación del problema en las instalaciones posteriores a la filtración, aunque se deben realizar serias verificaciones técnicas para no incurrir en problemas de pérdida de carga que causen fallos en el funcionamiento de las instalaciones.
- **Vaciado, secado y limpieza de la balsa de acumulación en instalaciones que trabajan estacionalmente.** Este método resulta más económico y práctico que la aplicación de biocidas en la balsa, puesto que al tratarse de una instalación que se encuentra al aire libre se producen pérdidas del producto por evaporación y por reacción con la gran cantidad de materia orgánica presente en el agua. Aunque casi nunca es posible, un vaciado total de la instalación sería una actuación muy adecuada para hacer flaquear la población adulta establecida en las instalaciones.

4.3. REDES DE DISTRIBUCIÓN

4.3.1. ESQUEMA

Se entiende por red de distribución todas aquellas instalaciones que se sitúan entre la balsa de regulación o acumulación y el punto de utilización del agua. Los componentes principales son:

- Tuberías y conducciones.
- Hidrantes.
- Válvulas.
- Condensadores e intercambiadores calóricos.
- Sistemas de acondicionamiento del agua (ej. filtración, ósmosis inversa, inyección de aditivos químicos...).

4.3.2. PROBLEMÁTICA ASOCIADA

El principal problema asociado a este tipo de instalaciones es la fijación y pérdida de luz en las conducciones y tuberías. Son especialmente sensibles las válvulas y los hidrantes que por las rugosidades y salientes que originan constituyen excelentes puntos de colonización para el mejillón cebra.

Se debe prestar especial atención a las conducciones de agua de refrigeración. En muchas industrias se utiliza agua natural superficial para la refrigeración de diferentes componentes. En estos casos es totalmente necesario tratar el agua para prevenir problemas de biofouling que acarreen fallos y deterioro de componentes.

Otros problemas destacables son el mal funcionamiento en el cierre y apertura de válvulas debido a la colonización por mejillón cebra y el desgaste de estructuras como los filtros de arena y las membranas de ósmosis.

4.3.3. TRATAMIENTOS MÁS ADECUADOS

Si no se han tomado medidas correctivas que protejan la totalidad de las instalaciones (tratamiento preventivo con productos biocida o implementación de sistema de filtración) el shock térmico y la adición de productos biocida son estrategias eficientes en este tramo de las instalaciones.

- **Shock térmico.** Es uno de los tratamientos más eficaces cuando el agua caliente es uno de los subproductos y las instalaciones permiten una adecuada recirculación del agua. Si bien es importante tener en cuenta la tolerancia de las instalaciones al calentamiento, más aun cuando se trabaja con materiales plásticos. A este respecto se recomienda realizar un estudio técnico antes de elegir este método.
- **Inyección de productos biocida.** Esta estrategia sigue las mismas directrices establecidas para la tubería impulsora. Así, hay que definir el principio activo a utilizar, la dosificación y el tiempo de exposición. Todos estos aspectos deben quedar perfectamente establecidos antes de aplicar el producto, siendo la fase de planificación la clave para alcanzar el éxito.



Figura 19. Tubería y válvula de cierre colonizadas por mejillón cebra (Tarragona).



Figura 20. Filtro cazapiedras colapsado de mejillón cebra y almeja asiática (Tarragona).

5. Particularidades en los diferentes tipos de instalaciones





A pesar de los elementos comunes, las instalaciones que cubren los diferentes usos del agua tienen particularidades diferenciales que influyen en el diseño de las estrategias frente al mejillón cebra. De esta manera, no es lo mismo hablar del sistema de distribución de una fábrica que de un regadío, mucho más extenso y ramificado, y por ende más difícil de tratar que el primero.

En esta sección se tratarán las peculiaridades de las instalaciones agropecuarias, estaciones de tratamiento de agua potable, industrias con proceso de acondicionamiento del agua y aquellas que carecen del mismo ahondando en los puntos clave para definir los tratamientos en cada una de ellas.

5.1. SISTEMAS DE REGADÍOS Y AGUA PARA USO ANIMAL

La principal característica de los regadíos es la magnitud y complejidad de su sistema de distribución. En general, las distribuciones son sistemas muy ramificados que se componen de tuberías de gran calibre que se dividen en otras que distribuyen el agua por diferentes sectores y fincas. Adicionalmente tienen la particularidad de que el agua no circula homogéneamente por todo el sistema, ya que si existe algún punto de riego, la circulación del fluido se realizará hacia ese punto quedando estancadas otras zonas. Ambas características son decisivas a la hora de diseñar las estrategias de control del mejillón cebra.

Existen dos fallos que frecuentemente se cometen a la hora de realizar planes de control del mejillón cebra en instalaciones de riego:

- **Dosificación insuficiente del producto:** en ocasiones, a la hora de dosificar el agente biocida no se tiene en cuenta la merma del producto que ocurre en el sistema de distribución al reaccionar con la materia orgánica natural del agua, resultando que en las zonas más alejadas no llega producto o éste llega en cantidades no efectivas.
- **Distribución desigual:** debido a la complejidad del sistema, existe el peligro de que el producto se distribuya de forma desigual por las instalaciones generando zonas con sobre-dosificación y otras donde el tratamiento resulta insuficiente.

Para prevenir que ocurran estos fallos en el tratamiento se deben tomar las siguientes medidas:

- Controlar la cantidad de producto en las zonas más desfavorables (las más alejadas y con menos circulación de agua) y no dejar de dosificar hasta que el producto alcance los niveles óptimos en dichos puntos.
- En caso de que al llevar a cabo la anterior medida la cantidad de producto utilizado sea desorbitada y genere zonas de sobre-dosificación, se recomienda establecer puntos intermedios de inoculación de biocida. Así se podrá tratar cómodamente las zonas más desfavorables de las instalaciones.

- El establecimiento de puntos intermedios de dosificación, tras el estudio de la dinámica de flujo en el sistema de distribución, es de hecho una de las actuaciones que se deberían tener en cuenta a la hora de diseñar nuevas instalaciones o adaptar las ya existentes a la presencia de la plaga. Muchas veces el diseño de varios puntos de dosificación resulta más rentable que la inyección en un único lugar. En primer lugar, porque el coste de los sistemas de inyección se incrementa con respecto a la capacidad de dosificación y en segundo lugar, porque se favorece una distribución equitativa del producto necesitando menos cantidad del mismo para realizar el tratamiento.

Por último, conviene destacar la importancia de diseñar mecanismos para poder evacuar rápidamente el agua presente en las tuberías. Esto es especialmente importante en las zonas de vaguada donde sería recomendable poner puntos de desagüe para facilitar las operaciones antes mencionadas. También se debería facilitar la evacuación de las conchas de los moluscos muertos, puesto que su acumulación puede ocasionar daños posteriores por cegamiento.

Con respecto al agua de uso animal, ésta suele pasar por un proceso de acondicionamiento consistente en la higienización de la misma con agentes oxidantes. Dicho proceso se realiza de forma continua a lo largo de todo el año siendo garantía suficiente para prevenir el asentamiento de fases larvares de mejillón cebra. Este tratamiento conviene realizarlo cerca de las zonas de captación del agua para proteger el conjunto de las instalaciones.

5.2. ESTACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLES

El proceso de potabilización comienza de forma general con la adición de un agente oxidante seguido por un agente floculante. En la actualidad, el agente floculante más utilizado es el aluminio. Su eficacia se basa en la capacidad de sustraer partículas de la masa de agua en forma de flóculos que posteriormente precipitan. La acción preventiva del aluminio junto a la adición conjunta con hipoclorito sódico resulta en una estrategia óptima para prevenir el asentamiento de mejillón cebra.

Con todo ello, las partes anteriores a la adición de estos elementos quedarían desprotegidas frente a la plaga por lo que, si se puede, se debe diseñar un punto de inoculación lo más próximo a la zona de captación y realizar operaciones de limpieza manual periódicas en aquellas instalaciones que queden fuera del radio de actuación de los productos.

5.3. INDUSTRIAS CON PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA

En muchos casos los procesos industriales requieren un acondicionamiento del agua bruta. Por lo general, este acondicionamiento supone una reducción en el contenido de materia orgánica mediante un proceso de floculado y oxidación, un proceso de ajuste del pH mediante la adición de ácidos y bases fuertes y en muchos casos, una fase de eliminación de iones mediante la circulación a través de un sistema de ósmosis inversa. El conjunto de estas actuaciones resultan suficientes para la eliminación de las fases larvarias del mejillón cebra. En consecuencia, las instalaciones posteriores al acondicionado del agua resultan protegidas frente a la plaga.

Las instalaciones situadas entre la captación y las fases de acondicionamiento quedan desprotegidas, siendo la extensión de las mismas la que marca el alcance del problema y la necesidad de acometer diferentes actuaciones frente a la plaga. En los casos en los que la extensión de las instalaciones sea grande y la necesidad de captación de agua sea elevada, se recomienda la adición de productos biocida en la captación, siempre teniendo en cuenta que los niveles de los mismos en la fase de acondicionado no dañen los sistemas existentes (es el caso del cloro y las membranas de ósmosis inversa). Por otro lado, si las necesidades hídricas no son muy elevadas, la implanta-

ción de una estación de filtrado puede ser una estrategia adecuada para este tipo de instalaciones. Finalmente, para instalaciones con una extensión pequeña, el vaciado anual y la limpieza mecánica resultan suficientes para impedir fallos del sistema relacionados con el biofouling.

5.4. INDUSTRIAS SIN PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DEL AGUA

Es el caso de las estaciones hidroeléctricas que turbinan agua natural sin tratar y de las industrias que captan agua del medio para refrigeración. Tradicionalmente estas actividades han sido las más castigadas por la plaga.

El volumen de agua utilizado por estas industrias es tan grande que cualquier proceso de acondicionado de la misma resultaría inviable económicamente. Sin embargo, el uso de agua sin tratar genera problemas de micro y macrofouling que a su vez disminuyen la eficacia productiva de las centrales y en muchos casos, resultan en la parada completa de las mismas para llevar a cabo labores de mantenimiento.

En la actualidad los esfuerzos en este tipo de instalaciones están orientados a la utilización de tratamientos químicos pero optimizando la cantidad de biocida necesario para proteger las instalaciones, siendo el cloro el agente que más se ha estudiado.



6. Recomendaciones para el diseño de nuevas captaciones de aguas superficiales





Las nuevas captaciones de aguas superficiales en la cuenca del Ebro deberían tener en cuenta la presencia de *Dreissena polymorpha* a la hora del diseño y de plantear su funcionamiento, puesto que este planteamiento previo puede garantizar que no aparezcan daños posteriores en las instalaciones y que en el caso de que se instale la plaga, se minimicen los costes de tratamiento en su control.

Se establecen las siguientes claves para orientar a las entidades encargadas del diseño de este tipo de infraestructuras:

- **Sistema de captación:** se considera de vital importancia que sea fácilmente extraíble o accesible para favorecer las operaciones de limpieza manual. En caso de imposibilidad técnica, se recomienda dotar a esta parte de las infraestructuras de un sistema de limpieza mecánica. Si la captación se realiza a través de una tubería en un embalse, ésta puede ser alargada para que la toma sea más profunda y así alcanzar profundidades donde el mejillón cebra no pueda sobrevivir, si bien hay que tener en cuenta que no haya barro y fango que pueda ocasionar problemas en la instalación.
- **Balsas de acumulación:** la experiencia indica que el dimensionamiento de estos componentes y el uso que se les da es de vital importancia a la hora de prevenir el crecimiento de colonias de mejillón cebra. En aquellas balsas de agua que se vacían y llenan con mayor frecuencia, las poblaciones del molusco tienden a ser inferiores a las de balsas que por su tamaño mantiene un nivel de agua más estable. Por ello se recomienda que el cubicaje de estos elementos se ajuste en la medida de lo posible a las demandas de agua que se tengan.

- **Dimensionamiento de los componentes de distribución:** el mejillón cebra no se asienta en aquellos componentes donde la velocidad del agua es superior a 1,5 m/s. Conviene pues diseñar las instalaciones para permitir que el agua circule por ellas a velocidades superiores a este valor.
- **Planteamiento de puntos múltiples de dosificación:** en aquellas distribuciones que sean extensas se recomienda realizar, durante la fase de diseño, un estudio de la disipación de agentes biocida de tal manera que se pueda establecer con criterios objetivos varios puntos de inoculación de agentes químicos que eviten problemas de distribución del principio activo.
- **Sistemas de drenaje adecuados:** en las instalaciones que presentan una marcada estacionalidad, el vaciado y secado de las mismas es una poderosa herramienta para prevenir problemas relacionados con la plaga. Así, conviene dotar a las infraestructuras de un sistema adecuado de drenaje que permita de una forma práctica y rápida conseguir el vaciado total de las mismas, tras la aplicación de tratamientos químicos, y/o eliminar los restos de mejillón cebra generados. Evitar vaguadas y sifones donde se acumule agua, colocar tuberías desmontables que permitan un vaciado y secado completo o el uso de bombas reversibles para facilitar el vaciado de las infraestructuras, son otras opciones interesantes.
- **Estaciones de dosificación:** en nuevas infraestructuras se recomienda la instalación de bombas dosificadoras para facilitar la aplicación de los posibles tratamientos y caudalímetros que permitan controlar esta dosificación.



Figura 21. Tubería de captación, con posibilidad de aumentar su profundidad de toma.



Figura 22. Control de poblaciones.

7. Casos prácticos



7.1. TRATAMIENTO PREVENTIVO

7.1.1. HIPOCLORITO SÓDICO EN UN REGADÍO

Datos de la instalación

- Localización: Ribera Alta del Ebro.
- Captación: caudal entre 3,6 y 5,4 m³/h, directamente del río Ebro.

Objetivo de la estrategia

El objetivo de esta estrategia fue eliminar las larvas planctónicas que entraban a las instalaciones durante los periodos de dosificación y todas aquellas que se habían fijado recientemente a las instalaciones y que todavía no se habían metamorfoseado a estadios posteriores de desarrollo. En ningún caso se pretendió realizar una limpieza total de las instalaciones y se asumió el riesgo de tener cierto grado de colonización en el sistema.

Estrategia de control

- **Adaptación previa de la instalación:**
 - Instalación de una bomba dosificadora del producto.
- **Datos del tratamiento:**
 - 12 inyecciones de hipoclorito sódico de 56 horas. Las primeras 12 horas se dosifica en continuo hasta alcanzar una concentración residual de cloro de 0,3-1,5 ppm en el punto más alejado de las instalaciones (medición con kits colorimétricos). Durante el tiempo restante (44 h.) se realiza una cloración discontinua de 30 minutos de aplicación y 90 minutos de no aplicación.
 - La cantidad aproximada de hipoclorito sódico utilizada en el tratamiento fue de 71 toneladas con una riqueza de 180 mg de Cl₂/L.
- **Periodo de tratamiento:**
 - Durante la época de reproducción larvaria (mayo-septiembre).

Resultados de la estrategia

Disminución progresiva de las fases larvarias y ejemplares adultos encontrados durante los muestreos en la instalación. Disminución progresiva de los problemas asociados a la plaga y convivencia con la misma.

7.2. TRATAMIENTO DE CHOQUE

7.2.1. HIPOCLORITO SÓDICO Y SULFATO DE ALUMINIO EN ESTACIÓN POTABILIZADORA

Datos de la instalación

- Localización: comarca de Zaragoza.
- Captación: caudal medio de 2 m³/s de agua, procedente del Canal Imperial de Aragón.

Objetivo de la estrategia

Estrategia preventiva basada en la eliminación de las fases larvarias presentes en el agua de captación durante los meses de actividad reproductiva del mejillón.

Estrategia de control

- **Adaptación previa de la instalación:**
 - Instalación de una bomba dosificadora del producto.
- **Datos del tratamiento:**
 - Se administran en el canal de captación alrededor de 1,2 ppm de hipoclorito sódico y 55 ppm de sulfato de aluminio. Se controla que el agua captada tenga en todo momento un residual de 0,2 ppm de cloro libre. Periódicamente se realizan labores de limpieza de las compuertas de captación y de los conductos de captación situados hasta el punto de dosificación.
- **Periodo de tratamiento:**
 - Durante la época de reproducción larvaria (mayo-septiembre).

Resultados de la estrategia

La metodología implantada resulta extraordinariamente satisfactoria, no observándose ningún mejillón adulto en las operaciones rutinarias de vaciado y limpieza realizada en los decantadores, filtros y depósitos de agua tratada. Se realizan analíticas larvarias y controles de colonización dentro de las instalaciones durante los meses de más actividad del molusco, arrojando todos ellos resultados negativos.



Figura 23. Dosificación conjunta del sulfato de aluminio y el hipoclorito sódico.

7.2.2. OZONIFICACIÓN EN SISTEMAS DE RIEGO DE PARQUES



Datos de la instalación

- Localización: comarca de Zaragoza.
- Captación: caudal medio de 36 m³/h, procedente del Canal Imperial.

Objetivo de la estrategia

Estrategia preventiva donde el ozono sirve de barrera a la entrada de fases larvares de mejillón cebrado dentro de la instalación.

Figura 24. Generador de ozono. Para su óptimo funcionamiento debe alojarse en una ubicación climatizada.

Estrategia de control

- **Adaptación previa de la instalación:**
 - Instalación de un equipo de ozonización.
 - Caseta para albergar el equipo.
 - Punto de inyección del producto en el sistema.
- **Datos del tratamiento:**
 - Dosificación continua durante los momentos de bombeo de 0,3-0,5 ppm de ozono.
- **Periodo de tratamiento:**
 - Durante la época de reproducción larvaria (mayo-septiembre).

Resultados de la estrategia

Desde la implantación del sistema no se ha observado presencia de molusco en ninguna de sus fases vitales dentro de las instalaciones. Se realizan analíticas larvares durante las épocas de actividad del mejillón obteniendo en todas ellas resultados negativos.



Figura 25. Punto de inyección del ozono a la tubería de captación.

7.2.3. PERÓXIDO ACÉTICO EN UNA INSTALACIÓN DE RIEGO

Datos de la instalación

- Localización: comunidad de regantes adscrita a la Comunidad General de Riegos del Altoaragón.
- Captación: Canal de Monegros (Embalse de La Sotenera-Río Gállego). Balsa regulación 195.000 m³.

Objetivo de la estrategia

Realizar un tratamiento reactivo puntual en toda la red de riego con **productos 100% biodegradables (peróxido de hidrógeno) aplicados para la obtención de resultados basados en una SOLUCIÓN GLOBAL 3E: Eficaz, Ecológica y Económicamente viable** para eliminar las larvas y ejemplares adultos de mejillón cebrado presentes en la red.

Tratamiento con una duración reducida que no interfiera en el uso normal de la red. Una vez transcurrido el tiempo de contacto recomendado se puede usar la red sin que sea necesario llevar a cabo acciones adicionales y con total seguridad para todos los usuarios.

Estrategia de control

- **Adaptación previa de la instalación:**
 - Adecuación de la red para la distribución del tratamiento.
 - Acondicionamiento de tomas en el sistema de bombeo para su posterior dosificación.
- **Datos del tratamiento:**
 - Puesta en carga de la red hasta presión de consigna (6-7 Kg/cm²).
 - Dosificación del producto químico mientras se lleva a cabo el llenado.
 - Comprobación de la distribución del tratamiento por toda la red (1.500 ha) mientras se mantiene la dosificación.
- **Periodo de tratamiento:**
 - Distribución tratamiento por la red: 8 horas.
 - Tiempo de contacto: mínimo 24 horas.

Resultados de la estrategia

La correcta distribución del tratamiento por toda la red de riego asegura la eliminación de las larvas y ejemplares adultos de mejillón cebrado presentes en la red. Entre 7 y 15 días después del tratamiento se procede a abrir puntos finales-desagües para eliminar la mayor cantidad de valvas posibles de la red y evitar la obturación de filtros. El agua procedente del tratamiento puede utilizarse para el riego directamente durante y después del tratamiento, siendo compatible con el uso posterior del agua.

7.2.4. SHOCK TÉRMICO EN INDUSTRIA

Datos de la instalación

- Localización: industria en la ribera del Ebro, en cuyo proceso de producción generan agua caliente.
- Captación: río Ebro, de forma variable según el caudal del mismo, hasta un límite de 76 m³/s. El agua captada se filtra para eliminar gruesos y se distribuye para sus diferentes utilidades. En el caso del agua de refrigeración no sufre más modificaciones.

Objetivo de la estrategia

Estrategia con una fase preventiva y otra reactiva. El principio es calentar o recircular el agua caliente generada en el proceso productivo durante momentos puntuales del año para eliminar las fases vitales del molusco presentes en las instalaciones.

Estrategia de control

- **Adaptación previa de la instalación:**
 - Adaptación del sistema de distribución del agua para recircular el agua caliente.
 - Medidor de temperatura.
- **Datos del tratamiento:**
 - La industria dispone de un diseño que permite recircular el agua de refrigeración. De esta manera, consiguen elevar esta temperatura hasta los 34 °C, proceso que dura aproximadamente 3 horas. Una vez que el agua está a esta temperatura, se mantiene estable durante un periodo de 2 horas para finalizar con un periodo de enfriamiento de 6 horas. Hay que destacar que la recirculación del agua sólo se realiza en aquellos circuitos que registran velocidades de agua inferiores a 1,5 m/s.
- **Periodo de tratamiento:**
 - Aplicación puntual para eliminar las poblaciones larvares y adultas fijadas.

Resultados de la estrategia

El tratamiento resulta altamente efectivo eliminando completamente los adultos fijados en diferentes partes del sistema. Además, la aplicación del mismo se realiza sin infringir la limitación de incremento térmico establecido en la concesión de vertidos.

7.2.5. IMPLANTACIÓN DE FILTROS EN POTABILIZADORA



Figura 26. Instalación de filtrado.

Datos de la instalación

- Localización: municipio próximo a una embalse afectado por mejillón cebra.
- Captación: caudal de 50 m³/h.

Objetivo de la estrategia

Desde el año 2002 hasta el 2005 se registró un incremento de la problemática asociada a la especie en la captación. Esto provocó numerosas actuaciones de mantenimiento, problemas de abastecimiento y un coste económico asociado de aproximadamente 3.000€ anuales. Todo ello hizo que en 2005 se realizara una modernización del sistema de abastecimiento y la implantación de un sistema de filtración capaz de retener las larvas de mejillón cebra.

Estrategia de control

- **Adaptación previa de la instalación:**
 - Instalación de un sistema de filtración
 - Si va acompañado de un sistema autolimpiante, la instalación deberá albergar red eléctrica.
- **Datos del tratamiento:**
 - Implantación, tras el sistema de bombeo, de dos filtros auto-limpiantes con un tamaño de poro de 50 μ el primero y 25 μ el segundo.
- **Periodo de tratamiento:**
 - Todo el año.

Resultados de la estrategia

Tras la aplicación del sistema de filtración no se ha detectado presencia de la plaga en fases posteriores al sistema de potabilización, resultando plenamente eficaz.

8. Bibliografía



Aldrige, D.C. Elliott, P. Moggridge, G.D. 2006. Microencapsulated biobullets for the control of biofouling zebra mussels. *Enviro. Sci. Technol.* 40: 975-979.

Brooks, G. y Matisoff, G. 1993. Chlorine dioxide control of adult zebra mussel. Third International zebra mussel conference. Agenda and Abstracts. Toronto, Canada.

Chalcker-Scott, L. Carnevale, R. Smith, K. Scott, J. 1993. Comparison of acute and chronic mid range ultravioleta radation (280-320 NM) effects on adult zebra mussels. Third International zebra mussel conference. Agenda and Abstracts. Toronto, Canada.

Claudi, R. y Mackie, G.L. 1994. Practical manual for zebra mussel monitoring and control. Lewis publishers, London. pp 1-227.

CHE, Confederación Hidrográfica del Ebro. 2009. Actualización de la valoración económica de la invasión del mejillón cebra en la cuenca del Ebro. Informe interno. 87 pp.

Coon, G.T. Belcher, H.W. Hartson, D.J. Zai-Chun, Y. 1993. Potencial infestation of subirrigation Systems in Saginaw bay by zebra mussels and evaluation of control options. Third International zebra mussel conference. Agenda and Abstracts. Toronto, Canada.

Costa, R. Elliot, P. Aldridge, D.C. Moggridge, G.D. 2011. Enhanced mortality of the biofouling zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, through the application of combined control agents. *Journal of Great Lakes Research.* 37 (2): 272-278.

Fisher, S.A. Fisher, S.W. Polizotto, K.R. 1993. Field tests of molluscistatic activity of potassium chloride on zebra mussel veligers. Third International zebra mussels conference. Toronto, Canada.

Fisher, S.W. 1991. The toxicity of potassium chloride to zebra mussel veligers and non target organisms. Second International zebra mussel conference. Rochester, New York.

Fraleigh, P.C. Van Cott, W.R. Wenning, M.E. DeKan, N.A. 1993. Effects of hypochlorite, permanganate, chlorine dioxide and chloramine on zebra mussel settling. Third International zebra mussel conference. Agenda and Abstract. Toronto, Canada.

Freyemark. 2000. Process for inhibiting the settlement of post veliger zebra mussel. US patent 6, 106, 730.

Lewis, D. Van Benschoten, J.E. Jesen, J.N. 1993. A study to determine effective ozone dose at various temperature for inactivation of zebra mussel. Report for Ontario Hydro.

McMahon, R.F. Ussery, T.A. Miller, A.C. 1992. Temperature and relative humidity. Effects of emersion tolerance in zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). Is dewatering a mitigation option? Second International zebra mussel conference. Agenda and Abstracts. Toronto, Canada.

Mokhubu, L. Lemna, A. Heyneman, D. 1987. Endodermis (*Phytolacca dodecandra*). Council on International and public affairs. United Nations, NY.

Palau A. y Cia I. 2006. Métodos de control y erradicación del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*). ENDESA.

Rajagopal, S. Van der Velde, G. Van der Gaag, M. Jenner, H.A. 2003. How effective is intermittent chlorination to control adult mussel fouling in cooling water systems? *Water Research.* 37: 329-338.

Rajagopal, S. Van der Velde, G. Van der Gaag, M. Jenner, H.A. 2002. Sublethal response of zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, to low level chlorination: an experimental study. *Biofouling.* 18 (2): 95 – 104.

Rajagopal, S. Van der Velde, G. Van der Gaag, M. Jenner, H.A. 2005. Factors influencing the upper temperature tolerances of three mussel species in a brackish water canal: size, Seaton and laboratory protocols. *Biofouling.* 21 (2): 87-97.

Verween, A. Vincx, M. Degraer, S. 2009. Comparative toxicity of chlorine and peracetic acid in the biofouling control of *Mytilopsis leucophaeata* and *Dreissena polymorpha* embryos (mollusca, Bivalvia). *International Biodeterioration & Biodegradation.* 63: 523-528.

