

MÉTODOS DE CONTROL Y ERRADICACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA (*DREISSENA POLYMORPHA*)



U.P.H. Ebro-Pirineos (ENDESA Generación)
Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (ENDESA Servicios)

MÉTODOS DE CONTROL Y ERRADICACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA (*DREISSENA POLYMORPHA*)

Septiembre 2006

Autor:

Antoni Palau¹ e Imanol Cia²

Dirección y Coordinación:

Antoni Palau¹ y Emilio Rosico³

Colaboradores:

Ferran Badía², Miguel Ángel Peribañez⁴, Javier Lanaja⁵ y Sofía Massuti⁶

¹ Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. ENDESA.

² Dep. Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida.

³ U.P.H. Ebro-Pirineos. ENDESA Generación.

⁴ Dep. Patología Animal. Universidad de Zaragoza.

⁵ Dep. Química. Universidad de Zaragoza.

⁶ Nueva Nuinsa, S.L.U. Nuinsa-ENDESA.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	6
-----------------------------	---

II. MÉTODOS DE CONTROL Y ERRADICACIÓN

1. INTRODUCCIÓN	9
2. TRATAMIENTOS ESTRUCTURALES Y MECÁNICOS	10
2.1. DISEÑO DE PROYECTO	
2.2. UTILIZACIÓN DE MATERIALES ANTIADHERENTES	
2.3. RECUBRIMIENTOS	
2.4. FLUJOS DE ALTA VELOCIDAD	
2.5. PRESIÓN	
2.6. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN	
2.7. FILTRACIÓN	
2.8. LIMPIEZA MECÁNICA	
3. TRATAMIENTOS FÍSICOS	11
3.1. TRATAMIENTO TÉRMICO	
3.2. DESECACIÓN	
3.3. CONGELACIÓN, ENFRIAMIENTO	
3.4. SHOCK ELÉCTRICO	
3.5. PROTECCIÓN CATÓDICA	
3.6. ELECTROMAGNETISMO DE BAJA FRECUENCIA	
3.7. PULSOS ACÚSTICOS	
3.8. ONDAS DE RADIO	
3.9. LUZ ULTRAVIOLETA	
3.10. CUBRIMIENTO	
4. TRATAMIENTOS QUÍMICOS	13
4.1. TRATAMIENTOS QUÍMICOS OXIDANTES	
4.2. TRATAMIENTOS QUÍMICOS NO OXIDANTES	
5. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS	15
6. TRATAMIENTOS DE GESTIÓN HIDRÁULICA	16
6.1. FLUCTUACIONES DEL NIVEL DE AGUA	

III. LA EXPERIENCIA DE ENDESA

1. INTRODUCCIÓN	19
2. MÉTODOS ESTRUCTURALES Y MECÁNICOS	19
2.1. MATERIALES Y RECUBRIMIENTOS	
2.1.1. Condiciones experimentales	
2.1.2. Alcance de los ensayos	
1.1.2.1. Precampaña de pruebas	
2.1.3. Resultados	
1.1.3.1. Maderas	
1.1.3.2. Metales	
1.1.3.3. Plásticos	
1.1.3.4. Recubrimientos	
1.1.3.5. Otros materiales	
2.1.4. Conclusiones	
2.2. SISTEMAS LIMPIA-REJAS	
2.2.1. Introducción	
2.2.2. Características del diseño	

ÍNDICE

2.3. SISTEMAS DE FILTRADO	
2.3.1. <i>Introducción</i>	
3. MÉTODOS FÍSICOS	38
3.1. DESECACIÓN	
3.1.1. <i>Condiciones experimentales</i>	
3.1.2. <i>Resultados y discusión</i>	
3.2. CAMPOS ELECTROMAGNETICOS DE BAJA FRECUENCIA	
3.2.1. <i>Modo de funcionamiento</i>	
3.2.2. <i>Diseño del experimento</i>	
3.2.3. <i>Resultados y conclusiones</i>	
4. MÉTODOS QUÍMICOS	41
4.1. TRATAMIENTO QUÍMICO NO OXIDANTE	
4.1.1. <i>Condiciones experimentales</i>	
4.1.2. <i>Resultados y conclusiones</i>	
4.2. TRATAMIENTO QUÍMICO OXIDANTE	
4.2.1. <i>Diseño experimental</i>	
4.2.2. <i>Resultados y conclusiones</i>	
5. MÉTODOS BIOLÓGICOS	49
5.1. INTRODUCCIÓN	
5.1.1. TRABAJOS PARASITOLÓGICOS Y MICROBIOLÓGICOS	
5.1.1.1. <i>Trabajos de campo</i>	
5.1.1.2. <i>Trabajos de laboratorio</i>	
5.1.1.3. <i>Resultados y conclusiones</i>	
5.1.2. PRUEBAS DE CONTROL CON INSECTICIDAS BIOLÓGICOS	
5.1.2.1. <i>Productos seleccionados para el tratamiento</i>	
5.1.2.2. <i>Condiciones experimentales</i>	
5.1.2.3. <i>Resultados y conclusiones</i>	
5.1.3. ESTUDIO DE BIOACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES	
5.1.3.1. <i>Obtención de muestras</i>	
5.1.3.2. <i>Tratamiento de las muestras</i>	
5.1.3.3. <i>Resultados y conclusiones</i>	
6. MÉTODOS DE GESTIÓN HIDRÁULICA	61
6.1. ANTECEDENTES	
6.2. PLANIFICACIÓN	
6.3. <i>Condicionantes de partida</i>	
6.4. <i>Objetivo</i>	
6.4.1. <i>Oscilaciones de nivel de embalse</i>	
6.4.2. <i>Crecidas controladas</i>	
6.5.- <i>CONCLUSIONES GENERALES</i>	
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	69

INTRODUCCIÓN



1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El objetivo de esta segunda publicación es aportar, los conocimientos y experiencias tanto las obtenidas de distintas fuentes como las propias, a aquellos sectores de la sociedad que de forma directa o indirecta puedan estar preocupados por la proliferación del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*).

En verano de 2002 ENDESA reunió y constituyó un grupo de trabajo formado por técnicos y especialistas de diversos ámbitos, con el fin de elaborar y llevar a cabo un plan piloto de control, y dado el caso, erradicación del mejillón cebra, en el mayor número posible de ambientes e instalaciones del tramo inferior del río Ebro. Los primeros resultados de dicho plan se centraron en el reconocimiento básico de la ecología y la biología de la especie, y quedaron recogidos en una publicación (Palau *et al.*, 2004).

La presente monografía es una continuación de la publicada en el 2004, complementándola en todos aquellos aspectos más prácticos y aplicados referidos a métodos, técnicas, sistemas o productos, aptos para el control o la eventual erradicación, de poblaciones de mejillón cebra en distintos ambientes, instalaciones o infraestructuras.

No hace falta insistir en que la invasión del mejillón cebra es uno de los problemas medioambientales más graves de cuantos hayan acontecido en aguas continentales españolas, calificable de desastre ecológico. Tampoco sus consecuencias socioeconómicas se quedan atrás: la aparición de la especie afecta de forma directa a la explotación de embalses, sea cual sea su función, colapsa tomas de agua y captaciones, puede ocasionar problemas de salubridad y funcionamiento en depósitos de agua, afecta a las actividades recreativas en ríos y embalses, etc.

Sirva como ejemplo el gasto, que ha originado la aparición de la especie en el sistema de abastecimiento de Fayón (embalse de Riba-roja; Zaragoza), donde la distribución de agua potable quedó colapsada, obligando a la construcción de un nuevo sistema de conducción, con adaptaciones específicas para la prevención frente a la infestación de mejillón cebra, por un importe de casi 500.000 Euros.

La realidad es que existe una clara expansión de la especie en términos de ocupación y de densidades. Por una parte, si se comparan los datos de los muestreos del 2003 con los del 2004 realizados en el embalse de Riba-roja, en cuanto a su distribución en profundidad, existe una ocupación creciente y una tendencia a la uniformización, de la densidad entre 0 y 10 m, y por otra parte, en cuanto a la distribución longitudinal a lo largo de dicho embalse, se constata un aumento espectacular de la densidad hacia la zona de cola.

Dos noticias del 2005, ponen aún más sobre aviso del cariz que está tomando la invasión del mejillón cebra; una es la consolidación de la especie, en densidades ya muy altas, en el embalse de Mequinenza, uno de los más grandes de la cuenca del Ebro y del Estado Español. La otra es la presencia constatada del mejillón cebra en el embalse de Sitjart en la cuenca del río Mijares (Castellón).

En el 2006 la presencia del mejillón cebra se ha hecho extensiva a casi toda la cuenca del Ebro, ocupando ríos de Navarra, de La Rioja, de la vertiente sur de los Pirineos en Cataluña y Aragón y de la vertiente norte del sistema ibérico, en la provincia de Teruel.

En el embalse de Riba-roja la población de mejillón cebra ha alcanzado densidades de hasta 16 kg/m², (unas 160 tn/ha). Si se tiene en cuenta que la superficie del vaso de embalse puede estimarse en unas 3.400 ha, la biomasa acumulada supondría, en peso equivalente, nada más y nada menos que alrededor del 14% del total de residuos municipales generados en Cataluña al año.

La presente publicación está organizada en dos partes bien diferenciadas. La primera es de tipo bibliográfico y se centra en la exposición de distintos métodos de control de la especie, seleccionados entre los muchos existentes en la amplia bibliografía disponible. La segunda parte, muestra las distintas experiencias realizadas por Endesa en materia de control de las poblaciones de mejillón cebra, lo que incluye desde ensayos realizados con diferentes materiales y recubrimientos para comprobar su resistencia a la colonización por parte del mejillón cebra, hasta la aplicación de métodos de filtración, mecánicos, electromagnéticos y químicos, en determinados ambientes e instalaciones. También se abordan las posibilidades analizadas de control biológico y se presentan los primeros datos obtenidos sobre la biotoxicidad acumulada por la especie, en cuanto a metales pesados y pesticidas.

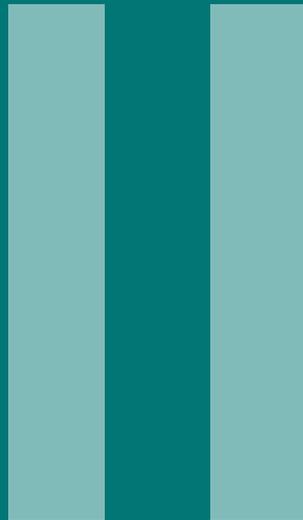
Para cerrar el tema de los tratamientos de control o erradicación de la especie, se exponen algunas propuestas barajadas sobre la optimización de la gestión de los niveles de embalse y los caudales circulantes, acopladas a determinados periodos críticos del ciclo biológico de la especie.

Finalmente, desde estas páginas quiere agradecerse la multitud de colaboraciones que Endesa ha encontrado alrededor de su línea de trabajo sobre el mejillón cebra, desde instituciones y entidades públicas, hasta empresas privadas. Unas y otras han facilitado equipos, medios o información, del todo necesaria para llevar a buen término los estudios y ensayos realizados. A continuación, en la tabla 1 se muestra la lista de todas las colaboraciones recibidas.

Tabla 1. Entidades públicas y privadas, grupos, colectivos y empresas que han participado directa o indirectamente en los trabajos que han permitido elaborar la presente publicación.

- GEAS. Grupo Especial de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil. Comandancias de Huesca y de Barcelona
- Diputación General de Aragón
- Confederación Hidrográfica del Ebro
- Generalitat de Catalunya
- Ayuntamiento de Riba-roja
- Ayuntamiento de Flix
- Ayuntamiento de Mequinzenza
- Ayuntamiento de Fayon
- Universidad de Lleida
- Universidad de Zaragoza
- SEPRONA (Guardia Civil de Caspe)
- Consorci del Pla Integral del Delta de l'Ebre (CPIDE)
- Grup Natura Freixe
- General Electric Betz
- ECANET
- Scalewatcher® América del Norte Inc. (SNA)
- Uralita-STF
- Intermas Nets S.A.
- Regaber, S.A.
- Hostal Hisenda "Pepito"

MÉTODOS DE CONTROL Y ERRADICACIÓN



1. INTRODUCCIÓN

En la amplia literatura existente en torno a los métodos de control y erradicación del mejillón cebra, se pueden encontrar varias formas de clasificar las distintas opciones de actuación. Así, el "Army Corps of Engineers" (2002) de Estados Unidos, clasificó los métodos de control en las siguientes categorías:

- **Métodos proactivos:** Son de tipo preventivo. Incluyen las construcciones con materiales repelentes, los recubrimientos, la filtración de aguas en captaciones, los sistemas de flujo de alta velocidad, el tratamiento químico preventivo, la luz ultravioleta, las aplicaciones acústicas y la protección catódica, entre otros.
- **Métodos reactivos:** Se utilizan para controlar una población ya establecida. La selección del método reactivo más apropiado en cada caso, se debe fundamentar en los factores ecológicos y económicos locales, así como en la facilidad y el coste de su aplicación. Entre los métodos reactivos más habituales se encuentran el tratamiento térmico, la presión, la aplicación de corriente eléctrica, el electromagnetismo de baja frecuencia, la desecación, la congelación o enfriamiento, la privación del oxígeno, los agitadores de alta velocidad, la limpieza mecánica y los tratamientos químicos de control.
- **Métodos prospectivos:** Se adoptan para prevenir problemas relacionados con el mejillón cebra. Se diferencian de los proactivos en el sentido de que su ámbito de aplicación es externo a la infraestructura o instalación que se quiere proteger. Son métodos prospectivos, por ejemplo, la selección de los puntos de toma de agua, la aplicación de fluctuaciones del nivel de agua en embalses y las posibilidades de control biológico en el medio natural.

En cambio, el manual práctico para el seguimiento y control del mejillón cebra de Claudi y Mackie (1994) presenta otro tipo de clasificación, diferenciando tres grupos: los **tratamientos químicos** (que a su vez pueden distinguirse entre oxidantes y no oxidantes); los **no-químicos**, que incluyen las técnicas proactivas indicadas anteriormente junto con las reactivas, y por último los **controles o tratamientos biológicos**.

Independientemente del tipo de clasificación, la mayoría de los métodos de control existentes, y en particular los de tipo químico, pueden aplicarse bajo distintas estrategias, tal y como señala Claudi y Mackie (1994). Así, cabe diferenciar entre métodos de fin de temporada, tratamientos periódicos y tratamientos en continuo.

Por otra parte, en la selección de un método hay que tener en cuenta, lógicamente, el tipo de instalación donde se quiere aplicar, las características que ofrece, así como su conectividad con el medio natural por los posibles efectos sobre otras especies.

Tomando como referencia el caso de las instalaciones hidroeléctricas de Endesa en el tramo inferior del Ebro, Palau y Massuti (2002), sugirieron clasificar las opciones de control y erradicación del mejillón cebra, de la siguiente forma:

- **Métodos estructurales y mecánicos**, entre los que se encuentra el diseño de infraestructuras pensadas para reducir las posibilidades de adherencia de especies de organismos incrustantes (diseño de superficies poco colonizables,...), los materiales y los revestimientos antiadherentes o la aplicación de procesos mecánicos para eliminarlos, una vez instalados, como por ejemplo agua a presión, retirada manual y aspiración o el diseño de equipos de limpieza mecánica (limpia-rejas, etc.).
- **Métodos físicos**, en los que se utilizan técnicas basadas en procesos físicos, como el shock térmico, la desecación, filtración, los campos eléctricos, los pulsos acústicos, la radiación ultravioleta o los campos electromagnéticos de baja frecuencia.
- **Métodos químicos**, donde se incluye la utilización de productos químicos de reconocida capacidad de exterminio del mejillón cebra.
- **Tratamientos biológicos**, representados por el manejo de poblaciones de enemigos y/o predadores naturales del mejillón cebra.

A estas cuatro opciones, cabe añadirle una más, la de los **métodos de gestión hidráulica**, basados en la gestión de niveles de embalses y crecidas controladas, en determinados momentos del ciclo biológico de la especie, con el fin de inferirle el mayor perjuicio posible a su potencial reproductivo y colonizador.

A continuación se procede a describir, los métodos y las técnicas de control citadas, a modo de revisión bibliográfica. Para la exposición, se adopta la clasificación de Palau y Massuti (2002), entendiéndose que un mismo tipo de tratamiento, según su aplicación, puede ser de tipo proactivo, reactivo o prospectivo.

Cabe terminar indicando que existe un sinfín de presuntos "buenos" métodos para actuar contra el mejillón cebra. El problema que representa la especie, su amplia distribución en Europa y reciente dispersión por Estados Unidos, ha llevado a la realización de muchos ensayos con propuestas variopintas, tal y como corresponde a las fases iniciales de enfrentamiento a cualquier problema ecológico global. Ciertamente a veces opciones simples y perentorias en principio, acaban siendo la solución de problemas incommensurables; solo hay que recordar la solución final de "La Guerra de los Mundos", de Orson Wells y su reciente "remake". Esta publicación, no obstante, ha procurado centrarse en las opciones más verosímiles existentes, sin que ello signifique que todas las recogidas lo sean de forma absoluta.

2. METODOS ESTRUCTURALES Y MECÁNICOS

2.1. DISEÑO DE PROYECTO

Se refiere al diseño y/o construcción de elementos o superficies sumergidas expuestas a la colonización, de modo que dificulten hidráulicamente al máximo la fijación de ejemplares de mejillón cebra, como por ejemplo, ausencia de juntas y hendiduras para reducción de efectos deflectores, conducciones que maximicen la velocidad del agua y sean fáciles de supervisar, limitación del número y tamaño de depósitos, duplicación de equipos de captación y conducción para permitir desecaciones periódicas alternas, etc.

Una buena opción, allí donde sea aplicable, es instalar sistemas de drenaje completo de todas las tuberías en circuitos de agua, por ejemplo, mediante una junta giratoria de diámetro pequeño que permita la salida del agua cuando la bomba no funciona. El objetivo es crear un ambiente inhóspito para el mejillón cebra cuando el sistema no esté en uso (ACE, 2002).

2.2. UTILIZACIÓN DE MATERIALES ANTIADHERENTES

Para nuevas instalaciones o en obras de reposición de las ya existentes, la posibilidad de seleccionar los materiales de construcción puede minimizar los problemas y los costes derivados de la colonización del mejillón cebra. Kilgour y Mackie (1993) seleccionaron y clasificaron materiales antiadherentes para nuevas instalaciones y conducciones. Según Race (1992), los materiales más adecuados son cobre, zinc, mercurio y plata. Los dos últimos, no se utilizan por la elevada toxicidad del primero y el elevado coste del segundo.

Según O'Neill (1996), el mejillón cebra no se adhiere a las superficies de cobre y sus aleaciones en metal galvanizado, siempre y cuando no se forme un biofilm de algas sobre dichas superficies, dado que ello les hace perder sus propiedades antiadherentes. En el mismo sentido, Boelman *et al.* (1997) afirman que las tuberías de pequeño diámetro y los componentes fabricados en cobre, latón o acero galvanizado no son susceptibles de incrustación.

Charlebois y Marsden (1997) comparan la adherencia del mejillón en diferentes placas de vidrio y madera. Los resultados sugieren que la adherencia a estos sustratos depende más de la rugosidad que ofrecen en superficie, que del tipo de material en sí mismo. Marsden y Lansky (2000) establecieron un orden en las preferencias de los materiales por parte del mejillón cebra.

2.3. RECUBRIMIENTOS

Se entiende por recubrimiento antiincrustante la pintura u otro tratamiento de superficie utilizado para prevenir el crecimiento de espe-

cies con capacidades de adherirse a los cascos de embarcaciones y a estructuras estacionarias.

Los recubrimientos antiincrustantes ("antifouling") tradicionales liberan un tóxico a bajas concentraciones, habitualmente óxido cuproso, suficientes para repeler la adherencia de organismos como el mejillón cebra. Además del cobre, este tipo de recubrimiento incluye al zinc y al latón.

La efectividad de estos recubrimientos oscila entre 2-5 años, tras los cuales es necesario una nueva aplicación. Los distintos recubrimientos pueden ser efectivos para controlar el mejillón cebra en instalaciones externas, en contacto con el agua natural; si bien antes de su adopción, deben reconocerse y predecir los posibles impactos y considerarse otras alternativas (ACE, 2002).

Existen también los recubrimientos antiincrustantes con nuevos materiales, capaces de presentar superficies extraordinariamente lisas (siliconas, etc.), que minimizan de forma pasiva la adherencia del mejillón. Este tipo de recubrimiento se considera menos dañino para el medio ambiente al no liberar tóxicos solubles, pero es más caro y tiene menor durabilidad al verse afectado por la abrasión.

2.4. FLUJOS DE ALTA VELOCIDAD

La variación periódica de la velocidad de flujo puede utilizarse para prevenir el establecimiento de la población en conducciones y tuberías. En la etapa juvenil, el mejillón cebra puede fijarse en cualquier punto de una conducción con velocidad del agua inferior a 1,5 m/s (Claudi y Mackie, 1994).

Para masas de agua o conducciones de alto caudal, se especuló que un agitador de alta velocidad en línea podría matar o dañar las larvas velíferas del mejillón cebra, por exposición a las turbulencias y las sobrepresiones. Smythe *et al.* (1993) evaluaron tres sistemas de agitadores y encontraron que ninguno de los tres afectaba significativamente a la especie y su capacidad de fijación.

2.5. PRESIÓN

Distintas experiencias basadas en el uso de la presión han sido utilizadas en la erradicación del mejillón cebra con dudoso éxito. Según Lei (1992) aplicando presiones de 14-15 libras/pulgada² (0,953-1,02 atmósferas/cm²) de forma continuada, los individuos de mejillón expuestos mueren en 2-3 días.

Chang (1994) desarrolló y patentó un aparato de vacío para el control del mejillón cebra en el interior de conducciones; se trata de un tratamiento que sólo consume electricidad y agua reciclada, y no produce residuos, siendo por lo tanto una tecnología respetuosa con el medio ambiente.

2.6. SISTEMAS DE INFILTRACIÓN

Puede considerarse una estrategia de control efectiva de tratamiento previo para la captación de pequeños caudales de agua. Se usan sustratos estratificados naturalmente (suelos) o de forma artificial (gradiente de distintas porosidades) sobre los que se infiltran las aguas de captación. A parte de los posibles efectos de su construcción, esta técnica no conlleva otros impactos ambientales, pero el procedimiento requiere mantenimiento, ya que los filtros granulares se van obturando con el tiempo (ACE, 2002).

Hay varias clases de sustratos filtrantes; el diseño y la elección de uno de ellos, o de varios combinados, vendrá dada en función de la eficacia en la retención que se este buscando.

2.7. FILTRACIÓN

Las pantallas, los filtros en línea, los tamices y los mecanismos de ultrafiltración pueden ser efectivos para bloquear la entrada de mejillones adultos y juveniles, pero una eficacia del 100% en la retención de todos los estadios de desarrollo del mejillón cebra, es complicada y costosa dado que requiere retener partículas de 30-40 μm , a pesar de los recientes avances en técnicas de filtración.

A parte de la medida de poro requerida, la diferencia de presión entre los dos lados del sistema filtrante y la turbulencia son dos características a considerar para la efectividad de los filtros, son sistemas operativos preferentemente para el tratamiento de caudales pequeños.

2.8. LIMPIEZA MECÁNICA

Las poblaciones de mejillón cebra pueden ser arrancadas o erradicadas de estructuras externas y tuberías por diferentes métodos manuales. Estas técnicas proporcionan soluciones a corto plazo, pero tienen que ser repetidas a intervalos regulares. Las más frecuentes son la limpieza mecánica de tuberías de diámetro grande, los sistemas limpia-rejas en captaciones de agua de gran caudal, la limpieza manual bajo el agua mediante buceadores, la limpieza con agua a baja y alta presión con o sin abrasivos (Claudi y Mackie, 1994) y por último la limpieza mecánica por choque térmico, utilizando hielo seco como alternativa a los abrasivos (Gauthier y Nicolaidis, 1992).

Un ejemplo de limpieza mecánica manual es la experiencia realizada en el Lago George (USA), donde la cooperación de la comunidad, junto con las características del lago fueron factores importantes para erradicar el mejillón cebra, si bien partiendo de unas densidades iniciales muy bajas, dado que se actuó con presteza y rapidez. Inicialmente la población era de unos 20.000 individuos, que pasaron a ser menos de 200 después de la limpieza, con lo que fueron envejeciendo sin posibilidad de realcanzar una población viable y acabaron desapareciendo. El bajo nivel de calcio del lago

fue un factor coadyudante en la erradicación de la especie, aunque sin duda la clave fue la actuación rápida, decidida y eficiente de la población local (Lake George Park Comisión, 2002).

3. METODOS FÍSICOS

3.1. TRATAMIENTO TÉRMICO

Se trata de un método de control bastante eficaz. Muchas administraciones públicas en Estados Unidos ven el tratamiento de calor como más seguro ambientalmente que el tratamiento químico.

El mejillón cebra es capaz de aclimatarse a un extenso rango de temperatura (ACE, 2002). Hay un **tratamiento térmico agudo**, en el que la temperatura letal es definida como aquella donde el mejillón cebra muere al alcanzarse un determinado umbral. La técnica consiste en calentar periódicamente el sistema de agua hasta dicha temperatura letal con una duración suficiente para obtener una mortalidad significativa y seguidamente volver a la temperatura normal (McMahon *et al.* 1995); esta técnica se aplica en sistemas donde no se puede mantener la temperatura letal durante periodos muy dilatados.

Por su parte el **tratamiento térmico crónico** supone una exposición constante a la temperatura letal. Se aplica mayoritariamente en los circuitos de agua de instalaciones térmicas e industrias donde es posible hacerlo de forma ordinaria. En estos casos, conviene tener en cuenta la capacidad de aclimatación de la especie. En general, los tiempos necesarios de exposición deben incrementarse a medida que las temperaturas de aclimatación van aumentando, o bien cuando las posibilidades del sistema sólo permiten temperaturas de tratamiento continuado menores (McMahon y Ussery, 1995).

Existen dos estudios que aportan datos útiles sobre la tolerancia térmica del mejillón cebra. El primer estudio, de Griffiths (1992), puede servir como guía para determinar por cuanto tiempo y temperatura tienen que ser mantenidos los mejillones cebra para obtener una mortalidad del 100%. Este valor se obtiene por medio de unas tablas. El segundo, de McMahon *et al.*, (1993) aporta expresiones de cálculo.

3.2. DESECACIÓN

Este proceso consiste en vaciar completamente los sistemas colonizados (depósitos, tanques, tuberías, embalses, etc.) de agua y someter a los mejillones a una desecación; para pequeñas instalaciones, el proceso se acompaña con el uso de aire caliente para acelerarlo. De lo contrario, se tendría que prolongar el tiempo de vaciado para conseguir el objetivo de erradicación del mejillón cebra.

El mejillón cebra puede sobrevivir varios días en un ambiente húmedo, según la temperatura (McMahon *et al.*, 1992). Este autor determinó que una alta humedad relativa aceleraba más la mortalidad del mejillón cebra que la ausencia de agua. De esta manera comprobó que el mejillón cebra puede sobrevivir hasta 10 días en un ambiente fresco de 15°C; menos de 150 horas a 25°C a pesar de la humedad relativa y menos de 40 horas a 35°C si la humedad relativa era alta.

Por su parte Payne (1992), en un estudio de la mortalidad por exposición al aire del mejillón cebra, realizó distintos experimentos de laboratorio en los que sometió al mejillón cebra a cinco condiciones ambientales diferentes de humedad y tres de temperatura, realizando un total de 15 combinaciones. Los resultados indicaron que el tiempo de supervivencia a la desecación aumenta a bajas temperaturas si hay alta humedad. Para asegurar el 100% de mortalidad, en condiciones de bajas temperaturas (< 5°C) y alta humedad relativa (95%) se requiere una exposición a la desecación de alrededor de 1 mes; con altas temperaturas (>25°C), la humedad relativa interviene poco y se consigue la plena mortalidad en un máximo de 5 días.

3.3. CONGELACIÓN, ENFRIAMIENTO

La sensibilidad del mejillón cebra es mayor al frío que al calor. Según Clarke y McMahon (1993) en la exposición de mejillones cebra al aire, se observa que los ejemplares que están en grupos (colonias, racimos) sobreviven el doble de tiempo que los que están separados (aislados) y que el tiempo de exposición decrece exponencialmente con el descenso de temperaturas por debajo de 3°C. Es un proceso viable en sistemas abiertos (embalses, ríos) de lugares donde se den épocas de bajas temperaturas y posibilidades de una gestión hidráulica de los ecosistemas acuáticos implicados. En el estudio de Clarke y McMahon (1993) se incluyen tablas, con los tiempos de supervivencia a temperaturas bajo cero, tanto en racimos (colonias), como individuales.

Según Payne (1992) el control del mejillón cebra puede ser efectivo por exposición al frío invernal (temperaturas de congelación del aire); los resultados de su estudio indicaron una mortandad del 100% para mejillones agregados en racimo, a partir -10°C con menos de 2 horas de exposición y de unas 48 horas para una temperatura de exposición de -1,5°C.

3.4. SHOCK ELÉCTRICO

Han sido realizados varios estudios sobre el efecto de la corriente eléctrica sobre el estadio de larvas velíferas y sobre adultos de mejillón cebra.

Según McKay (1991), los estadios de larvas velíferas, post-velíferas y los juveniles mueren al pasar a través de un campo electrostático fuerte. La intensidad mínima donde hay daño fisiológico permanente es de 100 V/cm, con corriente alterna aplicada a intervalos de 0,25 s. La literatura sugiere que o

bien se trate con gran intensidad eléctrica durante una corta exposición o una mayor exposición usando una menor intensidad para llegar al efecto deseado.

Por su parte Lange *et al.* (1993) analizaron los efectos de campos de bajo voltaje, utilizando corriente alterna y corriente continua. Usando corriente alterna a 17 V/cm y exposición de larvas velíferas durante 0,1 s no hubo ninguna disminución de grado de fijación del mejillón cebra. El uso de la corriente continua parece que incluso fomentaba el establecimiento del mejillón.

Sobre la aplicación de este tipo de técnicas, cabe destacar que puede comportar algunos problemas de seguridad laboral en industrias e instalaciones, lo que limita sus posibilidades de uso.

3.5. PROTECCIÓN CATÓDICA

Se han estudiado los efectos sobre el mejillón cebra, de las distintas intensidades de corriente eléctrica, de uso común en la protección del acero sumergido en agua, contra la corrosión. Las intensidades analizadas fueron de 2, 4 y 5 mA/ft² y como era de esperar, la completa inhibición de la fijación de mejillón cebra, no fue posible con esas intensidades.

Lewis y Pawson (1993) detectaron una reducción significativa de la fijación del mejillón cebra para valores de 2,4 y 5 mA/ft². No hay datos disponibles para intensidades mayores, si bien parece ser que ensayos con 5,5, 8 y 10 mA/ft² dan buenos resultados.

3.6. ELECTROMAGNETISMO DE BAJA FRECUENCIA

El uso de electromagnetismo de baja frecuencia puede permitir un control no químico viable (Ryan, 1998). Con aplicaciones de esta técnica para frecuencias $f < 300$ Hz y longitudes de onda $\lambda \approx 1 \times 10^6$ m, el mejillón cebra pierde su habilidad para asimilar el calcio mineral, y por tanto queda inhabilitado para crecer, desarrollar la concha, reproducirse y mantener las funciones metabólicas normales.

El electromagnetismo de baja frecuencia incrementa la solubilidad del carbonato cálcico, lo cual afecta la habilidad del mejillón para absorberlo del agua. Las larvas y los ejemplares juveniles de mejillón cebra, cuya demanda de calcio es mucho mayor que los adultos, no son capaces de desarrollar las conchas por lo que no pueden madurar y desarrollarse. También se nota un desprendimiento del calcio en la concha y los tejidos (ACE, 2002).

En los trabajos de Ryan (1998) con electromagnetismo de baja frecuencia, los parámetros medidos fueron las tasas de mortalidad del mejillón cebra y los efectos sobre otros minerales como el sodio, potasio y magnesio. El procedimiento fue analizado en sistemas cerrados y abiertos (conductos de agua,

tomas y ríos). Se obtuvo un 100% de mortalidad entre 10 y 15 días dentro del sistema cerrado y se anotaron altos niveles de estrés en los otros sistemas.

3.7. PULSOS ACÚSTICOS

Aunque el uso del sonido como disuador ha sido mencionado en distintas ocasiones, los resultados obtenidos en distintos análisis han creado bastante controversia. Algunas pruebas han sido realizadas utilizando frecuencias de entre 20 y 60 Hz y mayores que 20 kHz. Los resultados han sido muchas veces no concluyentes, tal vez debido a la dificultad de disponer de instalaciones y mediciones efectivas.

Kowalewsky y Patrick (1992) sometieron individuos juveniles a distintas frecuencias y amplitudes de sonido; los resultados mostraron como la energía acústica de entre 39 y 41 Hz fragmentaba las larvas velíferas de mejillón cebra existentes en el agua y al cabo de entre 19 y 24 horas mataba a los adultos. Los experimentos llevados a cabo por Donskow y Ludyanskiy (1995) mediante sonido de baja frecuencia, se utilizaron para evitar la fijación de la especie en embarcaciones. No hay duda de que el mejillón cebra responde a la presión ejercida por el sonido (Claudi y Mackie, 1994); sin embargo, no se conoce ningún dispositivo comercial con resultados eficaces.

3.8. ONDAS DE RADIO (> 500 Hz)

Teóricamente, se trata de una técnica para eliminar el mejillón cebra sin efectos sobre el medio ambiente. Algunos experimentos realizados (Matthew, 2001) muestran que la totalidad de una población de mejillón cebra murió después de estar 40 días expuesto a ondas de radio de baja energía. Según parece las ondas de radio no afectan significativamente otros organismos como peces y cangrejos. El análisis del agua una vez muerto el mejillón demostró una alta concentración de calcio, por lo que el estudio concluyó que las ondas de radio causan alteraciones en la disponibilidad del calcio que necesita el mejillón cebra para el mantenimiento de sus conchas.

3.9. LUZ ULTRAVIOLETA (UV)

La luz ultravioleta se aplica para esterilizar el aire o el agua. Se trata de un método de desinfección bastante popular para volúmenes pequeños de agua potable. Recientemente, la posibilidad de tratar grandes volúmenes de agua ha promocionado la luz ultravioleta como un sistema de tratamiento en plantas de aguas residuales. El sistema de luz UV se ha aceptado como una alternativa tecnológica viable a la cloración. Uno de sus mayores inconvenientes es que la calidad del agua puede limitar la efectividad de este tratamiento. Pruebas a pequeña escala, sugieren que esta técnica ha sido efectiva para prevenir el establecimiento de larvas velíferas, pero no para juveniles (Claudi y Spencer, 1993).

3.10. CUBRIMIENTO

Braithwaite (2003) utilizó esteras bentónicas para erradicar mejillón cebra en puntos localizados (Foto 1, 2) en el Lago Saratoga (USA). La eficacia de las esteras ya había sido contrastada en especies de vegetación invasora. Su aplicación contra el mejillón cebra se integró con la extracción manual por buceadores. Los ensayos se realizaron con duraciones de 1, 2, 4 y 8 semanas, tanto en ambientes naturales como en laboratorio, evaluando la mortalidad y los parámetros químicos y físicos debajo las esteras. Los resultados del recubrimiento durante 8 semanas fueron del 100% de mortalidad, mientras que el recubrimiento durante 2 o 4 semanas resultó inferior al 70% de mortalidad. Esta práctica supone un daño ambiental muy localizado.



Foto 1. Muestra de manta bentónica



Foto 2. Manta bentónica colocada en el lugar en que se pretende la eliminación de una colonia de mejillón cebra.

4. TRATAMIENTOS QUÍMICOS

Los tratamientos químicos se pueden clasificar en **oxidantes** y **no oxidantes**. Los primeros son, con diferencia, los de más amplia difusión.

4.1. TRATAMIENTOS QUÍMICOS OXIDANTES

El cloro y sus derivados (hipocloritos, dióxido de cloro), el bromo, el ozono, el permanganato potásico y el peróxido de hidrógeno forman los tratamientos

químicos oxidantes. A continuación se recoge una breve descripción de cada uno de ellos:

- **Cloro (Cl):** La cloración es el método más utilizado y aceptado en el control sanitario de aguas y de organismos acuáticos indeseables, a pesar de que algunos derivados de la cloración (cloraminas, trihalometanos y otros) están catalogados de carcinogénicos. Es un tratamiento asequible y de fácil aplicación. En países ambientalmente avanzados como Canadá, sigue siendo la referencia. Su eficacia depende de varios factores como la temperatura, el pH o la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos, que reducidos pueden hacer aumentar la demanda de cloro (S^{2-} , Fe^{2+} , etc.), los cuales aceleran la descomposición del cloro y por tanto hacen que este no llegue al mejillón cebra en las dosis requeridas para su mortalidad.

McMahon y Chase (1996) probaron el tratamiento químico con cloro, observando que las aplicaciones discontinuas daban buenos resultados frente a la reacción de los mejillones de cerrar sus valvas y evitar los efectos letales del cloro. Según indican estos autores, aplicaciones frecuentes (cada 30, 60 minutos) permitían que los bivalvos abrieran sus valvas durante los cortos periodos de tiempo en los que no se aplicaba el producto tóxico, permitiendo la re-exposición al cloro en cada siguiente periodo de aplicación.

- **Hipoclorito sódico (NaClO):** Esta considerado el más seguro y versátil producto de cloración y muestra un notable efecto biocida.

- **Clorito sódico (NaClO₂):** Tiene numerosas ventajas sobre otros productos químicos, dado que es menos agresivo con el medio ambiente, no genera los productos indeseables del cloro, no es corrosivo y sus soluciones son estables y fáciles de aplicar. No obstante, parece ser que ni siquiera concentraciones de tratamiento por encima de 80 mg/l y tiempos de exposición de 10 días producen efectos importantes sobre el mejillón cebra (Claudi y Mackie, 1994).

- **Cloraminas:** Se forman de manera natural cuando se añade cloro a aguas ricas en materia orgánica. Se presentan como monoclaramina (NH_2Cl), dicloramina ($NHCl_2$) y tricloramina (NCl_3). Según Claudy y Mackie (1994) son oxidantes menos eficaces que los hipocloritos.

- **Dióxido de cloro (ClO₂):** Es un desinfectante muy utilizado y efectivo en la industria del agua. Hay discrepancias sobre su efectividad en el control del mejillón cebra; además, no presenta mejoras significativas sobre el hipoclorito sódico respecto al coste y la facilidad de uso, y para su aplicación debe utilizarse un equipo especializado.

Los tratamientos clorados son más eficaces al final de la temporada de crecimiento, ya que los ejemplares de mejillón cebra están exhaustos después de la reproducción. Por razones obvias también se ha observado que en las colonias, los ejemplares más vulnerables son los más externos.

Dado que a menudo los tratamientos de cloración se aplican por exceso y que esto contribuye a la formación de compuestos no deseables, a menudo se hace conveniente neutralizar el cloro residual mediante productos como el bisulfito sódico cuya dosis suele ser 1,8 a 2,0 unidades, por unidad de cloro residual total (Claudi y Mackie, 1994).

- **El Bromo (Br):** Se puede usar como bromo activado, bromuro sódico, cloruro de bromo y mezclas de bromo y cloro con otros productos químicos. Generalmente se han de tomar las mismas precauciones que con la cloración en su uso, transporte y almacenaje. Se ha observado que el bromo en todas sus formas es más efectivo que la cloración para pH superiores a 8,0. No existe mucha información acerca del tratamiento con bromo, pero se ha estimado que se requieren concentraciones similares a los del cloro, para el control del mejillón cebra. El bromo tenía la reputación de que no afectaba a otras especies distintas al mejillón cebra, como peces, algas, fitoplacton, etc. pero se demostró que su toxicidad para tales organismos es mayor que la del cloro (Claudi y Mackie, 1994).

- **El Ozono (O₃):** Es un reconocido bactericida utilizado para desinfectar las aguas ya que su aplicación no produce ni olores, ni sabores, ni coloración en el agua. Es un poderoso oxidante y si bien se disipa muy rápidamente, requiere tiempos de contacto inferiores a la cloración. Según Lewis, Van Benschoten y Jensen (1993) a una temperatura entre 15-20 °C, con un tiempo mínimo de contacto de 5 horas y una concentración de 0,5 mg/l se produce una mortalidad del 100%. Concentraciones de ozono residual superiores a 0,5 mg/l, aplicadas entre 7 y 12 días causan el 100% de mortalidad de los mejillones cebra adultos.

Es un tratamiento eficaz pero caro dado que mantener suficiente ozono residual para controlar a los mejillones cebra adultos requiere mucha producción e inyección de ozono.

- **El Permanganato Potásico (KMnO₄):** Se usa comunmente en la potabilización del agua. Su coste y su efectividad han condicionado su utilización en el control del mejillón cebra. Al contrario que la cloración, el permanganato potásico necesita de altas y continuas dosis. La principal ventaja es que no produce trihalometanos.

De acuerdo con los resultados de algunos estudios, el permanganato potásico aplicado a aguas corrientes, con dosis entre 1,0 y 2,5 mg/l, reduce la concentración de larvas velíferas en un 90% (Claudi y Mackie, 1994), mientras que en aguas estancadas (Klerks *et al.*, 1993) observaron una mortalidad del 30% de larvas velíferas para una exposición de 2,5 mg/l durante 3 horas. Estos resultados sugieren que el permanganato potásico previene el asentamiento del mejillón cebra, pero no es totalmente tóxico para dichos organismos.

- **El Peróxido de hidrógeno (H₂O₂):** Tiene fama de ser un oxidante que no deja subproductos en su disociación, pero no es del todo cierto. Se usa con

cierta frecuencia como alguicida o biocida. Según estudios realizados por Martín *et al.* (1992) y Klerks *et al.* (1993) se necesitan altas dosis del producto, por encima de los 12 mg/l, para conseguir una alta mortalidad, lo que hace que comparado con otros productos, puede resultar costoso e inaplicable para tratar grandes volúmenes de agua.

Del mismo modo, hay estudios sobre la eficacia del peróxido de hidrógeno combinado con iones de hierro, pero, igualmente, se requieren altas concentraciones de ambos productos para obtener una mortalidad significativa (5 y 1,25 mg/l respectivamente) para unos tiempos de exposición muy dilatados (más de 50 días). Por el momento el peróxido de hidrógeno no aporta ventajas sustanciales sobre el resto de oxidantes.

4.2. TRATAMIENTOS QUÍMICOS NO OXIDANTES

Los métodos químicos no oxidantes son, en general, menos eficaces que los oxidantes y, no están exentos de una posible afección significativa hacia otros organismos acuáticos distintos de los que se pretende controlar. Este hecho determina que su aplicación requiera procesos complementarios de detoxificación de las aguas tratadas antes de su entrada en un ecosistema acuático natural. A continuación se expone una breve descripción de los principales tratamientos químicos no oxidantes:

- **Potasio (K⁺):** De las numerosas sales metálicas probadas para conocer su toxicidad ante el mejillón cebra, las de potasio han ofrecido buenos resultados. Ensayos realizados con concentraciones entre 88 y 228 mg/l dependiendo del compuesto de potasio utilizado Fisher *et al.*, (1993), observaron que con KCl se previene el asentamiento de individuos de mejillón cebra. El potasio no es tóxico para organismos superiores, como los peces, pero desafortunadamente los bivalvos autóctonos son más sensibles que el mejillón cebra, por lo que la aplicación de este producto requiere precaución.
- **Sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃):** Se utiliza en procesos de floculación y se ha comprobado su toxicidad para las larvas velíferas de mejillón cebra, contribuyendo además a su decantación física. Los estudios de Kilgour y Mackie (1993) revelaron que para que se alcance una mortalidad del 50% la concentración tiene que ser alrededor de 126 mg/l; por debajo de 100 mg/l las larvas velíferas se mantienen vivas al menos 24 horas. Estos estudios también indicaron que un descenso del pH por debajo de 5 en la zona de adición del sulfato de aluminio, causaba la muerte instantánea de las velíferas. La precloración mejora la eficacia del sulfato de aluminio, con lo cual, dadas las características de este producto, resulta particularmente apropiado para el control del mejillón cebra en la entrada de las instalaciones de tratamiento de aguas.
- **Nitrato Amónico (NH₄NO₃):** Este tratamiento no es factible en corrientes libres de agua (aguas no confinadas); es más eficaz en circuitos cerrados.

A concentraciones de 400-500 mg/l causa el 100% de mortalidad de los mejillones cebra adultos, en un periodo de 5 a 6 días. En el caso de las larvas velíferas las concentraciones superiores a 3 mg/l causan el 100% de mortalidad (Claudi y Mackie, 1994).

- **Metasulfito de Sodio (Na₂SO₃):** El metasulfito de sodio es un captador de oxígeno y la anoxia contribuye a la mortalidad del mejillón cebra. Los trabajos de Mackie y Kilgour (1992), demostraron que el metasulfito de sodio no es muy tóxico para el mejillón cebra; de hecho se necesita como mínimo 177 mg/l para matar ejemplares adultos en sistemas cerrados y más de 2000 mg/l en sistemas libres; por debajo de estas concentraciones los efectos son nulos. Su aplicación puede tener efectos colaterales sobre otras especies acuáticas y por las concentraciones requeridas, su utilización es solo planteable en circuitos cerrados en los que no se renueva el agua durante grandes periodos de tiempo.
- **Sulfato de Cobre (CuSO₄):** Es bien conocida la toxicidad de este compuesto para el control de algas y microorganismos del agua. Las concentraciones de cobre en el agua están limitadas por ley. Tal y como se ha indicado, el cobre junto con el zinc forman parte de la mayoría de las pinturas y revestimientos antiadherentes (ACE, 2002).

Al margen de los productos no oxidantes descritos, existen productos comerciales de composición más compleja y no publicada (aminas cuaternarias, etc.) que ofrecen muy buenos resultados para la erradicación del mejillón cebra en instalaciones cerradas y son respetuosas con el medio ambiente y las comunidades naturales acuáticas. Más adelante se presenta una experiencia realizada con este tipo de productos.

5. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

En términos simples y estrictos, el control biológico es el uso de una especie para anular o acotar el desarrollo poblacional de otra. El método de biocontrol más efectivo según Debach y Rosen (1991) es la exposición a concentraciones anormales de parásitos selectivos de la especie objetivo. En el caso del mejillón cebra, son especies parásitas *Bucephalus polymorphus*, *Aspidogaster sp.*, *Phyllodistomum sporocysts*, *Scuticociliatida*, entre otros. En este tipo de control biológico se asume que el enemigo natural (parásito) proliferará simultáneamente a lo largo del tiempo hasta neutralizarse, una vez mermada la población de la especie huésped y que el parásito tendrá una actuación selectiva; sin embargo puede ocurrir que la especie huésped se desarrolle más rápido que la de sus parásitos, como de hecho Debach y Rosen (1991) sugieren en el caso del mejillón cebra, y que el parásito afecte a otras especies distintas de la pretendida, como también de hecho ha ocurrido en algunos casos.

Según Molloy (1998), hay dos grupos de organismos que tienen potencial para controlar el mejillón cebra: los microorganismos tóxicos selectivos y los enemigos naturales (parásitos, competidores y predadores, en general).

La utilización de microorganismos como método de control es una opción muy esperanzadora, aunque incipiente. Entre los enemigos naturales del mejillón cebra Mitchell y Maki (1993) informan de 36 especies de aves y 53 de peces; de estas últimas, 15 se alimentan de larvas velígeras y 38 de mejillones adultos, si bien eso no significa que sean agentes efectivos de control biológico.

También algunos organismos bentónicos se han tenido en cuenta ya que compiten con el mejillón cebra por conseguir los mejores lugares para su desarrollo. Tal es el caso de algunas esponjas, que llegan a cubrir por completo al mejillón cebra y lo eliminan, así como especies de algas, briozoos, crustáceos, etc. Sin embargo ninguno de ellos tiene plenas aptitudes para utilizarlos como agentes de control biológico.

En ambientes más bien cerrados y controlables (lagunas endorreicas) con poblaciones reducidas de mejillón cebra, es planteable el uso de estrategias de control biológico. Sin embargo no es aconsejable la implantación masiva de predadores, competidores o parásitos en ambientes acuáticos abiertos dado que la probabilidad de que puedan surgir interacciones no deseables con otras especies presentes es muy alta, como también lo es la posibilidad de que pueda perderse el control sobre la especie controladora.

6. TRATAMIENTOS DE GESTIÓN HIDRÁULICA

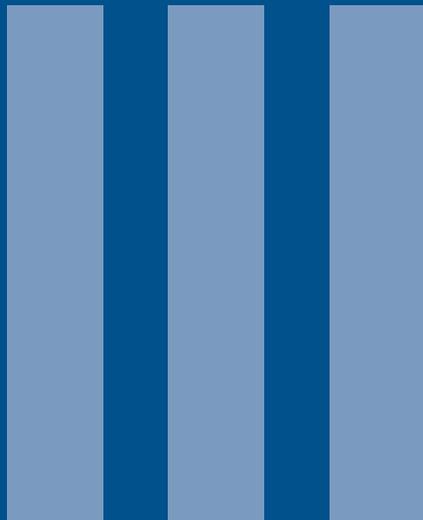
6.1. FLUCTUACIONES DEL NIVEL DE AGUA

El manejo de los caudales circulantes en los cursos (ríos regulados), y de los niveles de masas de agua (embalses) invadidas por el mejillón cebra, es probablemente una de las mejores opciones de control poblacional de la especie, si se realiza de forma planificada con relación a su ciclo biológico.

El manejo de niveles de embalse, permite dejar importantes densidades de población al descubierto y forzar su muerte por desecación (o congelación, según la época). Por su parte las crecidas controladas en tramos de ríos regulados, permiten acabar con, o mermar de forma significativa, bien sea por arrastre, enterramiento o abrasión, con las poblaciones de mejillón cebra del lecho, además de otros efectos colaterales beneficiosos que contribuyen a fortalecer el ecosistema fluvial y por tanto a aumentar su refractancia frente a la invasión del mejillón cebra.

Se conoce una experiencia en Grecia, donde fluctuaciones de nivel de agua entre 10 y 30 metros, se han utilizado como medida de control de las poblaciones de mejillón cebra en embalses (Conides, 1995). También existen experiencias llevadas a cabo en el continente americano, como las realizadas por (Gracio y Montz, 2002) en el lago Zumbro, al noroeste del estado de Minnesota y en el lago Edimboro ubicado al noroeste del estado de Pensilvania.

LA EXPERIENCIA DE ENDESA



1. INTRODUCCIÓN

A continuación se presentan, en forma de síntesis, los resultados de los distintos ensayos realizados por Endesa a lo largo de los dos años y medio, aproximadamente, que han transcurrido desde que se puso en marcha el plan piloto para el control y la erradicación del mejillón cebra. Se trata de un recopilatorio de los ensayos llevados a cabo con distintas técnicas y métodos de control y erradicación de la especie, en diferentes instalaciones y ambientes.

A lo largo de estos años, se han recibido varias propuestas y ofertas de ensayos. Unas se ha adoptado y llevado a la práctica, otras se han tenido que descartar por su inverosimilitud y otras que sin duda hubiera sido interesante proceder a su experimentación, no se han podido llevar a la práctica, por razones logísticas, operativas o económicas.

2. MÉTODOS ESTRUCTURALES Y MECÁNICOS

Los ensayos realizados acerca de las posibilidades de control y/o erradicación del mejillón cebra mediante métodos estructurales y mecánicos, han sido llevados a cabo por la Universidad de Lleida, en base a un convenio de investigación patrocinado por Endesa. Se han investigado tanto métodos activos como pasivos.

Para la realización de los distintos estudios y ensayos que a continuación se exponen, se adoptaron desde un principio las siguientes líneas de trabajo:

- **Ensayo de materiales y recubrimientos:** Se han realizado pruebas de distintos materiales para comprobar su idoneidad como sustrato para el mejillón cebra. Se ha trabajado con materiales plásticos, metales, maderas, cerámicas y recubrimientos de todo tipo (resinas, pinturas antiincrustantes, etc.)
- **Diseño de equipos de limpieza mecánica:** Se ha desarrollado un prototipo de sistema de limpia-rejas, para captaciones de agua en embalses.
- **Sistemas de filtrado:** Se dispuso de un sistema de filtración por mallas de tipo autolimpiante, si bien por razones logísticas no pudo llevarse a cabo el ensayo.

Cada una de las líneas de trabajo se describe detalladamente a continuación con los respectivos resultados y conclusiones.

2.1. MATERIALES Y RECUBRIMIENTOS

2.1.1. Condiciones experimentales

De entrada, se comenzó por realizar un breve repaso de la bibliografía básica existente recopilando la información relativa a los distintos materiales probados hasta la fecha. En simultáneo se llevó a cabo una búsqueda de posibles

empresas proveedoras y/o colaboradoras que trabajasen con los materiales objeto de ensayo y que pudieran estar interesadas en las pruebas planteadas.

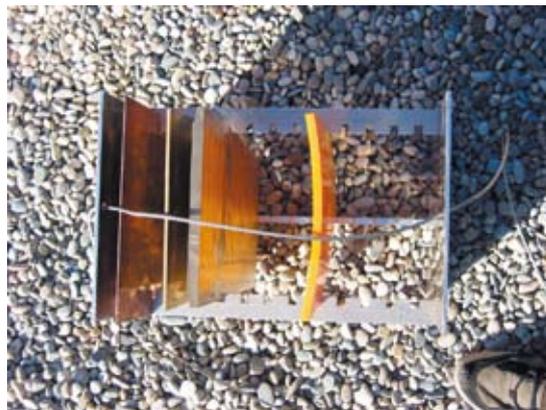


Foto 3. Vista en planta del portamuestras diseñado con algunas muestras de materiales.

Tras la selección y búsqueda de materiales, se trabajó en el diseño del ensayo de resistencia a la colonización del máximo número posible de materiales y recubrimientos. Las condiciones experimentales establecidas fueron las siguientes:

- Permitir a los materiales estar sumergidos en un medio con suficiente presencia de larvas, de manera que no se dijera en ningún momento condiciones limitantes al proceso de colonización.

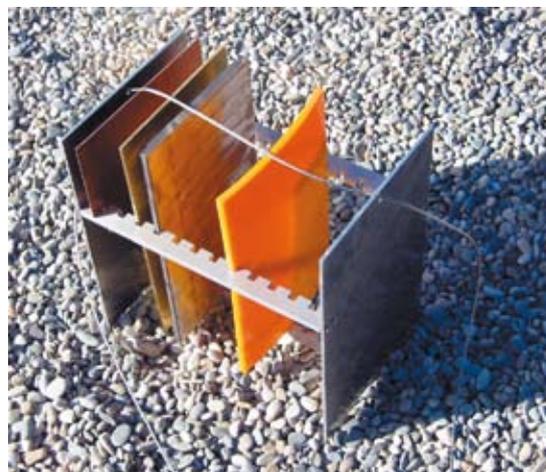


Foto 4. Vista lateral del portamuestras diseñado con algunas muestras de materiales.

- Asegurar un flujo constante de agua que permitiese la vida del mejillón cebra, una vez fijado.
- Las muestras de materiales y recubrimientos debían tener un tamaño suficiente como para ser representativas, manejables durante las labores de seguimiento y económicamente asumibles; además debían estar disponibles en el mercado.

- Las muestras debían poder sumergirse dentro de las piletas de experimentación del centro de experimentación de Endesa, en Riba-roja en previsión de posibles pruebas de laboratorio.



Foto 5. Vista lateral del portamuestras para las maderas.

Para cumplir con estas condiciones se diseñó y construyó una estructura portamuestras en aluminio, que permitía utilizar placas o láminas rectangulares de materiales de muestra, de dimensiones aproximadas 400 x 250 x 10 (foto 3 y 4).

2.1.2. Alcance de los ensayos

1.1.2.1. Precampaña de pruebas

En los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2003, fuera del periodo de mayor presencia de larvas velígeras, se aprovechó para llevar a cabo una precampaña de pruebas, con el fin de tener una primera experiencia que permitiera tener todo a punto para la campaña de ensayos prevista en la primavera siguiente.

En la precampaña de otoño, los materiales fueron suspendidos en la plataforma instalada por ENDESA en el embalse de Riba-roja aguas arriba de



Foto 6. Plataforma flotante instalada en las aguas del embalse de Riba-roja.

la presa. Tras analizar los datos disponibles de distribución de la densidad en profundidad para el mejillón cebra, obtenidos en muestreos de campo en el mismo embalse (Palau *et al.*, 2004), se decidió sumergir los portamuestras a una profundidad de entre 4 y 5 metros. En el momento de la inmersión se tomaron los siguientes datos para cada material:

- Fecha y hora de la inmersión de las muestras de materiales (láminas, maderas y rejas).
- Superficie útil del material
- Determinación de varias características físico-químicas de las aguas a 5 m de profundidad, mediante una sonda multiparámetro provista de cable de sensores de temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno.
- Orientación del portamuestras (croquis).

Para el seguimiento de la evolución del grado de colonización, semanalmente se extraían los portamuestras del agua y se procedía a una observación individual de cada material de muestra expuesto. Los datos que se recogían eran los siguientes:

- Ausencia/presencia (y dado el caso, recuento) de ejemplares de mejillón cebra adheridos en cada material.
- Medición con pie de rey del individuo de mayor tamaño.
- Fotografía del estado de cada material (por ambas caras).
- Medición de las características físico-químicas del agua establecidas como referencia, a 5 m de profundidad.

Los materiales expuestos durante la precampaña, fueron retirados de la plataforma en diciembre de 2003. Una vez trasladados al laboratorio, se procedió a su limpieza y puesta a punto para volver a ser utilizados en la campaña de primavera.

1.1.2.2. Campaña de ensayos

A partir de la valoración de los resultados y experiencias obtenidos durante la precampaña de pruebas de otoño, se planificaron los trabajos de primavera.

En primer lugar se aumentó el elenco de materiales y recubrimientos susceptibles de incorporarlos a los ensayos. Además se procedió a la construcción de nuevos portamuestras con modificaciones en su diseño debido, por un lado, a que en los portamuestras de aluminio iniciales habían aparecido síntomas

severos de oxidación con el consiguiente desgaste de los mismos. Por otro lado se redujo el número de placas presentes en cada uno de los portamuestras por razones de manejabilidad (peso), de interferencias entre placas de muestra expuestas a la hora de ser colonizadas y se aislaron los portamuestras ante la posible presencia de electricidad estática, en particular cuando llevaban muestras metálicas. También se diseñó un soporte especial exclusivamente para poder tomar las fotografías a las muestras siempre de la misma forma y facilitar el análisis visual comparativo

La campaña de ensayos se llevó a cabo entre los meses de junio a noviembre de 2004. Este periodo, de acuerdo con los datos disponibles en la bibliografía consultada, debía acoger el momento de máxima densidad de larvas en la columna de agua (junio) y permitir disponer de un periodo de tiempo de exposición largo (verano y mediados de otoño) a la colonización

de las larvas y la fijación y crecimiento de juveniles y adultos de mejillón cebrá. Se realizaron un total de 12 muestreos de seguimiento, con una cadencia aproximadamente semanal.

Los portamuestras fueron nuevamente suspendidos de la plataforma instalada en el embalse de Riba-roja. Esta vez las placas se sumergieron a 2,5 m de profundidad, dado que las nuevas campañas de muestreo disponibles sobre la distribución del mejillón cebrá en profundidad, mostraban ese nivel como más recomendable que el adoptado en la precampaña de pruebas. En la Tabla 2 aparece una relación de los materiales utilizados en la campaña de ensayos de primavera así como su superficie útil. De algunos materiales se prepararon réplicas situadas en lugares distintos dentro del portamuestras, para conocer si la exposición de la superficie colonizable, podía dar lugar a resultados de colonización diferentes.

Tabla 2. Relación de los materiales probados durante la campaña de ensayos del 2004, con indicación de las superficies útiles a efectos de posibilidad de colonización por parte del mejillón cebrá.

MATERIAL		MEDIDAS (mm)	SUPERFICIE ÚTIL (mm ²)
A. Maderas			
1	Haya (<i>Fagus sylvatica</i>)	301x110x30	90801,5
2	Caoba (<i>Swietenia sp.</i>)	300x60x24	53201,5
3	Ramín (<i>Gonystylus sp.</i>)	298x68x21	55821,5
4	Cerezo (<i>Prunus avium</i>)	300x58x20	49041,5
5	Roble Americano (<i>Quercus rubra</i>)	327x74x24	67565,5
6	Niangón (<i>Tarrietia sp.</i>)	361x90x22	84745,5
7	Pino de Flandes (<i>Pinus sylvestris</i>)	336x74x20	66049,5
8	Nogal (<i>Juglans regia</i>)	390x90x26	95081,5
9	Sapely (<i>Entandrophragma cylindricum</i>)	372x77x21	76067,5
B. Metales			
10	Bronce	396x232x13	196304,0
11	Latón	403x230x5	191710,0
12	Aluminio 6082 en barra	50 Ø x 5 espesor	2727,9
13	Acero galvanizado	403x253x5	210478,0
14	Aluminio 6082	403x253x5	210478,0
15	Níquel químico	401x251x3	205214,0

MATERIAL		MEDIDAS (mm)	SUPERFICIE ÚTIL (mm ²)
C. Plásticos			
16	Poliuretano	400x233x10	199060,0
17	Polimetacrilato de metilo (PMMA)	403x252x10 (330x22-23x10)	194312,0
18	Polietileno 1 (PE 1)	404x252x10 (404x24-22x10)	189612,0
19	Polietileno 2 (PE 2)	404x252x10 (404x29-19x10)	188784,0
20	Resina acetálica (POM)	403x248x11 (291x22-17x11)	196030,0
21	Poliamida (Nylatrón; PA 6 + Mo S2)	403x252x11	217522,0
22	Polipropileno (PP)	403x251x10	215386,0
23	Laminado de algodón (CELOTEX)	403x251x10	215386,0
24	Policarbonato (PC)	403x252x10	216212,0
25	Baquelita	404x251x10	215908,0
26	Poliamida (PA 6 (2) Nylon)	403x252x11	217522,0
27	Tejido de vidrio + Epoxi	403x252x10	216212,0
28	Poliamida (PA 6 (1) Nylon)	403x252x11	217522,0
29	PVC	404x252x10	216736,0
30	PTFE	404x252x11	218048,0
31	PETP	404x252x11	218048,0

D. Recubrimientos			
32	Epoxi TITAN Yate + Patente Vinílica Rojo	401x254x4	207538,0
33	Epoxi TITAN Yate + Patente Hélices TITAN Yate Gris	403x252x4	207538,0
34	SIGMA 1	401x231x3	189978,0
35	SIGMA 2	402x231x3	189522,0
36	HEMPEL 1	402x251x4,1	207158,6
37	HEMPEL 2	401x251x4	206518,0
38	Recubrimiento Epoxi negro	403x252x9	214902,0
39	Recubrimiento Epoxi rojo	401x254x10	216808,0
40	Recubrimiento Epoxi azul	404x250x10	215080,0
41	Poliamida 11 (RILSAN)	402x252x4	207840,0
42	Polietileno (FLAMULIT)	403x252x5	209662,0
43	Copolimero (ABCITE)	403x252x5	209662,0
44	Mini de plomo		
45	Spray galvanizador		
46	Vidrio	400x250,5x6	208206,0
47	ENECON 1 (Metalcad CeramAlloy CL+)	402x252x5	209148,0
48	ENECON 2 (CHEMCLAD SC.)	401,5x252x4	207584,0
49	ENECON 3 (CHAMCLAD SC.)	402x252x4	207840,0
50	ENECON 4 (FLEXICLAD Dura Tough DL)	404x254x6	213128,0
51	ENECON 5 (Corroless EPF + Corroless RF 35)	400x251,5x4,5	207063,5

A continuación se muestran los resultados obtenidos, mediante diferentes gráficas que representan el número de individuos de mejillón cebra fijados en los diferentes sustratos (muestras de materiales)

en función del tiempo (figuras 1 a 5). En la misma figura, se indica el tamaño máximo de los ejemplares adheridos, en cada uno de los muestreos observados.

2.1.3. Resultados

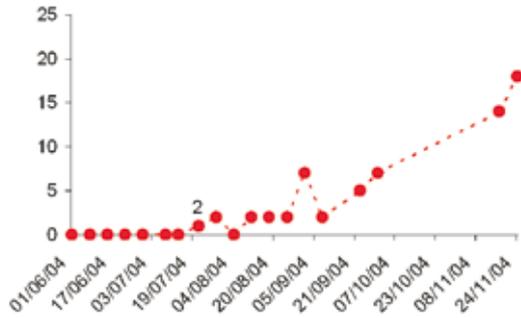
1.1.3.1. Maderas

Los resultados de resistencia a la colonización, obtenidos con muestras de distintos tipos de madera, se muestran en la figura 7.

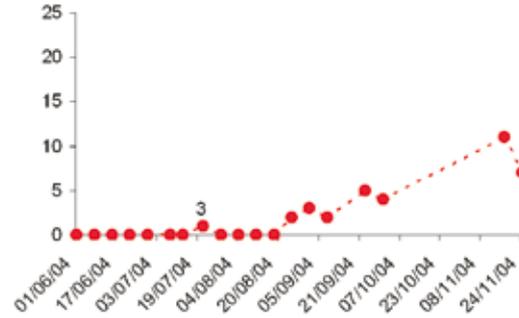


Figura 1. Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de maderas, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se recoje el número de individuos encontrados y en abscisas las fechas de seguimiento. Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

PINO DE FLANDES (*Pinus sylvestris*)



NOGAL (*Juglans regia*)



SAPELY (*Entandropharagma cylindricum*)

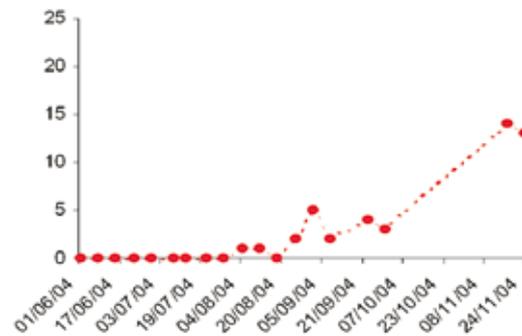


Figura 1 (continuación). Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de maderas, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados y en abscisas cada fecha de seguimiento. Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

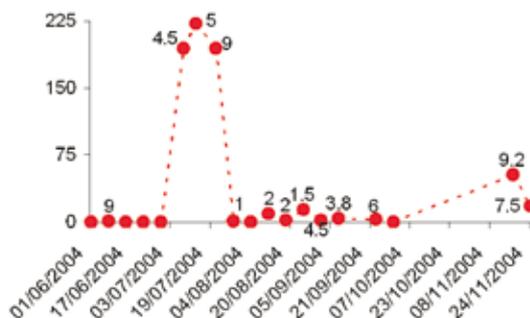
Las muestras de madera presentaron, en general, una tendencia similar en los resultados. Tras un periodo inicial, sin apenas colonización del mejillón cebra, se empezó a formar una primera capa de biofilm a partir de la cual se producía el asentamiento. Los tamaños de los ejemplares adheridos fueron siempre pequeños, lo que significa que las poblaciones adheridas no se consolidaban y debían ir desprendiéndose. Las densidades máximas de mejillón asentadas en

las maderas resultaron, en todo caso, muy bajas (< 25 ejemplares), más aún si se compara con los metales (222 mejillones), los plásticos (415 individuos) o los recubrimientos (201). Tanto el roble americano como el niangón son los tipos de madera más adecuados en la prevención de la adherencia del mejillón cebra, aunque su posible en este sentido, vendrán determinadas por sus propiedades físicas y las características de cada proyecto en concreto.

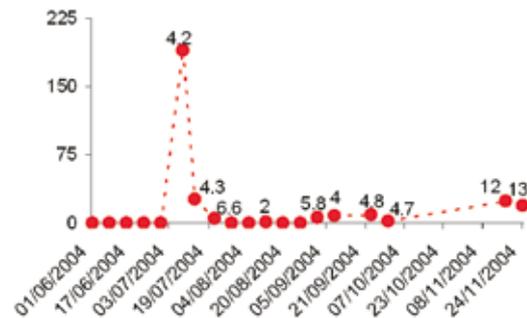
1.1.3.2. Metales

Los resultados de los ensayos realizados con las muestras de metales, se recogen a continuación en la figura 2.

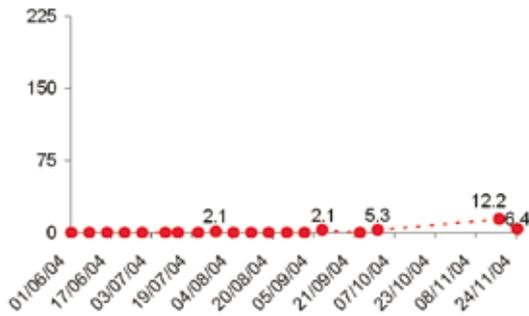
BRONCE



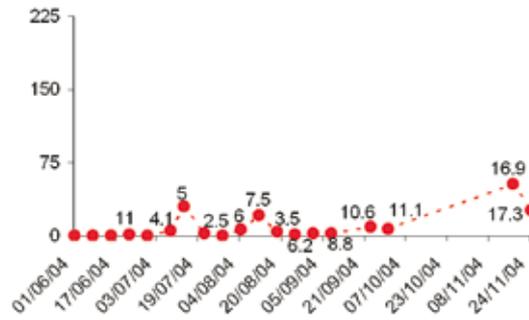
LATÓN



ACERO GALVANIZADO



ALUMINIO 6082



NIQUEL QUÍMICO

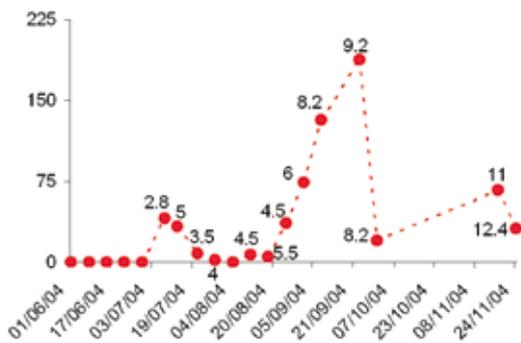


Figura 2. Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de metales, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos y en abscisas cada fecha de seguimiento. Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.



Foto 7. Placa de latón.

Las figuras anteriores parecen más cercanas al orden de preferencias del mejillón cebra para láminas establecido por Mardsen y Lansky (2000), que se recoge en la serie de la tabla 3. Tanto el aluminio como el acero galvanizado apenas presentaron colonización por parte del mejillón cebra. Bronce y latón, tras un primer pico de invasión, perdieron la mayoría de individuos asentados debido a la inhospitabilidad de la superficie atacada, mientras que el níquel químico parece ser el metal más inapropiado para el mejillón cebra, entre los estudiados.

Tabla 3. Orden de preferencia para la fijación del mejillón cebra según Mardsen y Lansky (2000).

RESISTENCIA DECRECIENTE A LA COLONIZACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA												
											→	
Cobre	Acero galvanizado	Aluminio	Acrílico	PVC	Teflón	Vímilo	Madera tratada a presión	Acero negro	Pino	Polipropileno	Asbestos	Acero inoxidable

1.1.3.3. Plásticos

Los plásticos componen una muestra bastante amplia de diferentes materiales de uso frecuente. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 4.

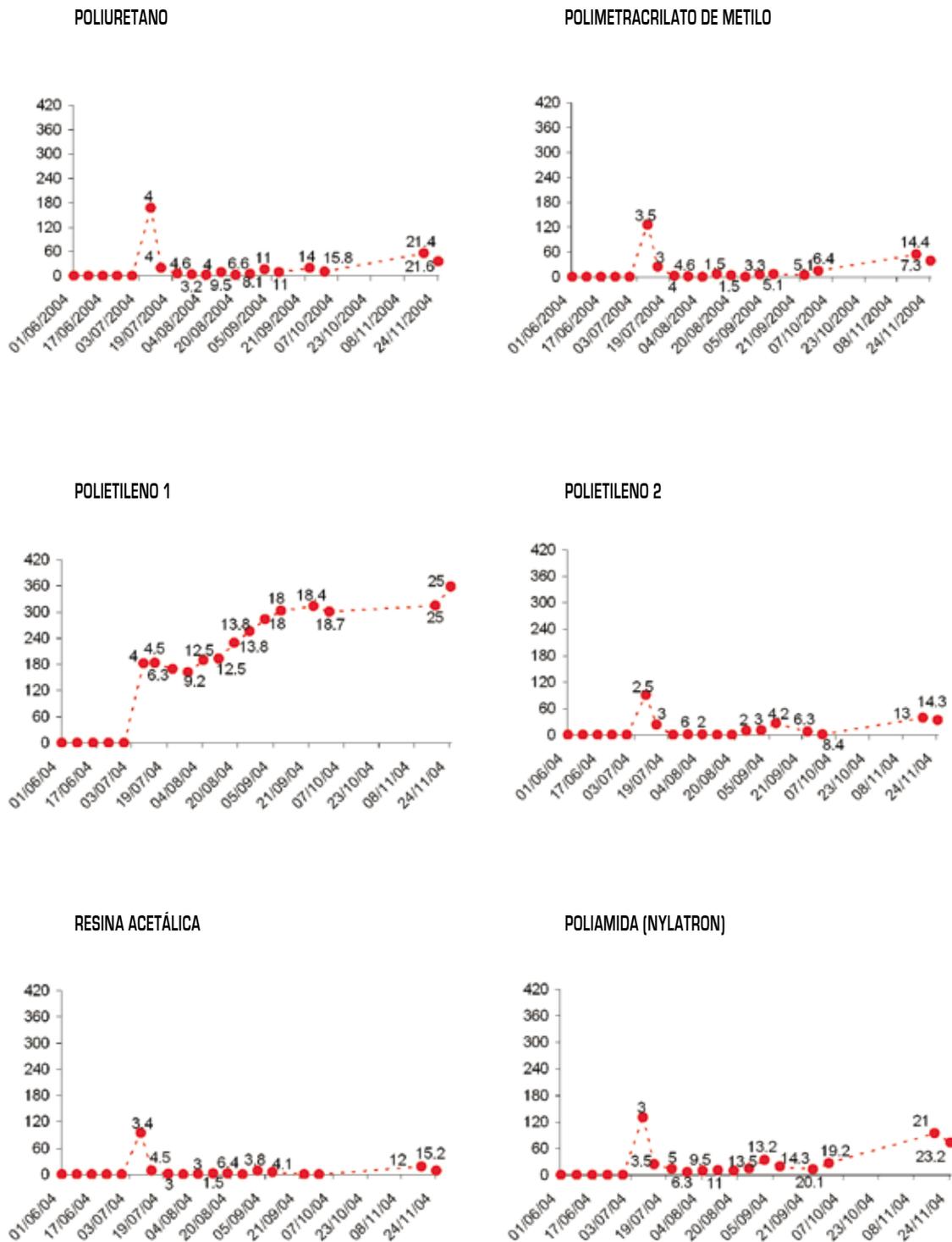


Figura 3. Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de plásticos, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados y en abscisas cada fecha de seguimiento. Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

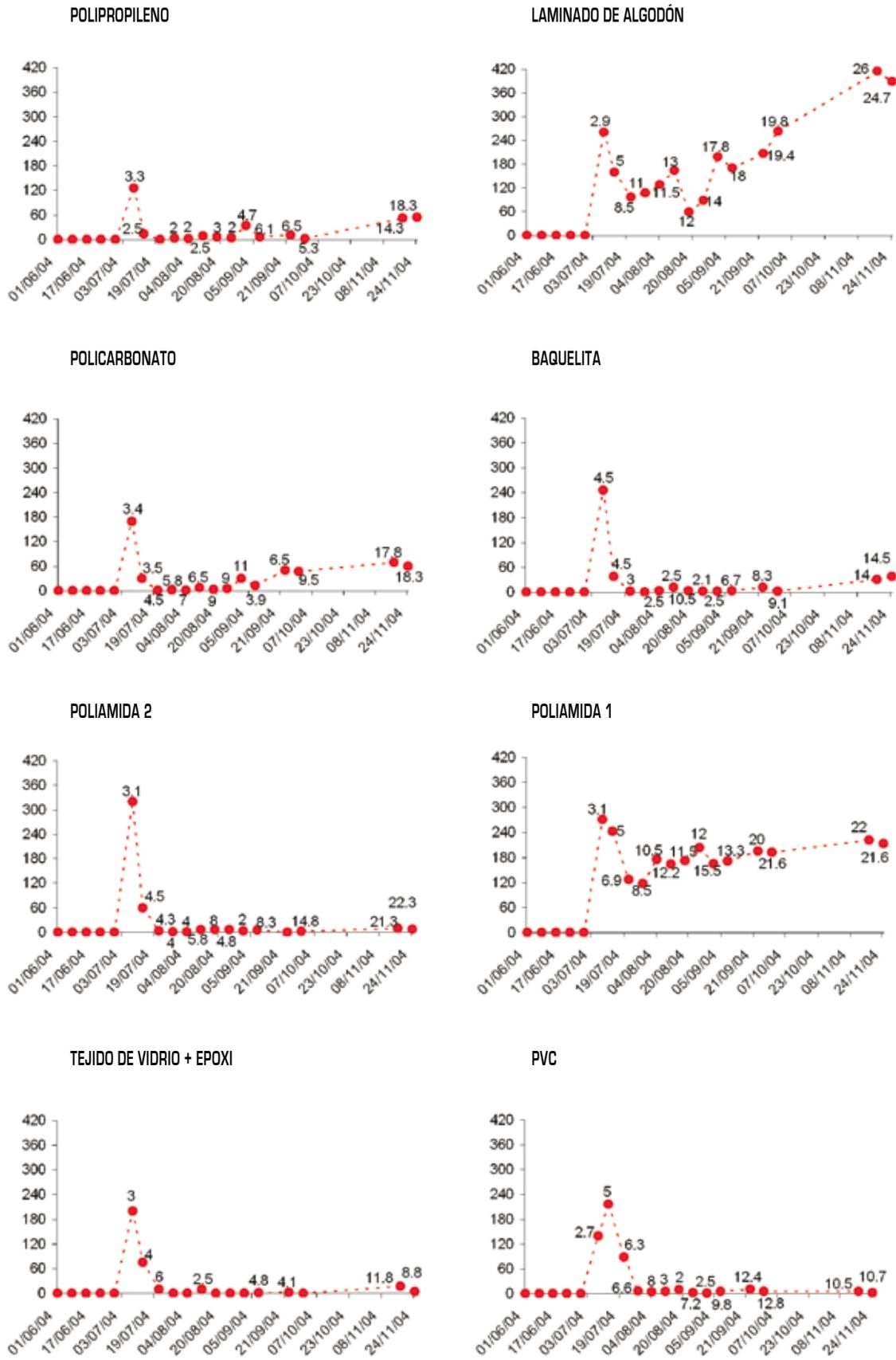


Figura 3 (continuación). Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de plásticos, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados y en abscisas cada fecha de seguimiento. Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

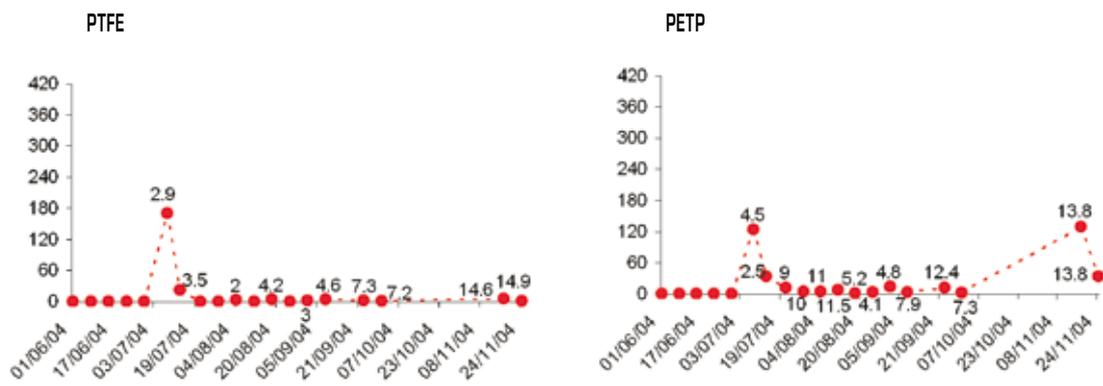


Figura 3 (continuación). Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de plásticos, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados y en abscisas cada fecha de seguimiento. Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

En buena parte de los plásticos probados, se observa un patrón de comportamiento común, conformado por una punta inicial de colonización, tras unas semanas de exposición, que después remite con el tiempo.

Tanto el poliuretano como el policromato de metilo muestran la punta inicial de colonización citada y su remisión posterior, debido a que el tipo de material favorece el desprendimiento de ejemplares, por la poca adherencia o aumento de peso [agrupación, crecimiento, etc] de los ejemplares.

Las gráficas referidas al polietileno muestran unos resultados absolutamente distintos, observándose una diferencia significativa en cuanto a las densidades alcanzadas en las placas, así como en su evolución temporal, a pesar de que ambas placas eran réplicas del mismo material.

Las densidades oscilan entre 162 y 358 ejemplares en la placa de polietileno 1 (PE 1), mientras que en la réplica (PE 2) las densidades observadas varían entre 1 y 90 individuos. La explicación reside en la colocación de las placas dentro de los portamuestras y su distinta exposición a la reducida pero presente circulación de agua en el embalse (oleaje, etc). La placa PE 1 era la primera del portamuestras, más y mejor expuesta a las aguas abiertas, mientras que la placa 2 aparece resguardada por la anterior. La



Foto 8. Placa de polietileno de algodón

conclusión de este sencillo efecto, es interesante, porque viene a indicar que la exposición directa al agua puede ser en algunos casos, más determinante que el tipo de material utilizado a la hora de controlar la colonización de superficies por parte del mejillón cebra. Como se verá más adelante, esta conclusión no es universal, existiendo materiales [recubrimientos] cuyo comportamiento es independiente de su exposición al agua [posición dentro del portamuestras].

1.1.3.4. Recubrimientos

La figura 4 muestra los resultados obtenidos con los distintos recubrimientos utilizados para analizar su resistencia a la fijación del mejillón cebra.

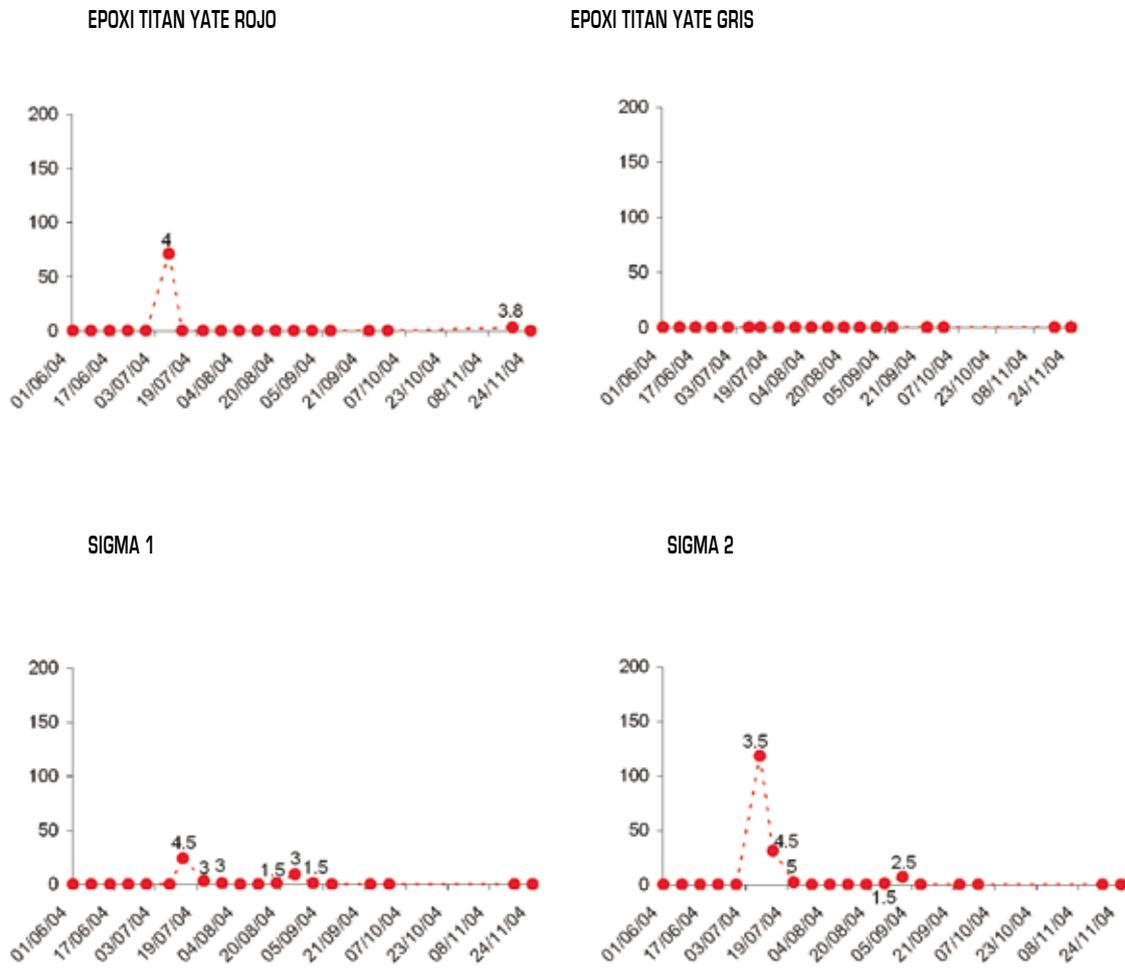


Figura 4. Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de recubrimientos, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados y en abscisas cada fecha de seguimiento. Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

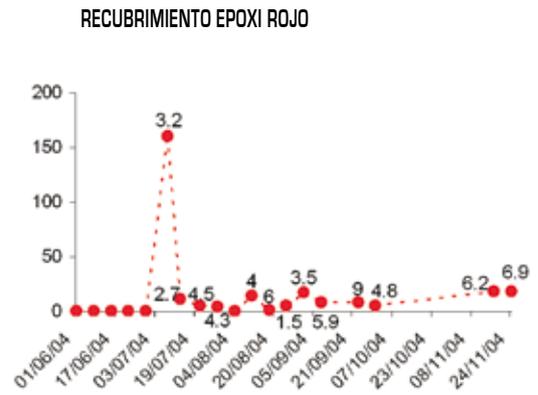
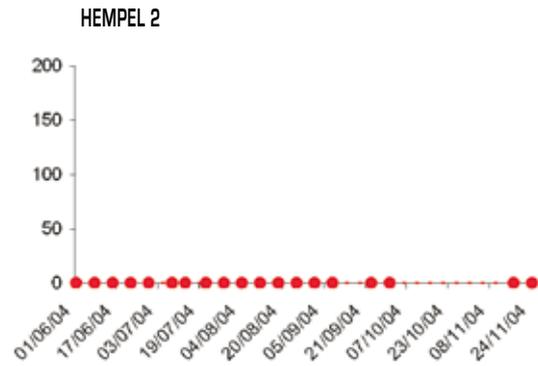
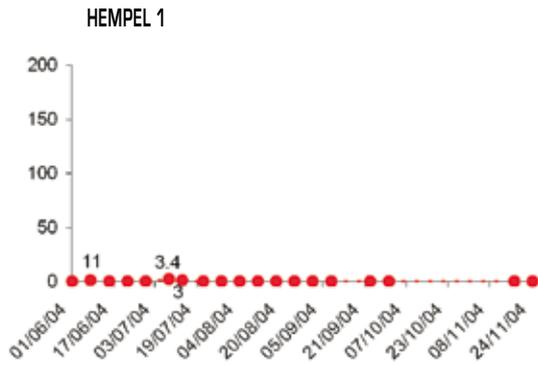


Figura 4 (continuación). Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de recubrimientos, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados y en abscisas cada fecha de seguimiento. Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.



Foto 9. Titan azul.



Foto 10. Hempel.

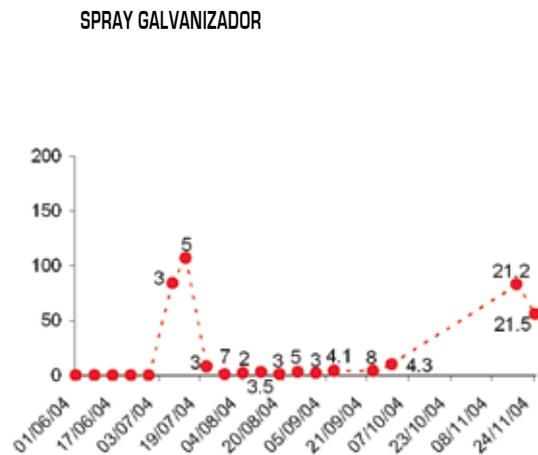
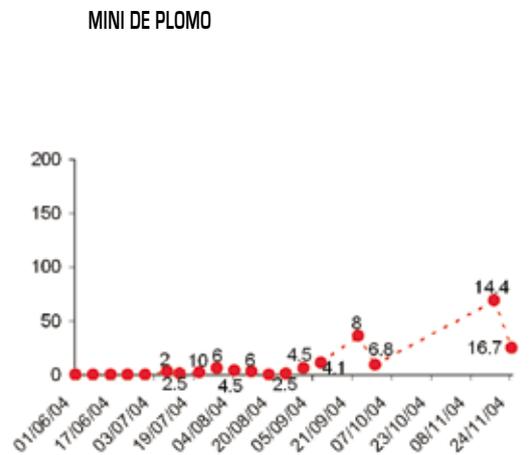
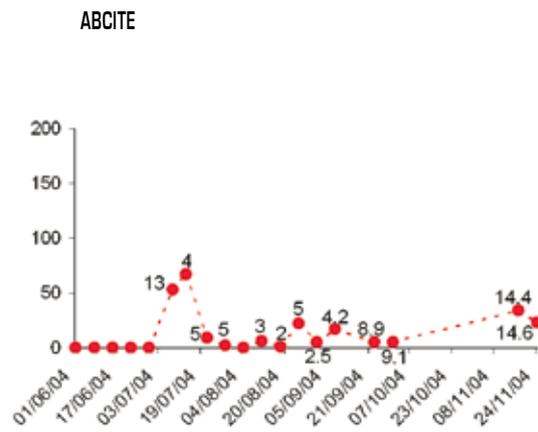
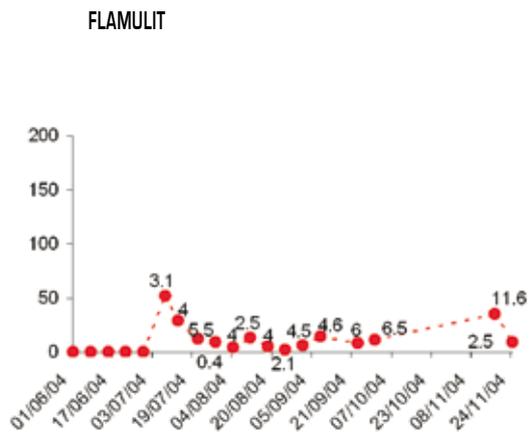
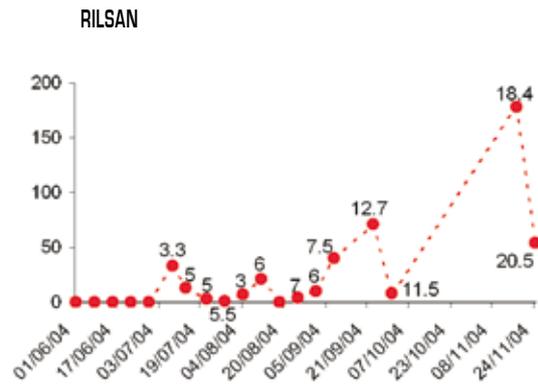


Figura 4 (continuación). Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de recubrimientos, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados para cada fecha de seguimiento (abcisas). Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

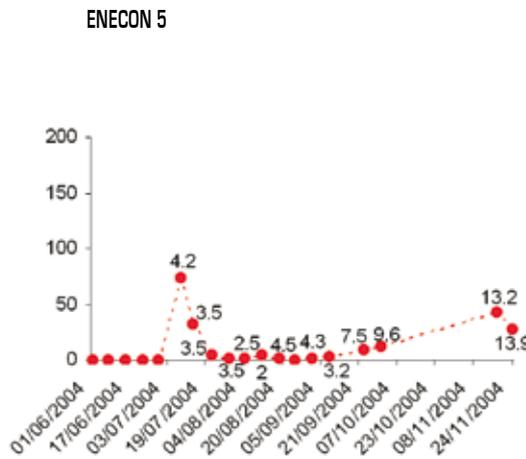
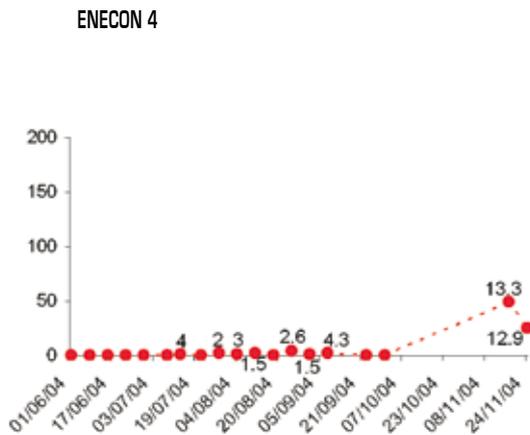
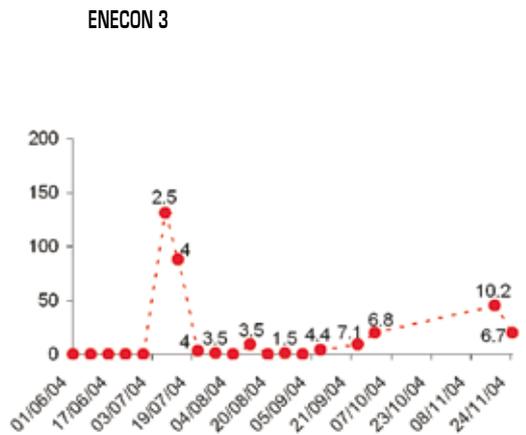
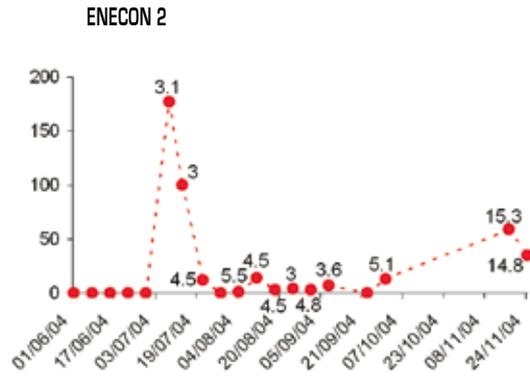
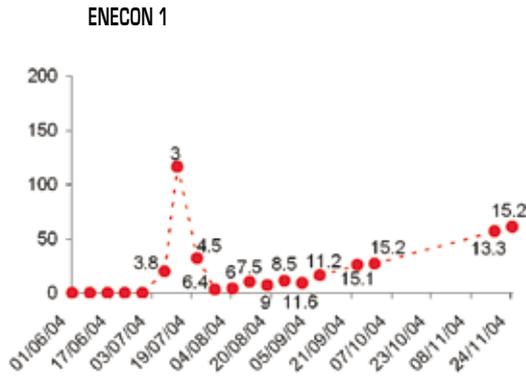


Figura 4 (continuación). Resultados del seguimiento de la resistencia de distintos tipos de recubrimientos, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados para cada fecha de seguimiento (abscisas). Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

Como indican los gráficos, los resultados han sido ciertamente muy dispares; así, mientras algunos de los recubrimientos consiguieron resultados espectaculares, con ausencia absoluta o casi, de ejemplares de mejillón

cebra, durante todo el periodo que duró el ensayo, otros sucumbieron a la adherencia de la especie de forma más o menos rápida y persistente a lo largo del tiempo.

1.1.3.5. Otros materiales

Además de los distintos tipos de maderas, metales, plásticos y recubrimientos, se ensayó también con un material tan normal con el vidrio corriente, paradigma del que popularmente se conoce como una superficie lisa y por tanto con pocas posibilidades teóricas de adherencia para el mejillón cebra. Los resultados obtenidos se recogen en la figura 5.

VIDRIO

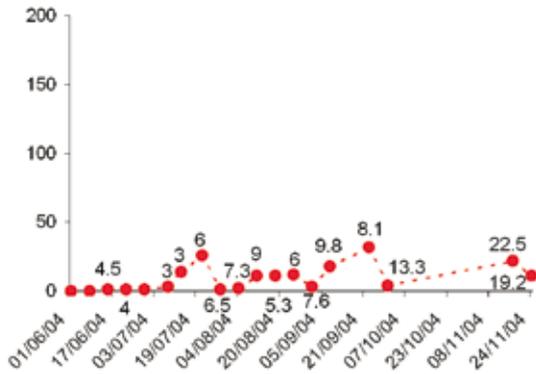


Figura 5. Resultados del seguimiento de la resistencia del vidrio corriente, frente a la colonización por parte del mejillón cebra. En ordenadas se indica el número de individuos encontrados para cada fecha de seguimiento (abscisas). Sobre las mismas figuras, se indica la longitud en mm del ejemplar de mayor tamaño encontrado para medidas superiores a 1,5 mm.

2.1.4. Conclusiones

Los resultados obtenidos sobre el comportamiento de los diversos materiales frente a la implantación del mejillón cebra, a partir de la campaña de ensayos de 2004, demuestran en primer lugar que son pocos los materiales o recubrimientos que escapan al asentamiento de poblaciones de mejillón cebra.

A la hora de interpretar los gráficos de las figuras 1 a 5 pueden establecerse dos premisas básicas:

a) Cuando el número de individuos fijados en el tiempo tiende a aumentar, significa que el sustrato expuesto tiene aptitudes para ser colonizado por el mejillón cebra, bien sea por características propias (rugosidad,

etc) o adquiridas (facilidad para ser recubierto de un biofilm algal no filamentoso y permitir el asentamiento del mejillón cebra).

b) Cuando el número de individuos fijados no tiende a aumentar, independientemente de que presente picos, significa que el material expuesto es colonizable, pero con una adherencia muy baja, de modo que cualquier perturbación (oleaje por viento, etc) o una simple agregación de ejemplares de mejillón cebra, provoca el desprendimiento periódico de los individuos fijados.

A partir de estas dos premisas, si se tiene en cuenta además el tamaño máximo de los ejemplares, medido en cada visita de seguimiento, pueden establecerse cinco tipos de materiales, según su susceptibilidad a ser colonizados por el mejillón cebra:

- **Materiales de nula posibilidad de colonización:** Son aquellos que durante todo el periodo de ensayo se mantuvieron libres de la presencia de mejillón cebra.
- **Materiales con muy baja posibilidad de colonización:** Son los que presentaron pocos ejemplares fijados, con unos tamaños máximos pequeños en todo momento, que no tendían a aumentar en el tiempo.
- **Materiales de baja-media posibilidad de colonización:** Son aquellos que presentaron una resistencia inicial notable a la colonización (> 5-6 semanas), y una presencia manifiesta de ejemplares fijados a lo largo del ensayo, pero con una distribución no creciente de los tamaños máximos individuales.
- **Materiales de media-alta posibilidad de colonización:** Son aquellos que presentaron una colonización inicial rápida, densidades notables y progresivas durante todo el ensayo y una distribución de los tamaños máximos individuales, creciente en el tiempo.
- **Materiales con muy alta posibilidad de colonización:** Son aquellos que presentan las características para el asentamiento del mejillón cebra del grupo anterior, pero más extremadas: colonización inicial muy rápida, muy altas densidades, tamaños máximos de los ejemplares crecientes y próximos a 30-35 mm.

De acuerdo con esta clasificación, los materiales y recubrimientos ensayados, quedarían distribuidos tal y como se recoge en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los materiales y recubrimientos utilizados en los ensayos, según su susceptibilidad a la colonización por parte del mejillón cebra, de acuerdo con las indicaciones del texto.

SUCEPTIBILIDAD A LA COLONIZACIÓN				
NULA	MUY BAJA	BAJA - MEDIA	MEDIA - ALTA	MUY ALTA
Exposi Titan Yate Gris	Ramín Roble Niangón Nogal Caoba Sapely	Haya Cerezo	Niquel químico	Poliétileno Laminado de algodón
	Acero galvanizado	Bronce Latón Aluminio	Policarbonato Poliámid PETP	
	Exposi Titan Yate Rojo Sigma Hempel Enecon 4	Poliuretano Polimetacrilato Resina acetática Poliámid (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		

Tal y como ya se ha comentado, en la colonización del mejillón cebra, juega un papel importante el nivel de exposición de los sustratos, de modo que un mismo material puede presentar resultados de colonización muy distintos, en función de su exposición, como se ha comprobado en el caso del polietileno o la poliamida. En otros casos (recubrimientos Sigma 1 y 2, Hempel 1 y 2, Enecon 2 y 3) no hay por el contrario diferencias significativas en el comportamiento frente a

la colonización, a pesar de estar sometidos a distintas exposiciones.

En general, entre todos los materiales y recubrimientos ensayados, las pinturas antiadherentes son las que muestran los mejores resultados de resistencia a la colonización, si bien considerando los materiales por tipos, su susceptibilidad frente a la colonización del mejillón cebra es la siguiente:

Maderas ≤ Recubrimientos (y vidrio) < Metales < Plásticos

Como ya se ha indicado un buen número de materiales presentan un comportamiento común, con una punta inicial de colonización, que con posterioridad desaparece, pudiendo reaparecer de nuevo o no. Esta distribución de las densidades en pulsos, junto con unos tamaños máximos contenidos a lo largo del tiempo, sugieren la existencia de procesos de desprendimiento de los mejillones cebra fijados, como consecuencia posiblemente de su agregación y ganancia de peso, combinada quizás con alguna perturbación en la columna de agua (agitación por viento, etc.).

La resistencia inicial a la colonización es también un aspecto interesante, en el sentido de que en todos y cada uno de los materiales y recubrimientos ensayados, la presencia de mejillón cebra no se constata hasta las 5-6 primeras semanas. Cabe indicar que la larva de mejillón cebra permanece en la columna de agua y va creciendo durante, unas 2 a 4 semanas, en función de la temperatura del agua y otras condiciones del medio (Jenner *et al.*, 1998).

Teniendo en cuenta que a principios de junio, la presencia de larvas en la columna de agua es manifiesta, el hecho de que no se produzca una fijación rápida, significa que inicialmente ninguno de los sustratos expuestos es colonizable de inmediato; o dicho de otra forma, es probable que el mejillón cebra para su fijación, requiera de la formación en superficie de un biofilm o fina película algal (o bacteriana) que le permita sujetarse con garantías con garantías. A partir de aquí, entra ya en juego la adherencia que ofrece cada material o recubrimiento al biofilm y al peso de los agregados de mejillón cebra que lo hayan colonizado.

Una conclusión interesante de este hecho conduce a una forma simple y relativamente económica de controlar la presencia del mejillón cebra en captaciones de agua. Duplicando el sistema de captación (pequeños riegos, abastecimientos, etc.) y alternando su uso para periodos no superiores a las 3-4 semanas consecutivas, parece altamente improbable que el mejillón cebra pueda llegar a fijarse.

En los casos de ensayos con recubrimientos de igual composición pero distinto color (Epoxy negro, rojo y azul), no se aprecian diferencias significativas que puedan sugerir algún tipo de preferencia cromática. En el caso del recubrimiento con Epoxy Titan Yate rojo y Epoxy Titan Yate Gris, cabe indicar que se trata de pinturas de composición diferente.

A modo de conclusión general, podemos deducir que los materiales que mejores características antiadherentes han mostrado frente a la población de mejillón cebra son los recubrimientos denominados Epoxy Titan Yate rojo, Epoxy Titan Yate gris, Sigma y Hempel. En todos los casos se trata de recubrimientos sintéticos especiales, diseñados para la protección contra adherencias de embarcaciones marinas, cuya composición no ha sido facilitada por las casas sumi-

nistradoras. El producto Enecon 4, muestra también un buen comportamiento antiadherente a lo largo del periodo de seguimiento.

Respecto a los metales, algunos muestran un buen comportamiento inicial, observándose un incremento de los individuos instalados hacia el final de la campaña. Con algunos materiales plásticos también se observa un comportamiento similar. En realidad se trata de una tendencia general ya indicada que se puede enunciar como una de las principales conclusiones de este estudio: Algunos materiales muestran un buen comportamiento frente al mejillón cebra; sin embargo, a lo largo del tiempo de inmersión, crece sobre ellos una capa de biofilm, que llega a recubrirlos por completo. Cuando esto ocurre, el mejillón cebra encuentra la rugosidad propicia para su fijación. De este modo, el uso de según que materiales en contacto con aguas infestadas de mejillón cebra deberá tener en cuenta la necesidad de una limpieza regular, o la adopción de un diseño con instalaciones duplicadas, tal y como también ya se ha descrito.

2.2. SISTEMAS LIMPIA-REJAS

2.2.1. Introducción

El desarrollo de un sistema mecánico para el control del mejillón cebra en las rejas de tomas hidroeléctricas de agua en embalses fue desarrollado por un equipo de estudiantes de Ingeniería Técnica Industrial, de la Universidad de Lleida, en el marco del convenio de investigación patrocinado por Endesa, tomando como referencia la CH Riba-roja.

Se trataba de aportar el diseño de una máquina para la limpieza de las rejas instaladas en el sistema de captación de agua de la central hidroeléctrica de Riba-roja, capaz de evitar la adherencia masiva del mejillón cebra en dichos paneles de rejas.

2.2.2. Características del diseño

La máquina diseñada abarca la superficie de limpieza de una reja. Para poder utilizarla en la superficie completa de la toma de la central hidroeléctrica; compuesta por cuatro grupos de rejas con dos filas cada una, habría que instalar una máquina igual por reja o bien ir intercambiando la misma entre los cuatro grupos, mediante un sistema de vías de desplazamiento lateral dispuestas en coronación de la presa.

La primera decisión a adoptar fue por tanto con relación al sistema de soporte, bien sea fijo o móvil (tabla 5).

Tabla 5. Ventajas e inconvenientes a la hora de optar por una u otra opción en el sistema de soporte del mecanismo limpia-rejas.

OPCIONES	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Estructura móvil	<ul style="list-style-type: none"> • Base para otras alternativas • Máquina extraíble 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de un sistema de guiado • Transmisión del movimiento • Posibles obstáculos en el recorrido
Sistema fijo	<ul style="list-style-type: none"> • Sencillo y seguro 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas de carga en las turbinas • Exposición del sistema al mejillón cebra

La segunda decisión importante en el diseño, fue acerca del sistema de limpieza en si mismo (tabla 6).

Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de las diferentes opciones barajadas sobre el sistema de limpieza.

OPCIONES	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Raspado sin motores	<ul style="list-style-type: none"> • No hay problemas de estanqueidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Es previsible poca eficacia
Raspado giratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Pasada múltiple • Elevada energía de impacto 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de estanqueidad
Agua a presión	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos fuera del agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas de carga muy elevadas • Se puede afectar a la pintura anticorrosiva de la máquina • Muchos puntos de difusión

Finalmente se optó por un sistema de cepillos giratorios formados por cerdas de polipropileno, soportado por una estructura móvil. Este sistema es el que mejor

se adaptaba a los requerimientos del diseño y proporcionaba una mayor eficiencia general. Las partes de la máquina aparecen representadas en la figura 6.

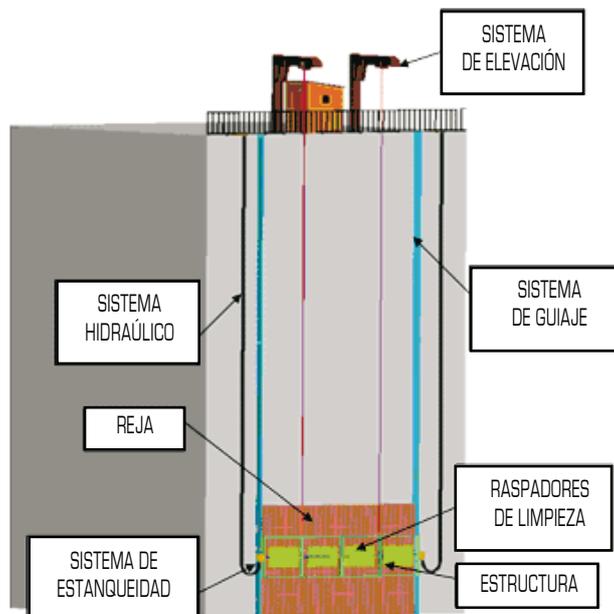


Figura 6. Partes de la máquina para la limpieza de rejillas.

Para la extracción de los mejillones adheridos a las rejjas se requería un sistema externo capaz de realizarla de forma eficiente y sin eliminar la capa protectora de recubrimiento de las rejjas. El sistema adoptado consistió en un conjunto de cuatro cepillos que giran respecto a su eje central. Cada cepillo está formado por cuatro filas de filamentos de polipropileno alrededor de su superficie (figura 7). El movimiento de los cepillos se llevaba a cabo a

partir de dos motores hidráulicos situados en cada extremo de la estructura.

El hecho de que la máquina tuviera que trabajar totalmente sumergida se solucionó con un conjunto de sistemas estancos que evitaban el contacto con el agua de los elementos susceptibles de presentar problemas.

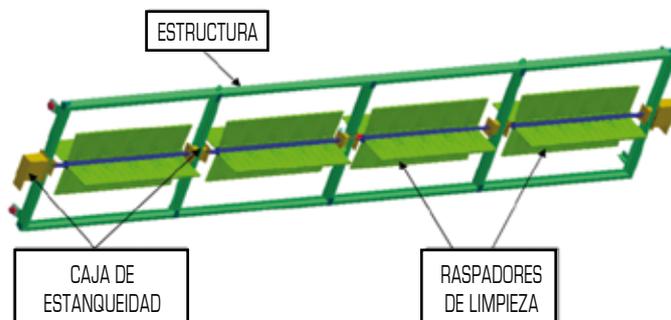


Figura 7. Detalle del sistema de cepillos de la máquina limpia-rejas propuesta.

2.3. SISTEMAS DE FILTRADO

2.3.1. Introducción

La línea de trabajo sobre sistemas de filtrado sufrió una serie de condicionantes que impidieron la consecución de los objetivos previstos.

Como método de reconocida eficacia en el control de paso del mejillón cebra se diseñó un filtro experimental, pero finalmente resultó ser no viable dado su elevado coste económico, incluso a nivel de prototipo.

Analizando las posibilidades de contactar con empresas que ya tuvieran equipos de filtración desarrollados, susceptibles de ser aptos para los objetivos buscados, se contactó con la empresa Uralita-STF quién se mostró absolutamente abierta a la colaboración.

Una vez puestos en común los objetivos del proyecto y los equipos de la empresa Uralita-STF, se decidió probar la eficacia de un filtro de malla autolimpiante (figura 8), del que se aseguraba una eficacia próxima al 100% en la retención de todo tipo de estado de desarrollo del mejillón cebra.



Figura 8. Imagen del filtro de malla autolimpiante de la empresa Uralita-STF.

Otra empresa, Regaber, también dedicada a la comercialización de filtros de todo tipo, cedió dos equipos de filtros de anillas para realizar pruebas.

Los primeros problemas surgieron tras comprobar las especificaciones técnicas de los equipos cedidos, en particular los requerimientos de caudal de alimentación. Se observó que no podían ser instalados en el centro de experimentación de Endesa (CEIDE). En el caso de los filtros de anillas porque la presión era insuficiente y en el caso de los filtros de malla auto-limpiante porque se comprobó que su instalación iba a suponer que sólo quedara un 10% del agua entrante al CEIDE, disponible para el resto de los experimentos.

Se ha barajando la posibilidad de buscar localizaciones alternativas para la instalación de este tipo de equipos y reemprender los trabajos iniciados.

3. MÉTODOS FÍSICOS

La labor realizada inicialmente en esta línea de trabajo consistió en una revisión bibliográfica exhaustiva, de los trabajos desarrollados hasta la fecha, como base para el diseño de los posibles experimentos a realizar. Cabe señalar que se encontró un cierto hermetismo y recelo comercial, a la hora de conseguir información concreta sobre algunos equipos, lo que sin duda ha limitado las posibilidades de experimentación en esta línea de trabajo.

3.1. DESECACIÓN

La desecación es una medida de control de las poblaciones de mejillón cebra, muy adecuada en el caso de cursos y masas de agua susceptibles de regular su nivel de inundación. Por esta razón fue una de las primeras pruebas que se realizaron en el año 2003 (Palau *et al.*, 2004), si bien de una forma poco sistemática. Entre febrero y marzo de 2004, se planteó la realización de unas nuevas pruebas de desecación, con un enfoque más metódico.

El objetivo era estimar el tiempo de muerte por desecación de los ejemplares de mejillón cebra bajo diferentes condiciones controladas de temperatura. Estas pruebas no podrían ser directamente extrapolables a las condiciones naturales del litoral de embalses y ríos, pero sí podían permitir alcanzar resultados bastante orientativos de una forma rápida, con independencia de la época del año y las condiciones meteorológicas.

3.1.1. Condiciones experimentales

Para las pruebas, se fijaron dos temperaturas extremas y entre ellas otras más probables dentro del gradiente térmico natural en la zona del embalse de Riba-roja, a lo largo del año. Las temperaturas seleccionadas fueron las siguientes:

-15°C	7°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
-------	-----	------	------	------	------	------

Los mejillones eran mantenidos en el agua justo hasta los momentos previos a su introducción en la estufa de desecación. De esta manera se tenía la garantía de que los individuos que entraban a formar parte del experimento, se encontraban inicialmente en buen estado. Las muestras de mejillón cebra sometidas a las pruebas de desecación, estaban formadas por un número fijo de 60 ejemplares adultos agrupados en tres réplicas de 20, con tamaños variados escogidos al azar, entre 12,5 mm y 30,5 mm aproximadamente, y medias que oscilaron, para el conjunto de muestras, entre los 18 y los 23 mm.

Previo a la introducción de las réplicas, se procedía a calentar la estufa de desecación hasta cada temperatura establecida. Con el fin de evitar distorsiones en los resultados no derivables de los cambios de temperatura, se mantenía la humedad relativa lo más estable posible entre 40 y 55% dentro de la estufa mediante la colocación de superficies evaporantes.

Los tiempos de exposición se contaban desde del momento en el que se alcanzaba la temperatura seleccionada y se introducían en la estufa las muestras de mejillón cebra. Para la temperatura de -15°C, las pruebas se realizaron en un congelador doméstico convencional.

El seguimiento de la evolución de la supervivencia de los ejemplares en cada caso, se llevaba a cabo con intervalos normalizados de 2 horas, cuantificando y promediando el tiempo que era necesario para obtener una mortalidad del 100 % en cada réplica de muestra de la población expuesta.

3.1.2. Resultados y discusión

A continuación se presenta un cuadro resumen (tabla 7) donde se detallan para las distintas temperaturas de prueba, los tiempos de espera y los porcentajes de mortalidad obtenidos en cada caso.

Temperaturas de experimentación	-15° C	TIEMPO espera (horas)	2						
		MORTALIDAD (%)	100						
	7° C	TIEMPO espera (horas)	96	264	408	528			
		MORTALIDAD (%)	0	88,33	93,33	100			
	20° C	TIEMPO espera (horas)	90	92	94	96	98	100	
		MORTALIDAD (%)	81,66	83,33	83,33	95,00	96,66	100	
	25° C	TIEMPO espera (horas)	24	43	45	47	49	51	53
		MORTALIDAD (%)	0,00	40,00	60,00	78,33	88,33	93,33	100
	30° C	TIEMPO espera (horas)	28	30	32	34	36		
		MORTALIDAD (%)	73,33	83,33	91,60	96,66	100		
	35° C	TIEMPO espera (horas)	16	18	20	22	24		
		MORTALIDAD (%)	61,66	70	80	95,00	100		
	40° C	TIEMPO espera (horas)	7	9	11				
		MORTALIDAD (%)	0,00	0,00	100				

Tabla 7. Datos correspondientes a los experimentos realizados en relación a la resistencia a la desecación de ejemplares adultos de mejillón cebra.

Se pudo comprobar que con la temperatura más baja ensayada (-15 °C), la eficacia era muy superior que con temperaturas altas. Este hecho está en consonancia con la bibliografía consultada donde se apunta que investigaciones llevadas a cabo en laboratorio, han mostrado que la exposición y muerte del mejillón cebra en condiciones de congelación, es cuestión de horas. Paukstis *et al.*, (1996) encontraron una mortalidad del 88%, para mejillones expuestos a temperaturas próximas a la congelación (2,0 °C), en 2,25 horas. Payne (1992) informó que el tiempo requerido para una tasa de mortalidad del 100% para poblaciones de mejillón cebra era de 0,5 horas para una temperatura de exposición de -10,0 °C. Todos estos resultados fueron obtenidos en laboratorio y para ejemplares sueltos (no agregados), tal y como también se hizo en las pruebas realizadas.

Para muestras de mejillones agregados, los tiempos de exposición necesarios para alcanzar el 100% de mortalidad son superiores. Un dato curioso es el ofrecido por Paukstis *et al.*, (1996) que demostraron que los ejemplares de mejillón cebra aclimatados a una temperatura de 2,0 °C en el laboratorio tienen la habilidad de impedir la congelación de los tejidos a temperaturas de -3,0 °C.

Los resultados obtenidos para los diferentes intervalos de temperatura ensayados pueden ser una referencia de interés en el planteamiento de un eventual descenso de cota del embalse de Riba-roja. No obstante, en el caso de realizar dicha actuación, los tiempos de desecación orientativos obtenidos, se tendrían que variar al alza, tal y como indican Paukstis *et al.*, (1999) y Ricciardi *et al.*, (1995) como consecuencia de varios aspectos ambientales, tales como las condiciones meteorológicas, el ya referenciado estado de agregación de los ejemplares, la orientación con respecto al sol y el tipo de sustrato (capacidad de retención de agua y humedad, rugosidad, etc.), fundamentalmente.

3.2. CAMPOS ELECTROMAGNETICOS DE BAJA FRECUENCIA

A partir de la búsqueda de información realizada, se encontró un dispositivo comercial distribuido y diseñado por la compañía americana Scalewatcher (SC) que resultó ser de aplicación para los objetivos buscados.

El aparato emite señales electromagnéticas siendo utilizado a nivel doméstico e industrial como un dispositivo antical (figura 9).



Figura 11. Dispositivo comercial antical Scalewatcher instalado en una tubería de agua.

Se pensó que este equipo podría ser útil como método de control de la implantación de mejillón cebra, dada la dependencia de la especie en cuanto a disponibilidad de calcio en el agua. Gracias a la buena disposición de la compañía, se dispuso de un aparato Scalewatcher para la realización de experimentos en la campaña de primavera de 2004.

3.2.1. Modo de funcionamiento

El sistema Scalewatcher se diseñó como un método de control de las incrustaciones calcáreas que provocaban obstrucciones en instalaciones

industriales. Las industrias japonesas encontraron un segundo uso como control de crustáceos en los sistemas intercambiadores de calor. Este descubrimiento llevó a Scalewatcher® América del Norte Inc. (SNA) a diseñar un sistema eléctrico de control del mejillón cebra.

El Scalewatcher está basado en una tecnología de frecuencia-modulación patentada. De acuerdo con las indicaciones del fabricante, el sistema utiliza un cable de señal que se enrolla en la tubería a tratar (Foto 11). El cable conecta con una unidad electrónica que envía una señal compleja y una corriente dinámica que provoca campos magnéticos de tiempo variable dentro de la tubería. Según la Ley de Faraday, el campo magnético provoca un campo eléctrico inducido oscilatorio que agita las moléculas de agua y provoca la precipitación de los iones minerales inestables. Los iones de calcio precipitan en forma de carbonato cálcico, reduciendo de esta forma la cantidad de calcio biodisponible para los organismos. Tanto el mejillón cebra como los crustáceos convierten el calcio en forma de ión libre a carbonato cálcico para constituir su cáscara o exoesqueleto. La ausencia de calcio libre en el agua genera un ambiente hostil al mejillón cebra y no se instala. El dispositivo no cambia significativamente la composición química total del agua, constituyendo una alternativa medioambiental adecuada en el control del mejillón cebra.

3.2.2. Diseño del experimento

Conociendo su manera de actuar, se inició el ensayo con el dispositivo proporcionado, en la segunda quincena de junio del 2004, y se prolongó hasta agosto del mismo año. Para dicho ensayo se dispuso de dos piletas de experimentación contiguas situadas en el CEIDE. En una de las piletas se instaló el aparato Scalewatcher en la tubería de entrada y en la otra, la de control se mantuvo en condiciones normales.

Se trataba de comprobar la influencia de Scalewatcher en el crecimiento de adultos de mejillón cebra, cuantificado como la variación en el peso de los mejillones. Para ello se sumergieron varias bandejas rodeadas por una red de plástico que contenía 200 mejillones cebra adultos. El peso conjunto de las bandejas, con la red de plástico y los ejemplares de mejillón cebra, fue cuantificado inicialmente y dichos ejemplares se dejaron unas dos semanas antes del inicio de las pruebas, para su total aclimatación, la retirada de bajas y el repesaje cuando era el caso. Cada semana se extraían las bandejas y se eliminaba por completo el agua. La red de plástico con los mejillones cebra se escurría también por completo sobre papel secante durante 10 minutos, y a continuación se procedía al pesaje del conjunto (bandeja + red de plástico + mejillones). De esta manera se evitaba la manipulación directa de los ejemplares y se reducía el nivel de estresamiento al que podían ser expuestos los individuos de mejillón cebra.

Durante las operaciones semanales de pesaje, se comprobaba la ausencia de ejemplares muertos, dado que supondrían una pérdida de peso para el conjunto de la muestra, no atribuible al objetivo del ensayo. De hecho se

empezaron a encontrar ejemplares muertos (sin respuesta frente a estímulos externos por contacto), en la semana del 11 de agosto, de modo que se descartaron los resultados de dicha semana y se dio por terminado el experimento con los datos de la semana anterior (4 de agosto).

3.2.3. Resultados y conclusiones

La figura 9 muestra de forma gráfica y clara, las pérdidas en peso registradas en las bandejas sometidas a aguas tratadas con el Scalewatcher y las no tratadas (control). La situación de partida, en términos de peso, era muy similar en unas y otras bandejas, con 242,38 g en las de control y 244,58 g en las tratadas. Durante el experimento, las bandejas control se mantuvieron con un coeficiente de variación en peso, a lo largo del experimento con respecto a la media, del 1,6% mientras que en las sometidas a tratamiento, fue de algo más del 10%.

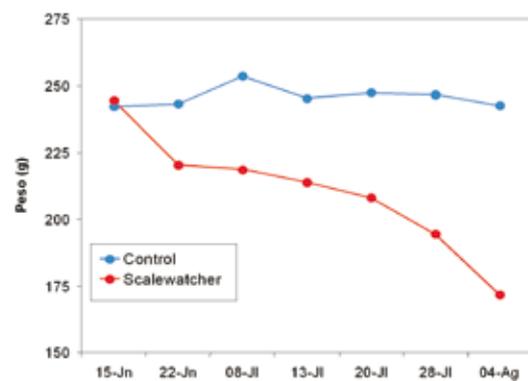


Figura 9. Evolución de los pesos observada a lo largo de la duración del experimento. La curva superior corresponde a la muestra control, mientras que la inferior corresponde a la muestra tratada con el mecanismo Scalewatcher.

En términos de pérdida de peso absoluta, en las bandejas de control apenas se experimentaron cambios, mientras que en las sometidas a tratamiento, hubo una reducción de peso del orden del 30%.

Cabe concluir, por tanto que los efectos de los campos electromagnéticos de baja frecuencia inducidos por el equipo Scalewatcher, afectan negativamente al crecimiento del mejillón cebra, no sólo impidiendo su crecimiento, sino produciendo una pérdida de peso que debe guardar relación con la disponibilidad de calcio en el medio y el metabolismo de la especie. Es interesante constatar que los efectos del Scalewatcher en el experimento realizado, se manifestaron al cabo de una semana. No obstante, no se pudo establecer una relación causal entre el tratamiento y la mortalidad de la especie.

4. MÉTODOS QUÍMICOS

En las pruebas realizadas con productos químicos, se buscó la comparación entre los de tipo no oxidante y los oxidantes. Entre los biocidas no oxidantes se trabajó con Spectrus CT1300, un producto formado por aminas cuaternarias. Como biocida oxidante, se probó la eficacia del anolito neutro, que viene a ser una mezcla generada "in situ" de productos oxidantes derivados del cloro y del oxígeno. Como referencia para estas pruebas, se utilizó el hipoclorito sódico (lejía). Todas estas pruebas se llevaron a cabo en el CEIDE y se contó con la colaboración de las empresas distribuidoras de los productos químicos utilizados.

4.1. TRATAMIENTO QUÍMICO NO OXIDANTE

Los ensayos que se presentan a continuación sobre el control de las poblaciones de mejillón cebra mediante un tratamiento de tipo químico, no oxidante, se basan en la utilización del producto desarrollado por la empresa General Electric Betz, llamado Spectrus CT1300, que está clasificado por la EPA (*Environmental Protection Agency; USA*) como un producto biocida de muy bajo impacto medioambiental, activo a muy bajas concentraciones y que se aplica, por su eficacia, en aplicaciones de choque, con una duración del tratamiento entorno a las 10-20 horas; concretamente, en los experimentos realizados en el CEIDE y que ahora se describen, se operó con un tiempo de contacto de 12 horas.

La aplicación del producto a concentraciones de uso habituales (entre 2 y 10 mg/l), está registrada por la EPA, para combatir organismos incrustantes en circuitos de refrigeración y conducciones de aguas en general con usos industriales. De acuerdo con la información facilitada por GE Betz, la *National Sanitary Federation (USA)* también permite la utilización de este producto con dosificaciones de hasta 3 mg/l en captaciones de aguas para consumo.

En todo caso y dada la naturaleza catiónica del producto, se puede conseguir su plena neutralización a la salida de cualquier efluente tratado, mediante adsorción sobre medios finamente granulados como la bentonita.

El producto que se prueba en la experiencia, es un biocida de naturaleza no oxidante, es decir, que no actúa por oxidación directa de la materia orgánica, y tiene la característica que, al aplicarlo, las valvas del mejillón permanecen abiertas, mientras el organismo sigue filtrando el agua de manera activa, a través de las branquias, exponiendo los tejidos a la acción tóxica de los compuestos, y causándole la muerte.

4.1.1. Condiciones experimentales

Los ensayos se realizaron con la finalidad de verificar, por un lado la eficacia del producto (Spectrus CT1300) frente a la especie *Dreissena polymorpha*

(mejillón cebra), y por otro los niveles de neutralización (detoxificación) conseguibles en las aguas efluentes derivadas de las pruebas y por tanto con ciertas concentraciones del producto biocida.

Tabla 8. Condiciones experimentales para las pruebas realizadas con el producto Spectrus CT1300.

VARIABLE	VALOR
Temperatura del agua (°C)	20-22
Nº de cubetas de ensayo	3-5
Nº ejemplares por cubeta	98-111
Tiempo de adaptación	2 semanas
Zona captura ejemplares	Embalse de Riba-Roja
Tamaño medio ejemplares (mm)	20
Dimensiones cubeta (cm³)	40x40x50
Altura media agua (cm)	25
Caudal agua (l/h)	400
Duración del tratamiento (h)	12
Flujo medio vertical (l/h/m²)	2,5
Flujo medio horizontal (l/h/m²)	4,0

Las pruebas se realizaron en junio de 2003 y, en octubre del mismo año se realizó una réplica del experimento, con la única finalidad de afinar en los intervalos de dosificación que habían resultado óptimos en la primera experiencia. Tal y como se ha indicado, las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio de ensayo que Endesa ha habilitado para realizar experiencias con esta especie (CEIDE). Las condiciones de las pruebas se resumen en la tabla 8. En cuanto a las dosificaciones de producto aplicadas en las dos experiencias realizadas, se adjunta la tabla 9. En la segunda experiencia, de acuerdo con los resultados de la primera, tan sólo se planteó como objetivo, el establecer las concentraciones del biocida que, por debajo de los 9 mg/l, seguían manteniendo una alta eficacia frente al mejillón cebra.



Foto 12. Vista general de las cubetas y del sistema

Tabla 9. Dosificación utilizada en las dos experiencias con Spectrus CT1300.

CUBETA N°	CAUDAL DOSIFICACIÓN (l/h)	DOSIFICACIÓN PROPUESTA (mg/l)	DOSIFICACIÓN MEDIDA (mg/l)	% ERROR DE DOSIFICACIÓN
1ª experiencia				
1 (control)	0	0	0	0
2	1,84	3	3,04	< 5%
3	1,75	10	9,43	< 7%
4	2	15	14,70	< 5%
5 (control)	0	0	0	0

4.1.2. Resultados y conclusiones

Los recuentos de ejemplares muertos, sometidos a 12 horas de tratamiento con Spectrus CT1300, se realizaron 8 días más tarde dado que la mortalidad con el producto se difiere en el tiempo, unos cuantos días después del tratamiento. La tabla 10 muestra los resultados.

Tabla 10. Resultados del estado de la muestra de población de mejillón cebra sometida a tratamiento, transcurridos 8 días.

CUBETA N°	MEJILLONES					
	TOTALES	ABIERTOS	ABIERTOS MUERTOS	CERRADOS	CERRADOS MUERTOS	TOTAL MUERTOS
1ª experiencia						
1 (control)	105	30	0	75	0	0
2	99	28	10	71	7	17
3	99	87	87	12	4	91
4	98	86	86	12	7	93
5	102	36	36	66	0	0
2ª experiencia						
1 (control)	111	77	7	25	2	7
2	100	14	71	12	3	74
3	101	0	92	6	3	95

En la tabla 11 se indican los porcentajes de mortalidad calculados para cada una de las dos experiencias.

Tabla 11. Porcentajes de mortalidad alcanzados en las dos experiencias de tratamiento con el biocida Spectrus CT1300 de GE Betz.

CUBETA N°	DOSIFICACIÓN MEDIA (mg/l)	MORTALIDAD (%)
1ª experiencia		
2	2,6	17,20
3	9,6	91,92
4	14,5	94,90
2ª experiencia		
2	5	74,00
3	8	94,00

Como conclusiones de las pruebas realizadas con Spectrus CT1300, cabe indicar lo siguiente:

1. Durante el transcurso de las experiencias, el mejillón cebra siguió filtrando, no detectando la presencia del biocida en el medio, lo que explica la efectividad de dicho producto a dosis bajas.
2. En el seguimiento de la primera experiencia, se observó que la sensibilidad del mejillón cebra a estímulos externos, va decreciendo con el tiempo desde el inicio del tratamiento. Se apreció una pérdida significativa de sensibilidad a partir de las 6 horas del inicio de la prueba en la cubeta 4 y muy significativa a las 8 horas, en la cubeta 3.

A las 24 horas, no existía ya respuesta a estímulos externos en las cubetas 3 y 4, mientras que había indicios de sensibilidad en la cubeta 2. En las cubetas 1 y 5 (control), se mantuvo la sensibilidad intacta durante el transcurso de toda la experiencia.

3. La segunda experiencia, confirmó resultados y, además, probó la eficacia del producto Spectrus CT1300, a partir de dosis de 5 ppm.
4. Los ensayos de detoxificación se realizaron en la cubeta 3 (primera experiencia), con una concentración esperada de 10 ppm de producto. Aplicando el protocolo de desnaturalización (Spectrus DT1401) y realizando los análisis sobre el efluente residual, se midió una concentración de producto inferior a 0,1 mg/l.
5. El producto ha sido efectivo contra el mejillón cebra con un porcentaje de mortalidad superior al 90% para concentraciones de 8 mg/l. De lo observado se deduce que el producto se mostró más efectivo en los individuos de mayor tamaño.

En la foto 13 puede observarse una agrupación típica de mejillón cebra y en la foto 14, se puede apreciar la diferencia entre un mejillón cebra vivo y uno muerto.

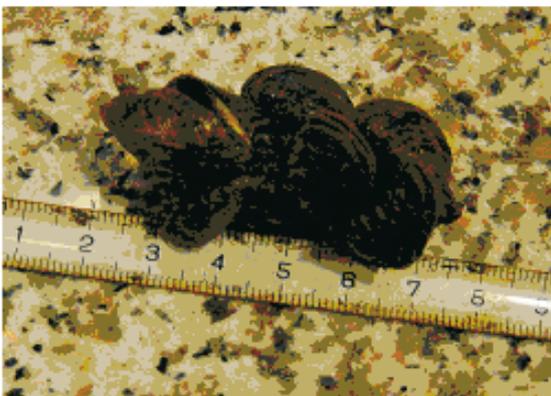


Foto 13. Agrupación típica del mejillón cebra (*Dressena polymorpha*).

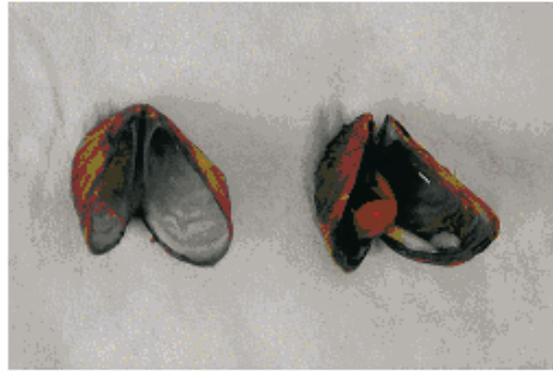


Foto 14. Diferencia entre un mejillón vivo y otro muerto.

4.2. TRATAMIENTO QUÍMICO OXIDANTE

Durante el 2004 se llevaron a cabo en el CEIDE, las pruebas de tratamiento del mejillón cebra con el producto biocida oxidante "Anolito Neutro" (ANK) de la empresa ECANET, S.L. Se trata de un producto alternativo al hipoclorito sódico, dado que este puede causar problemas por el residuo generado como consecuencia de las altas concentraciones requeridas para los tratamientos.

El anolito neutro es un oxidante que se genera "in situ". Para ello se procede a la activación electrolítica de una solución salina, mediante un equipo específico ECA-90, en este caso de la empresa ECANET S.L., con capacidad para producir 90 litros a la hora de anolito neutro.

El equipo consiste en una célula electrolítica especial, con un cátodo cilíndrico de titanio y un ánodo concéntrico también de titanio recubierto con óxido de rutenio, separados ambos por una membrana cerámica selectiva. Por la célula pasa un determinado caudal de agua, previamente mineralizado con sal (cloruro sódico) hasta una concentración del 0,3-0,5%. Como consecuencia, básicamente de los procesos que ocurren en la cámara anódica se produce una mezcla de productos oxidantes como cloro, óxidos de cloro, peróxido de hidrógeno, oxígeno, ozono, hidroxilos, etc. Dentro de este grupo destacan los productos metaestables con vida muy efímera como el ozono y el radical hidroxilo, pero responsables de una parte muy importante de la actividad posterior del anolito.

4.2.1. Diseño experimental

En la figura 10 y en la foto nº 15 se pueden apreciar una imagen del equipo ECA-90 empleado y el esquema de este sistema, respectivamente.

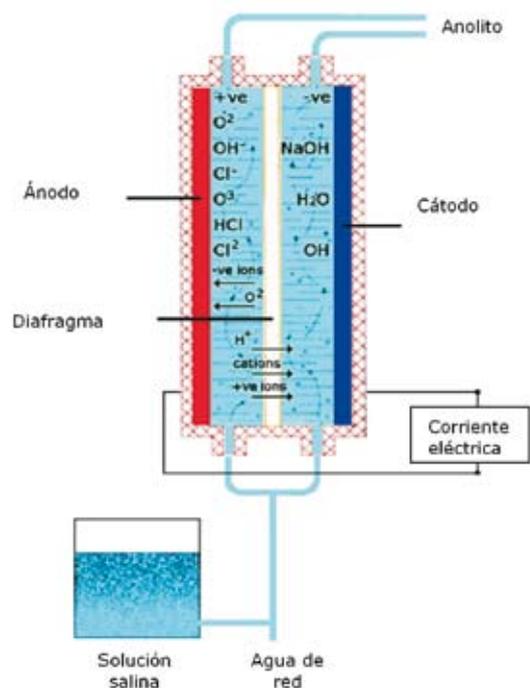


Figura 10. Esquema del tratamiento catódico y anódico del agua.

La prueba se realizó en base a dos experiencias (enero y julio de 2004), la primera para comprobar la eficacia del producto frente al mejillón y la segunda para afinar la eficiencia; es decir establecer la concentración más baja posible para dejar una concentración de cloro residual libre en el agua dentro del intervalo de referencia para el consumo humano (0,2-0,8 mg Cl₂/l), aumentando los tiempos de contacto y trabajando a temperaturas más elevadas, con el fin de minimizar los efectos ambientales de la aplicación del producto. Al objeto de tener un referente de comparación sobre la dosificación y la eficacia del anolito neutro, en la segunda experiencia se realizó un ensayo en paralelo con hipoclorito sódico, como biocida más universalmente utilizado para combatir el mejillón cebra y otras especies incrustantes. Es importante indicar que las concentraciones de hipoclorito sódico utilizadas fueron muy inferiores a las de uso habitual en tratamientos contra bioincrustaciones. Este hecho responde al interés ya indicado de analizar la eficacia comparada del anolito neutro y el hipoclorito sódico manteniendo concentraciones en el agua aptas para consumo humano (0,2-0,8 mg Cl₂/l). Los ensayos se realizaron siempre con ejemplares adultos de mejillón cebra.

Para la realización de las pruebas se utilizaron las piletas de hormigón del CEIDE de 40x40 cm, alimentadas continuamente con agua procedente del río Ebro a través de un tanque intermedio acumulador y con una válvula individual que permitía la regulación del caudal. En la segunda experiencia se instaló un tanque acumulador adicional, intermedio y pequeño, con un rebosadero interior que aseguraba un caudal de agua de alimentación estable en cada pileta.

La tabla 12 muestra las condiciones experimentales de las dos experiencias realizadas con anolito neutro. En la primera experiencia, se utilizó

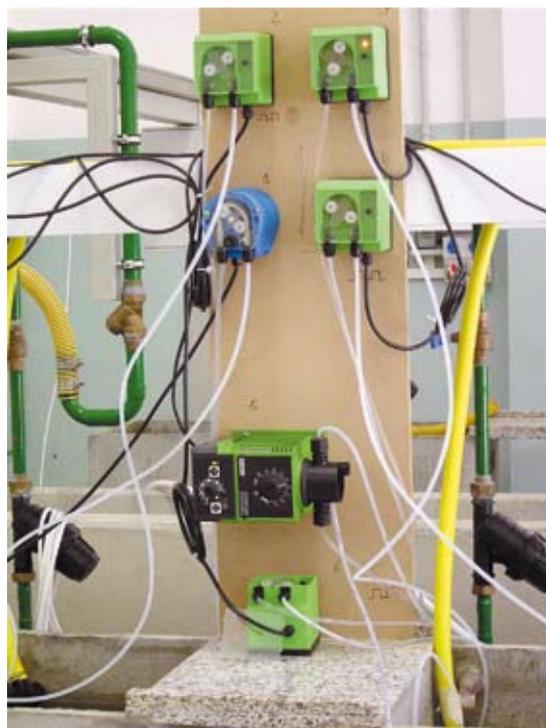


Foto 15. Fotografía del sistema del anolito neutro.

un total de 3 piletas, mientras que fueron 8 las utilizadas en la segunda experiencia, 4 para el tratamiento con anolito neutro, 2 para el hipoclorito sódico, una de control y una más de apoyo tal y como se comenta más adelante (figura 12). Tanto en una como en otra experiencia, en el interior de cada pileta se dispusieron 100 ejemplares adultos en dos bandejas (50 + 50) con un par de semanas de aclimatación previamente a las pruebas.

Mediante bombas de membrana y peristálticas de 1 y 4 l/h se dosificó el ANK (y el NaClO en la segunda experiencia) a las piletas, justo en la entrada de agua para que el reactivo se distribuyera homogénea y rápidamente en todo su volumen. El ANK se produjo en el mismo laboratorio con la unidad ECA-90 conforme se iba necesitando. El tiempo transcurrido entre la producción del ANK y su consumo nunca fue superior a las 2 horas. El equipo ECA-90 se alimentaba con la misma agua de río que fluía a través de las piletas. Una bomba peristáltica interna se encargaba de dosificar al agua de aporte de la célula, la solución de cloruro sódico saturada obtenida a partir de sal en pastillas (del tipo usado en descalcificadores).

En la figura 11 y foto n° 16, se puede ver esquemáticamente la distribución de los tanques y el detalle de cómo se realizó la alimentación de las piletas y las dosificaciones.

El control de calidad del ANK producido se realizaba verificando periódicamente su potencial de oxido-reducción con un equipo CRISON 2000 provisto de una sonda ORION (ref. 9828). Este es el parámetro básico de control para tener garantías de una calidad estable del producto.

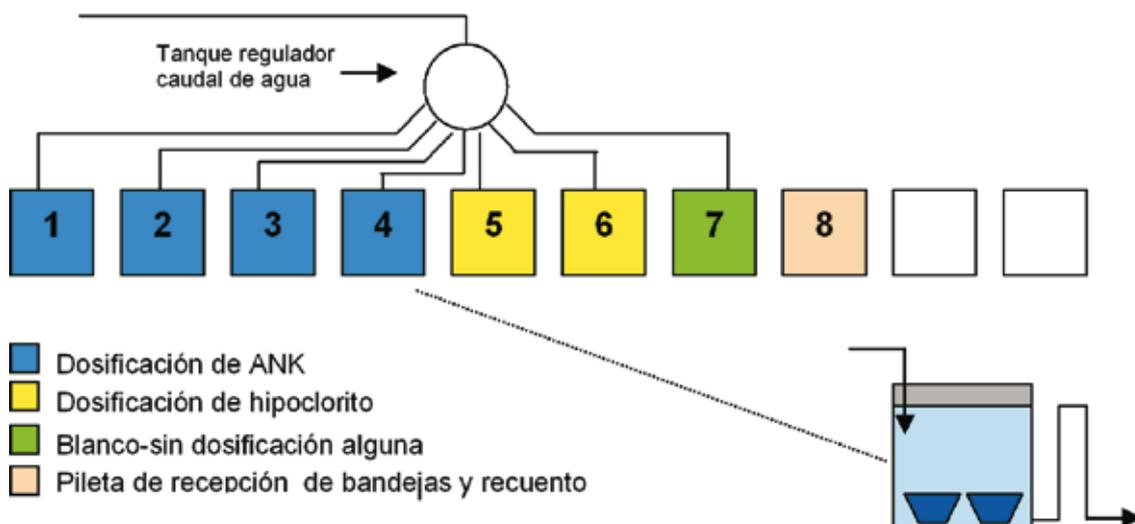


Figura 11. Esquema de la distribución de las piletas según su utilización dentro del experimento.

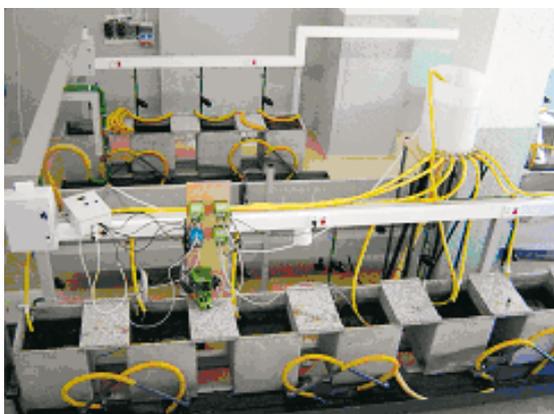


Foto 16. Se puede apreciar la distribución, forma y disposición de los tanques, material y equipo utilizados en este ensayo realizado en el CEIDE específico para el estudio del mejillón cebra, ubicado en Riba-roja.

cada venía dada por la concentración de cloro residual libre obtenida. En cualquier caso, también se medía el cloro residual libre a la salida de las piletas con adición de ANK, pues este producto también tiene un contenido en cloro activo entorno a los 250-300 mg/l.

El hipoclorito sódico usado era de tipo doméstico, con 35 gramos por litro de cloro activo; es decir unas 100 veces superior al contenido en cloro activo del ANK.

El control del cloro residual libre se hacía "in situ" mediante un método colorimétrico basado en el de la ortotolidina-arsenito (Rodier, 1981). Periódicamente se controlaban todos los caudales de circulación de agua de las piletas, y se reajustaban si era necesario; también se controlaban los caudales de las bombas de reactivos.

Para el ANK el control de la dosificación era volumétrico. Con el hipoclorito (segunda experiencia), el control de la dosis de reactivo apli-

Las variables y condiciones que intervinieron en el ensayo y sus respectivos valores se resumen en la tabla 12.

Tabla 12. Condiciones de referencia para las pruebas realizadas con ANK. La dosificación intermitente consistía en dosificar una hora sí y una hora no.

CONDICIONES	1ª EXPERIENCIA	2ª EXPERIENCIA	
Producto	ANK	ANK	NaClO
Temperatura del agua	10°C	23°C	
Proporción volumétrica (concentración equivalente en mg Cl ₂ /l)	1:100 (1,25 mg/l) 1:250 (0,50 mg/l) 1:500 (0,25 mg/l)	1:250 (0,50 mg/l) 1:500 (0,25 mg/l)	0,50 mg Cl ₂ /l
Equipo productor de ANK	EC-20	EC-90	
Voltaje y corriente	24 v (alterna)	220 v (continua)	
Intensidad	30 Ω	30 Ω	
Capacidad de producción de ANK	20 l/h	90 l/h	
Potencial redox por medio del ANK	+650 mv	+759 mv	--
Caudal por pileta	350 l/s	250 l/s	
Tipo de dosificación	Continua	Continua	Intermitente
Tiempo de exposición	24 h	48 h y 72 h	48 h y 72 h
Nº piletas utilizadas	3	4	2
Ejemplares de mejillón por pileta	50	50 + 50	

En cada pileta de experimentación se colocaron dos bandejas de plástico con los laterales abiertos, conteniendo cada una de ellas 50 ejemplares del mejillón. Una vez transcurridos los tiempos de exposición (24 o 48 y 72 horas) se retiraba de cada pileta la bandeja correspondiente y se introducía en otra pileta (la número 8 en la figura 12) sin reactivo y con circulación normal de agua, para después de transcurridos tres días proceder al recuento de ejemplares muertos. En cada caso se dispuso también de una pileta testigo (la número 7 en la figura 12) donde no se aplicaba reactivo alguno.

Para profundizar en la comparativa del tratamiento con ANK y hipoclorito, en cuanto a las posibles implicaciones medioambientales, se recogieron muestras de las aguas tratadas con ANK en la relación 1:250 (concentración equivalente a 0,50 mg Cl₂/l) y con hipoclorito sódico con un nivel de cloro residual libre de 0,5 mg Cl₂/l. Ambas muestras, con un

nivel de cloro residual libre idéntico, fueron analizadas para determinar la posible presencia de subproductos organoclorados y trihalometanos derivados del tratamiento. También se analizó el agua sin tratamiento (blanco) para descartar posibles contaminaciones previas al tratamiento.

4.2.2. Resultados y conclusiones

Los resultados de la primera experiencia realizada en enero de 2004, se recogen en la tabla 13. A pesar del enfoque aproximativo de esta primera prueba, se vio que con 24 horas de tratamiento, los resultados sólo eran aceptables para concentraciones de ANK próximas o superiores a la dosis de 1:100; es decir, para concentraciones equivalentes en cloro residual libre de 1,25 mg Cl₂/l.

Tabla 13. Resultados de la primera experiencia con anolito neutro (CLR: Cloro Residual Libre)

PILETA	REACTIVO	DOSIFICACIÓN	TIEMPO CONTACTO	DOSIS	CLR MEDIO	PORCENTAJE MORTALIDAD
1	ANK	Continua	24 h	1:500	0,25 mg/l	23%
2	ANK	Continua	24 h	1:250	0,5 mg/l	34%
3	ANK	Continua	24 h	1:100	2,5 mg/l	100%

La segunda experiencia, se realizó con dosificaciones entre 1:250 y 1:500, pero con tiempos de exposición más largos y temperaturas también más altas, como correspondía a la época del año (julio).

Los resultados definitivos de la segunda experiencia, en la que se incorpora un ensayo de referencia con hipoclorito sódico, se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Resumen de resultados de la segunda experiencia con anolito neutro (ANK) e hipoclorito sódico (NaClO). (CLR: Cloro Residual Libre; n.a.: no aplicable).

PILETA	REACTIVO	DOSIFICACIÓN	TIEMPO CONTACTO	CLR MEDIO	PORCENTAJE MORTALIDAD
1	ANK	Continua	48 h	0,52 mgCl ₂ /l	16,6 %
			72 h		66,0 %
2	ANK	Intermitente	48 h	0,40 mgCl ₂ /l	0,0 %
			72 h		2,0 %
3	ANK	Continua	48 h	0,22 mgCl ₂ /l	20,8 %
			72 h		66,6 %
4	ANK	Intermitente	48 h	0,18 mgCl ₂ /l	2,0 %
			72 h		6,1 %
5	NaClO	Continua	48 h	0,55 mgCl ₂ /l	2,1 %
			72 h		9,8 %
6	NaClO	Intermitente	48 h	0,22 mgCl ₂ /l	0,0 %
			72 h		4,2 %
7	Blanco	n.a.	n.a.	n.a.	0,0 %
8	Recepción	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Los valores medios de cloro residual libre en el agua en contacto con los mejillones para las diferentes dosificaciones en continuo de ANK y de hipoclorito sódico, se mantuvieron muy estables toda la experiencia.

De la observación de las reacciones de los ejemplares de mejillón cebra expuestos a los tratamientos, se pudo apreciar como el mejillón detecta concentraciones muy bajas de cloro residual libre (en torno a 0,18 mg/l) cerrando rápidamente sus valvas.

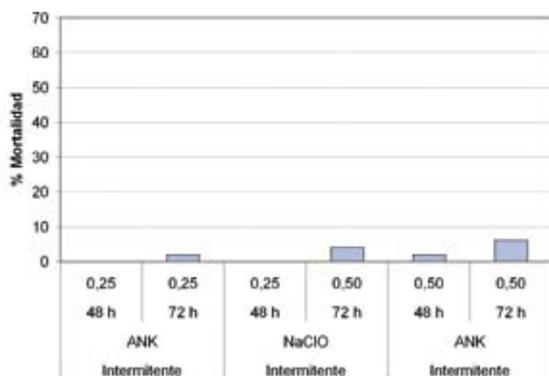


Figura 12. Tantos por ciento de mortalidad alcanzados a partir del tratamiento de dosificación intermitente y los tiempos y dosis de exposición indicadas, tanto de anolito neutro (ANK) como de hipoclorito sódico (NaClO).

Se observó también que en las pilletas con dosificación intermitente de hipoclorito sódico, el mejillón se mantenía encerrado en sus valvas durante la hora en la cuál se aplicaba el reactivo, para después abrirse durante la siguiente hora, cuando las condiciones le dejaban de ser desfavorables.

En las figuras 12 y 13 se exponen los resultados de las dos experiencias con ANK, pero agrupando los datos en función de tipo de dosificación primero, continua o intermitente, de la dosis de producto y de las horas de exposición. De esta forma, se pueden comparar más fácilmente los porcentajes de mortalidad obtenidos para ambas pruebas.

Al margen del 100% de mortalidad obtenido con 24 h de exposición continuada a una concentración de anolito neutro de 1:100 (equivalente a 1,25 mg Cl₂/l), lo cierto es que con el resto de concentraciones y tiempos ensayados, los resultados fueron un tanto sorprendentes, en el sentido de que no se apreció ningún tipo de proporcionalidad entre concentración y porcentaje de mortalidad alcanzado, para un mismo tiempo de exposición.

Empezando por los resultados obtenidos con una dosificación intermitente (figura 12), se puede ver como los porcentajes de mortalidad alcanzados son muy reducidos, siendo nulos para 48 h de exposición y 0,25 mg Cl₂/l, tanto para el anolito neutro como para el hipoclorito sódico. Para 72 h y una concentración de 0,50 mg Cl₂/l, los resultados siguen siendo muy bajos y similares para ambos productos (4-6% de mortalidad).

Con los tratamientos en continuo los resultados son bastante diferentes (figura 13) y ponen de manifiesto la falta de relación entre tiempos, dosis de exposición y porcentajes de mortalidad medidos.

Lo primero que se observa es que, para una misma concentración equivalente de cloro residual libre, el tratamiento con anolito neutro es más eficaz que el de hipoclorito sódico. Como se puede ver también, con el anolito neutro la mortalidad alcanzada es mayor con 24 horas de exposición que con 48 horas, para una concentración equivalente de 0,50 mg Cl₂/l, mien-

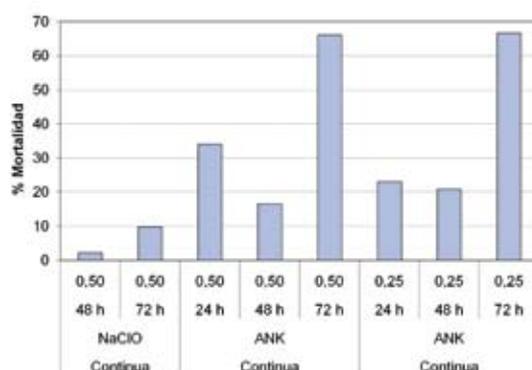


Figura 13. Tantos por ciento de mortalidad alcanzados a partir del tratamiento de dosificación continua y los tiempos y dosis de exposición indicadas, tanto de anolito neutro (ANK) como de hipoclorito sódico (NaClO).

tras que en la misma comparación para una concentración inferior (0,25 mg Cl₂/l), los resultados obtenidos son muy parejos.

Otra aparente incongruencia es que con 0,25 mg Cl₂/l de ANK a 48 h, se obtiene una mortalidad superior que aplicando una concentración el doble mayor (0,50 mg Cl₂/l) también durante 48 horas.

Finalmente, cuando los tiempos de exposición son de 72 horas, los resultados son muy similares tanto si se utiliza una dosis de 0,25 mg Cl₂/l como de 0,50 mg Cl₂/l.

En el caso de los resultados obtenidos con 24 horas de exposición, cabe tener en cuenta que corresponden a la experiencia de enero, con aguas a 10°C, mientras que el resto de tiempos de exposición (48 horas y 72 horas) pertenecen a la segunda experiencia realizada en julio, con agua a unos 23°C. Esta diferencia térmica puede justificar una distinta actividad del cloro residual libre, en el sentido de que a menor temperatura, el cloro residual libre permanece más tiempo en el agua y por tanto, puede ser más eficaz con tiempos de exposición (y concentraciones en origen) menores.

Tratando ahora sólo los datos referidos a la segunda experiencia (48 horas y 72 horas), las incongruencias antes indicadas (más eficacia con menos concentración de ANK para una exposición de 48 horas y eficacia similar del ANK para 72 horas, con las dos concentraciones ensayadas), resultan difícil de explicar y conducen a la conclusión de que el ANK presenta un comportamiento un tanto caótico, con una eficacia que quizás dependa de variaciones en el resto de los productos oxidantes producidos en la electrolisis, al margen del cloro residual libre, que se mantuvo constante durante los ensayos.

Una parte importante de las pruebas realizadas era la determinación de las concentraciones de productos organoclorados y trihalometanos derivables del tratamiento con ANK, en comparación con el uso del hipoclorito sódico. También se analizaran los cambios que uno y otro tratamiento, ANK y NaClO, producen en las características físico-químicas del agua. En la tabla 15 y 16 pueden observarse los resultados de estos dos tipos de análisis, respectivamente.

Tabla 15. Resumen de los resultados analíticos obtenidos sobre productos organoclorados y trihalometanos presentes en las aguas tratadas con ANK y con NaClO. (L.D. Límite de detección de la técnica; n.d. no detectable, valor inferior al detectable).

PARÁMETRO	UNIDAD	BLANCO	NaClO 0,5 mgCl ₂ /l	ANK 1:250	L.D	MÉTODO
1,1-Dicloroetano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	0,50	HRGC-ECD
Diclorometano	µg/l	n.d.	9,00	n.d.	5,00	HRGC-ECD
t-1,2-Dicloroetano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	2,50	HRGC-ECD
e-1,2-Dicloroetano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	2,50	HRGC-ECD
Cloroformo	µg/l	n.d.	20,17	22,70	0,10	HRGC-ECD
1,1,1-Tricloroetano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	HRGC-ECD
Tetraclorometano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	HRGC-ECD
1,2-Dicloroetano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	2,50	HRGC-ECD
Tricloroetano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	HRGC-ECD
1,2-Dicloropropano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	2,50	HRGC-ECD
Bromodichlorometano	µg/l	n.d.	12,97	15,17	0,50	HRGC-ECD
e-1,3-Dicloropropeno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	1,00	HRGC-ECD
t-1,3-Dicloropropeno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	1,00	HRGC-ECD
1,1,2-Tricloroetano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	1,00	HRGC-ECD
Tetracloroetano	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	HRGC-ECD
Dibromoclorometano	µg/l	n.d.	4,07	4,58	0,50	HRGC-ECD
Bromoformo	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	1,00	HRGC-ECD
1,3-Diclorobenceno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	2,50	HRGC-ECD
1,4-Diclorobenceno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	2,50	HRGC-ECD
1,2-Diclorobenceno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	2,50	HRGC-ECD
1,3,5-Triclorobenceno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	1,00	HRGC-ECD
1,2,4-Triclorobenceno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	1,00	HRGC-ECD
Hexaclorobutadieno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	0,50	HRGC-ECD
1,2,3-Triclorobenceno	µg/l	n.d.	n.d.	n.d.	1,00	HRGC-ECD
TOTAL (2):	µg/l		46,21	42,45		

Las concentraciones de productos residuales organoclorados y trihalometanos en las aguas de tratamiento, son muy similares para el ANK y el NaClO. Según el Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero por el que se

regula la calidad de las aguas para el consumo humano, la suma del bromodichlorometano, bromoformo, cloroformo y dibromoclorometano (THMs) no puede exceder de 150 µg/l, cifra que no se alcanza en ningún caso.

Tabla 16. Variación de las características físico-químicas generales del agua originales (blanco) tras los tratamientos con ANK NaClO 0,5 mg Cl₂/l.

PARÁMETRO	BLANCO	ANK 1:250	NaClO 0,5 mg Cl ₂ /l	MÉTODO
pH (20°C)	7,95	7,95	7,98	Electrometría
Conductividad (µs/cm 20°C)	544	580	543	Electrometría
Cloruros (mg Cl ⁻ /l)	49,7	65,7	51,5	Volumétrico
Dureza total (° HF)	20,8	20,9	20,7	Volumétrico
Sulfatos (mg SO ₄ ⁼ /l)	139,8	125,0	139,5	Colorimétrico
Nitratos (mg NO ₃ ⁼ /l)	5,2	6,0	9,2	Colorimétrico

De la tabla 16, se deduce que el pH del agua y la dureza, se mantienen estables con cualquiera de los dos tratamientos (ANK o NaClO). El ANK provocó un incremento de la concentración de los cloruros y de la conductividad eléctrica, hecho por otro lado lógico dado que se añade inicialmente NaCl al agua. Por su parte el NaClO no produjo apenas cambios, a excepción del aumento de los nitratos, posiblemente por oxidación de compuestos nitrogenados más reducidos.

La conclusión es que el ANK es totalmente eficaz en la inactivación del mejillón cebra para una dilución de 1:100 (concentración equivalente en cloro libre residual de 2,5 mg Cl₂/l) y un tiempo de contacto de 24 horas. A igual concentración equivalente de cloro residual libre, el ANK se mostró más eficaz que el hipoclorito, sin embargo el anolito neutro tiene un comportamiento poco predecible y un tanto incoherente en el resto de concentraciones y tiempos de exposición ensayados. Parece que con 72 horas de tratamiento con ANK, las cifras de mortalidad se sitúan entre el 60 y el 70%, tanto con 0,25 mg Cl₂/l como con 0,50 mg Cl₂/l.

Quedaría por evaluar comparativamente el posible coste económico diferencial de uno y otro tratamiento, pero a falta de confirmación, parece evidente que el uso de hipoclorito sódico es mucho más económico, si se tiene en cuenta que este producto comercial se presenta en concentraciones de 35-54 g Cl₂/l y que con 5 litros pueden tratarse unos 500.000 litros de agua, con concentraciones de 0,35-0,54 mg Cl₂/l, aptas para el consumo humano.

5. MÉTODOS BIOLÓGICOS

5.1. INTRODUCCIÓN

Las pruebas realizadas para un eventual control biológico de la especie se centraron en analizar las posibilidades de identificación y manejo de poblaciones de parásitos o de microorganismos en general, con capacidad de

actuar sobre el mejillón cebra. Para ello se realizó un estudio microbiológico y parasitológico del mejillón cebra con técnicas histopatológicas, y también pruebas de control microbiológico en laboratorio utilizando insecticidas biológicos comerciales.

Aprovechando estos trabajos histológicos y dada la condición de buen bioindicador que tiene el mejillón cebra con relación a la presencia en el medio de metales pesados y organoclorados (Ludianskyi *et al.*, 1993), se decidió también realizar pruebas sobre bioacumulación de productos tóxicos.

5.1.1. TRABAJOS PARASITOLÓGICOS Y MICROBIOLÓGICOS

La finalidad de esta parte del estudio fue la identificación taxonómica de posibles organismos patógenos hallados en ejemplares de la propia especie, *Dreissena polymorpha*. Al margen de informar de la existencia de potenciales agentes de control biológico para el mejillón cebra, también podría servir para la identificación de patógenos con posibles riesgos para otras especies.

5.1.1.1. Trabajos de campo

Las muestras utilizadas se recogieron tanto en el interior del embalse de Riba-roja, a distintas profundidades, como en diversas secciones del río Ebro, aprovechando la estructura de muestreo de los trabajos de Cia (2004). No se dispuso por tanto de una red de puntos de muestreo propia para este estudio, sino que se aprovechaban los ejemplares de mejillón cebra obtenidos dentro de otros trabajos y estudios realizados en simultáneo.

En la tabla 17 se recogen las fechas en que se tomaron muestras y en la tabla 18 se indican los puntos de muestreo utilizados (figura 14), la sección concreta donde se recogieron, el tipo de procesado al que se sometieron las muestras (sección histológica o procesado en fresco) y la clasificación por tamaños de los ejemplares capturados en cada caso (0-1 cm, 1-2 cm, >2 cm).

Tabla 17. Fechas de obtención de las muestras, procedencia (sección transversal del río (figura 15) o profundidad en el embalse, tipo de procesado al que se sometieron las muestras y clasificación de los mejillones por tamaños en cada caso.

FECHA DE MUESTRA	PUNTO DE MUESTREO	HISTOLOGÍA			FRESCO		
		0-1 cm	1-2 cm	>2 cm	0-1 cm	1-2 cm	>2 cm
Septiembre 03	S21	10 mejillones entre los tres					
	S20	28 mejillones entre los tres					
Noviembre 03	S09	1	0	0			
	S18	0	14	6		24	18
	S21	0	8	5		15	4
	S05	0	18	15		9	19
	Embalse a 5 m	9	20	7		42	21
	Embalse a 10 m	6	19	7		21	14
Enero 04	Embalse a 5 m		14	20		17	19
	Embalse a 10 m		8	12		38	10
	S05		18	23		18	22
	S09		19	13		20	13
	S18		7	7		8	2
Mayo 04	Embalse a 5 m		10	10			
	Embalse a 10 m		10	10	0	10	10
	Embalse a 15 m		10	10	6	29	19
	Embalse a 20 m		12	6			
	S14		10	10	0	10	14
	S18		7	10	0	28	28
Junio 04	S04		13	10	0	12	14
Julio 04	Embalse a 5 m	8	10	10	0	17	33
	Embalse a 10 m	10	10	10	0	12	18
	Embalse a 20 m	10	10	10			
	S18	10	10	10	0	32	22
	S15	10	10	10			
Agosto 04	S11		13	20	9	12	18
	S15		3	3			
	S18				4	17	13
TOTALES PARCIALES		64	283	254	19	391	331
		+ 38 ejemplares sin medir					
		639 ejemplares			741 ejemplares		
SUMA TOTAL		1380 ejemplares					

Figura 14. Situación de los puntos de muestreo de los trabajos de Cia (2004), a partir de los cuales se obtuvieron las muestras.

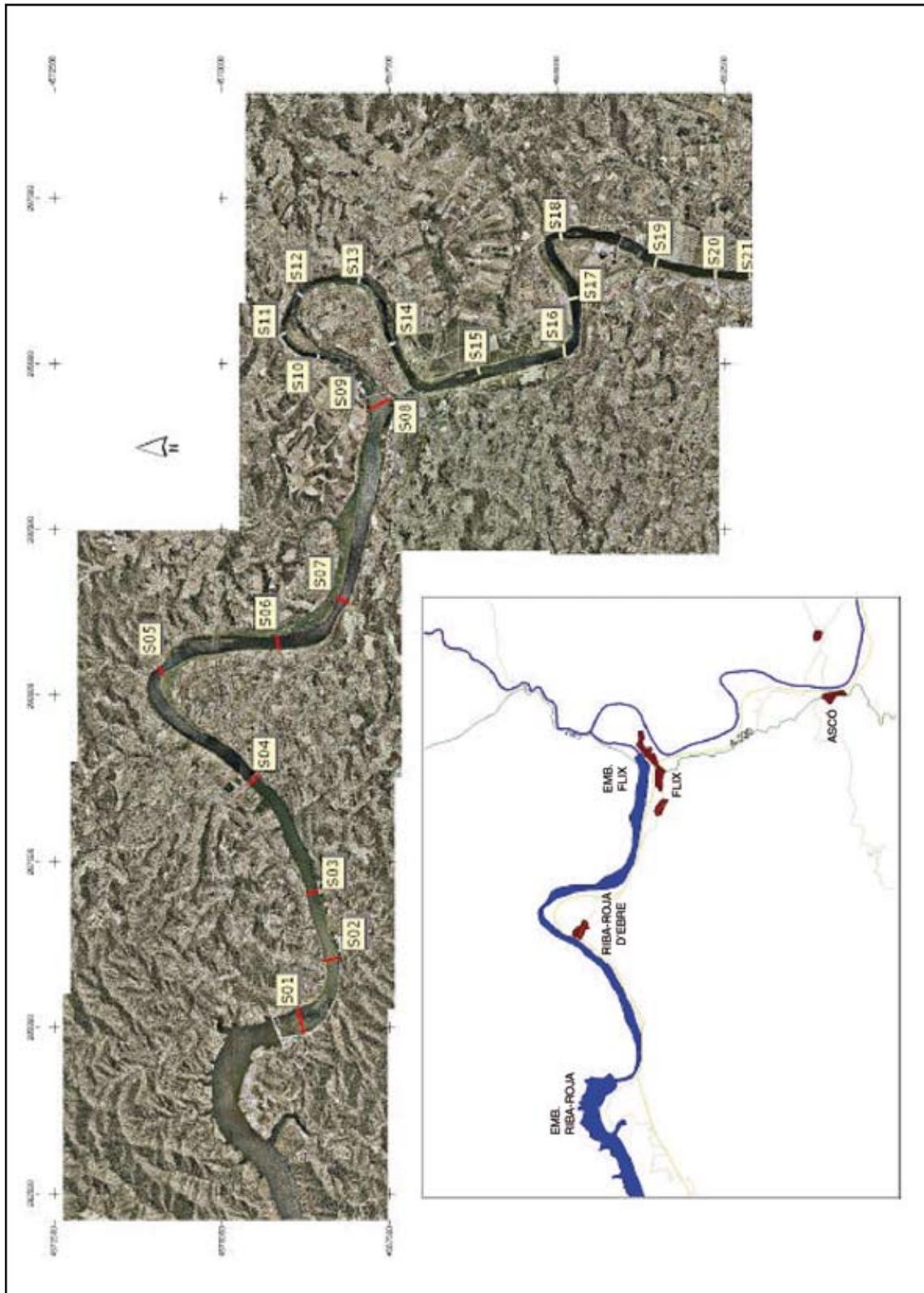


Tabla 18. Localización de los puntos de muestreo.

DENOMINACIÓN	INDICATIVO	COORDENADAS
Embalse a 5/10/15/20 m	Profundidades de obtención de las muestras en el embalse de Riba-roja cerca de la presa	
S04	Embalse de Flix (embarcadero)	X=288.724 Y=4.569.525
S05	Embalse de Flix (cabestrante)	X=290.376 Y=4.570.910
S09	Meandro de Flix (rápido)	X=294.790 Y=4.567.976
S11	Meandro de Flix (aguas abajo EDAR)	X=295.109 Y=4.569.092
S14	Meandro de Flix (paso de barca)	X=295.299 Y=4.567.455
S15	Playa aguas debajo de la CH Flix	X=294.892 Y=4.566.177
S18	Justo aguas arriba de la CN Asco	X=296.958 Y=4.564.950
S20	Puente de Ascó	X=296.352 Y=4.562.647
S21	Embarcadero de Ascó	X=296.336 Y=4.562.137

Todos los puntos de muestreo están localizados en el tramo del río Ebro comprendido entre el embalse de Riba-roja, junto a la presa y el embarcadero de Ascó.

De la tabla 17 se deduce que el número total de ejemplares procesados mediante las dos técnicas, ha sido de 1380, distribuidos a lo largo de las estaciones del año. En cuanto al tamaño de los ejemplares, su distribución fue la siguiente:

- 0-1 cm (n=83): 6,0%
- 1-2 cm (n=674): 48,8%
- >2cm (n=585): 42,4%
- (+38 mejillones de tamaño no registrado): 2,8%

5.1.1.2. Trabajos de laboratorio

Los ejemplares recogidos se transportaban inmediatamente a los laboratorios de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza, en contenedores de plástico de 5 litros, para permitir su supervivencia durante el viaje. Una vez en el laboratorio, los mejillones se conservaban en la misma agua y en el mismo recipiente, al que se le instalaba un pequeño oxigenador eléctrico.

Tal y como ya se ha indicado, se siguieron dos tipos de técnicas para el estudio, una sobre el material fresco y la otra a nivel de cortes histológicos:

- **Mejillones frescos.** En este tipo de técnicas no se utilizan fijadores, colorantes, ni sustancias similares. Los mejillones vivos se limpian externamente y se abren las valvas. Una vez obtenida la pulpa del mejillón se siguieron dos métodos de procesado de las muestras:

a) Pesado y machacado de lotes de 10-15 mejillones sin valvas en 25 ml de agua con filtrado y visualización de 1 ml de preparación en microscopio óptico.

b) Pesado y machacado de muestras con Sulfato de Zinc 7-anhidro para separación por flotación del material más ligero.

Ambas técnicas permiten realizar el estudio de lotes de varios mejillones conjuntamente sin necesidad de laboriosos procedimientos. Son muy útiles para la visualización de organismos de tamaño relativamente grande que pueden observarse completos y vivos, inspeccionando a la vez una gran cantidad de muestra.

- **Material histológico.** Investigación histopatológica por medio de la realización de cortes micrométricos de mejillones cebra y tinción de las secciones con hematoxilina-eosina. Este sistema parte de mejillones que se conservan en formol al 10%. Se obtienen secciones de tejido de 5 µ de grosor que posteriormente se tiñen con los dos colorantes. Mediante esta técnica se visualizan los tejidos de forma detallada, comprobando cualquier pequeña alteración microscópica o la presencia de agentes extraños. En su contra está el inconveniente de ver los posibles organismos seccionados y muertos, lo que requiere un nivel de experiencia previa notable para su identificación.

5.1.1.3. Resultados y conclusiones

La técnica de procesado en fresco de los mejillones ha permitido detectar la presencia de protozoos ciliados provisionalmente clasificados dentro del género *Ophryoglena* (foto 17). Estos ciliados alcanzaron densidades máximas próximas a los 55 ejemplares por mejillón. Sin embargo, en los cortes histológicos realizados no se detectó la presencia de ningún ejemplar de este protozoo en los tejidos del molusco, ni ninguna alteración de dichos tejidos que pusiera de manifiesto la actividad de dichos ciliados sobre el mejillón.

Estos ciliados parecen habitar la cavidad del manto del mejillón o sus cavidades corporales siendo endosimbiontes no patógenos en las condiciones habituales en las que *Dreissena polymorpha* se desarrolla en el río Ebro.



Foto 17. Tres imágenes de Protozoos ciliados asociados a *Dreissena polymorpha* en el río Ebro.

Por otro lado, la visualización macroscópica de ejemplares de *Dreissena polymorpha* y su estudio mediante técnicas histológicas, ha permitido detectar la presencia en las branquias de dos ejemplares de mejillón cebra, de *Phyllodistomum folium*, un parásito encuadrado dentro de los trematodos digenéticos (fotos 18, 19 y 20). Sin ser una afirmación definitiva, este trematodo ha sido con casi total seguridad importado con mejillones cebra procedentes de Europa.

La taxonomía de esta especie es confusa, lo que ha dado lugar a que posiblemente se estén denominando con el mismo nombre diferentes especies de helmintos. Así existe cierta controversia acerca de las especies de peces

que pueden actuar como sus hospedadores definitivos; mientras en ocasiones se considera que el parásito adulto se puede albergar en un gran número de especies de peces, en otros casos se considera que la especie originalmente descrita de *P. folium* en el mejillón cebra, es un helminto cuyas fases larvianas se desarrollan únicamente en este bivalvo y tienen un número restringido de posibles especies de peces hospedadoras de las fases adultas, siendo considerados por algunos autores exclusivamente los lucios (*Esox Lucius*) o los espinosos (*Gasterosteus gymnurus*). Ninguna de estas dos especies se encuentra presente en el tramo del río Ebro considerado.

La prevalencia en la muestra estudiada, es muy baja (inferior al 1,5 por mil). Uno de los mejillones parasitados fue recogido en enero de 2004 en la sección S09 y el otro en julio del mismo año, en la cubeta del embalse de Riba-roja a 10 metros de profundidad. Ambos tenían una longitud superior a los 2 cm.

Phyllodistomum folium no ha sido citado previamente en España, ni en bivalvos ni en peces y representa una nueva especie acuática invasora en la cuenca del Ebro, casi con seguridad introducida por el mejillón cebra. Este helminto supone una amenaza para los peces que puedan actuar como hospedadores de sus estadios adultos, fijándose en el sistema urinario.

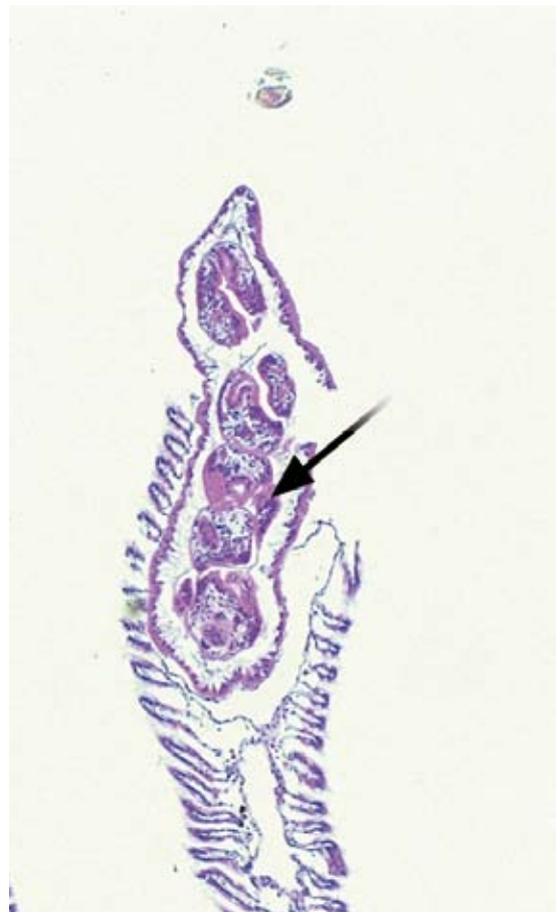


Foto 18. Corte histológico en el que se observa un esporocisto de *Phyllodistomum folium* conteniendo metacercarias en branquias de mejillón cebra.

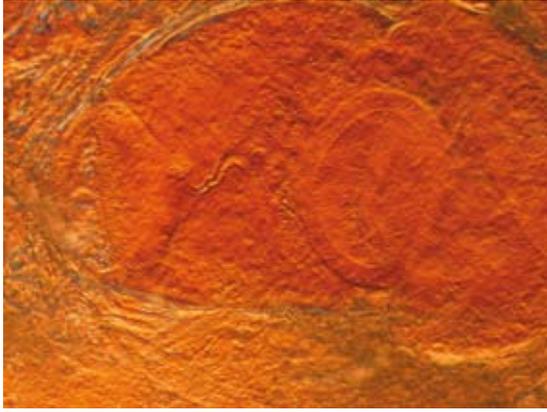


Foto 19. Observación microscópica de *P. folium* con lactofenol.



Foto 20. Observación en lupa binocular de los esporocistos de *P. folium* localizados en el tejido branquial de *Dreissena polymorpha*.

La presencia de *Phyllodistomum folium* pone de manifiesto el efecto en cadena que comporta la introducción de especies. Si se confirma que el mejillón cebra pudo llegar al Ebro de forma involuntaria, asociado a la introducción voluntaria de especies de peces vinculadas a la práctica de la pesca deportiva, *Phyllodistomum folium* representa un tercer nivel de especie introducida también con carácter involuntario. Dicho de otra forma, tras una introducción voluntaria de especies (peces) se ha producido por el momento, la introducción involuntaria de dos especies más el mejillón cebra y el helminto parásito.

La repercusión que *Phyllodistomum folium* puede tener en el medio acuático está pendiente de evaluar y muy posiblemente sería necesario realizar una monitorización de la evolución de su población en los próximos años, ampliando los muestreos a las especies de peces que habitan el río Ebro y sus embalses desde Mequinenza hasta la desembocadura.

Otra línea abierta a nuevas investigaciones es el estudio de la acción de los ciliados del género *Ophryoglena* identificados, sobre el ecosistema acuático, en condiciones de densidades mayores a las encontradas.

5.1.2. PRUEBAS DE CONTROL CON INSECTICIDAS BIOLÓGICOS

Se han realizado una serie de pruebas en laboratorio, utilizando insecticidas biológicos comerciales, para determinar la mortalidad causada por toxinas de origen microbiano, como agentes letales frente al mejillón cebra. El objetivo era optimizar, para aquellas toxinas que resultasen eficientes, las condiciones de utilización, básicamente su concentración, la duración del tratamiento, la temperatura de aplicación y el tamaño de mejillón cebra más sensible.

5.1.2.1. Productos seleccionados para el tratamiento

La idea inicial ha sido utilizar insecticidas biológicos obtenidos a partir de toxinas microbianas. Estos productos (se comercializan en el control de insectos) evitan efectos de biomagnificación en la cadena alimentaria, estando algunos de ellos admitidos para su utilización en aguas libres frente a larvas de mosquitos.

Además de utilizar insecticidas cuyo principio activo fueran las toxinas bacterianas, se hicieron ensayos también con otro tipo de productos insecticidas de tipo químico, tanto para conocer su efectividad como para evaluar su comportamiento con respecto a los de tipo biológico. En el mismo sentido, se utilizó hipoclorito sódico como referencia. Los productos aplicados finalmente fueron los siguientes:

- Bactur 2x WP (Massó). Insecticida biológico utilizado fundamentalmente frente a lepidópteros en agricultura. Está constituido por esporas y toxinas de *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* al 32% (32 millones de U.I. por gramo).
- Vectobac 12AS (Kenogard). Insecticida biológico de aplicación autorizada para el control de larvas de mosquitos en conducciones de agua abiertas y en zonas húmedas (marismas, charcas, acequias, canales, balsas, lagunas). Está constituido por esporas y toxinas de *Bacillus thuringiensis var. israeliensis* serotipo H-14 al 1,2% (1,2 millones de U.I. por gramo).
- Abate 50 E (Cyanamid Ibérica SA) Insecticida utilizado en el control de larvas de quironómidos en cultivos y en charcas, lagunas, zonas pantanosas, etc. El producto activo es Temefos (50% p/v) (peso del producto activo respecto al volumen total del producto).
- Granet (Massó) Constituido por 0,2% p/p de piretrinas naturales (extracto de pelitre) y 2% p/p (peso del producto activo respecto al peso total del producto) de butóxido de piperonilo.
- Dimilin 25 WP (Crompton Uniroyal Chemical). El principio activo de este producto comercial es el Diflubenzuron al 25%.
- Lejía comercial. Se ha utilizado el hipoclorito sódico con una concentración de cloro activo de 54 g/l como producto de referencia.

5.1.2.2. Condiciones experimentales

Las pruebas iniciales se realizaron en los laboratorios de la Universidad de Zaragoza. Todas ellas se llevaron a cabo en recipientes con agua sin renovación, de modo que los resultados no son extrapolables a sistemas con agua corriente, pero sirven para descartar los productos que incluso en estas condiciones de alta concentración y sin renovación de agua no fueron capaces de dar resultados satisfactorios.

Una vez aclimatadas las muestras de mejillón cebra en unos vasos de precipitados de vidrio con 600 ml de agua y oxigenación permanente (foto 21), se añadieron los distintos productos a los respectivos recipientes experimentales. El tratamiento se mantuvo 24 horas, tras las cuales se procedió a cambiar los vasos de precipitados por otros que contenían agua limpia sin producto, convenientemente identificados para reconocer el tipo de tratamiento recibido. La valoración de la mortalidad se realizó a los 7 días postratamiento.

Los ensayos se llevaron a cabo en simultáneo bajo dos condiciones de temperatura, a 10°C y 25°C respectivamente, mediante estufas de cultivo. Estas dos temperaturas son representativas del intervalo térmico del agua en el tramo inferior del río Ebro, del que procedían las muestras de mejillón cebra tratadas. Los ejemplares se seleccionaron sin defectos externos aparentes en las valvas y se clasificaron en tres categorías por tamaños, de 0-1cm, 1-2cm y > 2 cm.

Además de las dos temperaturas experimentales, se aplicaron distintas concentraciones de cada producto (tabla 19) con el fin de determinar sus concentraciones óptimas; esto es, aquellas con las que se obtenía una mortalidad superior al 95%.

A partir de los resultados obtenidos en laboratorio, se seleccionaron solamente tres productos: Vectobac, Abate y Bactur, con los que se inició una segunda fase para probar su eficiencia en un sistema de agua no estancada. Esta segunda fase se desarrolló durante el mes de Septiembre de 2004 en el laboratorio de Endesa (CEIDE), en Riba-roja. No hubo en este caso control de temperatura y 7 días después de aplicar cada producto, se realizó el estudio de mortalidad entre los mejillones tratados y los no tratados (control).

Las pruebas en Riba-roja se realizaron bajo dos situaciones distintas, con el fin de acotar la eficacia de los productos aplicados. En un caso, se interrumpió la entrada y salida de agua en el momento de aplicación de los productos (durante 15 minutos cuando el producto era líquido y durante 30 minutos cuando era en polvo), volviendo a restituirse el flujo de agua transcurrido dicho tiempo.

En el segundo caso, no se interrumpió el flujo de agua durante la aplicación de los productos. En el caso de la presentación en polvo (Bactur), se disolvió previamente a razón de 60-70 g/l y después se añadió a la pileta de ensayo, consiguiendo una mejor difusión desde el principio.



Foto 21. Tres imágenes de la preparación de los tratamientos frente a mejillón cebra en la Facultad de Veterinaria de Zaragoza.

5.1.2.3.- Resultados y conclusiones

A continuación se describen los resultados obtenidos en el conjunto de ensayos realizados (tabla 19).

Tabla 19. Resultados de las diferentes pruebas realizadas. En negrita se indica la mínima concentración necesaria para una eficiencia superior al 95% de mortalidad. Las condiciones aplicadas a todas las pruebas reflejadas en la tabla fueron las siguientes: Recipientes de vidrio, con oxigenación

PRODUCTO	CONCENTRACIÓN	NÚMERO REPLICAS	MORTALIDAD				
			MEJILLONES MUERTOS/MEJILLONES TOTALES				
			0-1 cm	1-2 cm	>2 cm	TOTAL	%
Bactur	0,375 g/l	2	9/10	24/30	10/10	43/50	86
Bactur	0,600 g/l	1	5/5	12/15	5/5	22/25	88
Bactur	0,750 g/l	2	10/10	29/30	10/10	49/50	98
Vectobac	10 ml/l	1	1/5	13/15	4/5	18/25	72
Vectobac	15ml/l	1	3/5	7/15	3/5	13/25	52
Vectobac	20 ml/l	1	5/5	8/15	2/5	15/25	60
Vectobac	25 ml/l	2	10/10	30/30	10/10	50/50	100
Vectobac	50 ml/l	1	5/5	15/15	5/5	25/25	100
Granet	0,625 g/l	1	0/5	2/15	1/5	3/25	12
Granet	1,25 g/l	1	3/5	5/15	1/5	9/25	36
Granet	2 g/l	1	1/5	5/15	1/5	7/25	28
Granet	2,7 g/l	1	3/5	11/15	5/5	19/25	76
Granet	5 g/l	1	2/5	12/15	2/5	16/25	64
Granet	20 g/l	1	5/5	15/15	5/5	25/25	100
Lejía	1 ml/l	1	1/5	0/15	1/5	2/25	8
Lejía	2,5 ml/l	1	5/5	14/15	2/5	21/25	84
Lejía	5 ml/l	1	5/5	15/15	5/5	25/25	100
Lejía	10 ml/l	1	5/5	15/15	5/5	25/25	100
Lejía	25 ml/l	1	5/5	15/15	5/5	25/25	100
Abate	0,25 ml/l	1	5/5	3/15	0/5	8/25	32
Abate	0,5 ml/l	1	5/5	15/15	5/5	25/25	100
Abate	1 ml/l	1	5/5	17/17	5/5	27/27	100
Abate	5 ml/l	1	5/5	17/17	5/5	27/27	100
Abate	10 ml/l	1	5/5	17/17	5/5	27/27	100
Dimilin	1 g/l	1	2/5	1/16	0/5	3/26	12
Dimilin	2 g/l	1	4/5	1/18	0/5	5/28	18
Dimilin	5 g/l	2	0/10	0/32	0/10	0/52	0
Dimilin	10 g/l	1	0/5	0/15	2/5	2/25	8
Control		10				20/253	8

A la vista de los resultados obtenidos, hay dos productos que pueden descartarse en su aplicación para el control del mejillón cebra. El primero es Dimilin, que no consigue acabar con el mejillón cebra, ni siquiera aplicando concentraciones muy altas; el otro es Granet, que si bien es eficaz, requiere dosis muy elevadas. En la tabla 21, se observa también una

posible interferencia en las pruebas realizadas en el laboratorio de Ribarroja, si se atiende a la alta mortalidad observada en los lotes de control, no sometidos a ningún tipo de tratamiento. La razón de esta alta mortalidad en los lotes de control es desconocida y limita en cierto modo, la validez de los resultados, pero sólo para los productos de baja eficacia.

En la figura 15 se muestra la relación entre la eficacia y el coste de aplicación mediante la representación de la cantidad de euros que cuesta el tratamiento con cada producto para obtener la misma eficacia que un euro del tratamiento que ha resultado más económico: el realizado con lejía comercial.

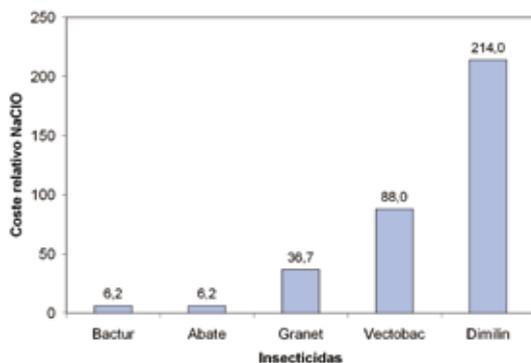


Figura 15. Comparativa de los productos usados en unidades equivalentes a un euro de NaClO, para una misma eficacia del 100%. El Dimilin se ha considerado a la mayor concentración ensayada (10 g/l) a pesar de no haber mostrado eficacia.

Dimilin y Granet presentan una eficacia reducida y un coste alto, especialmente el primero. Vectobac, tiene también un coste muy alto y su única característica interesante es que es un producto autorizado para su uso en aguas libres, en el control de larvas de mosquito.

Con estos resultados, en septiembre de 2004 se realizó una segunda fase de ensayos, esta vez en el laboratorio de Riba-roja, con los tres productos que mejores resultados habían demostrado en las primeras pruebas: Bactur, Abate y Vectobac aplicados ya a sistemas con flujo continuo de agua, primero con interrupción del flujo en el momento de la dosificación (prueba 1ª) y después sin interrupción (prueba 2ª) de acuerdo con las condiciones experimentales ya descritas.

Se aplicaron dosis con la misma concentración de producto que la de la tabla 19 (1ª prueba) y al doble de dicha concentración (2ª prueba), excepto para el caso de Vectobac que debido a su alta relación coste-eficacia, se decidió no emplear más que una dosis simple. Los resultados se recogen en la tabla 20.

Tras la primera prueba se eliminó el Vectobac y se realizó la segunda prueba, mejorando la disolución de Bactur. Los resultados se recogen en la tabla 21.

Tabla 20. Resultados de la primera prueba dentro de la segunda fase de ensayos.

PRODUCTO	CONCENTRACIÓN	MEJILLONES MUERTOS	MEJILLONES TOTALES	MORTALIDAD (%)
Vectobac	25 ml/l	14	99	14,1
Bactur	0,75 g/l	26	100	26,0
Bactur	1,5 g/l	27	100	27,0
Abate	0,5 ml/l	72	100	72,0
Abate	1 ml/l	100	100	100,0
Lejía	5 ml/l	96	100	96,0
Lejía	10 ml/l	93	99	93,9
Control		12	98	12,2

Tabla 21. Resultados de la segunda prueba dentro de la segunda fase de ensayos.

PRODUCTO	CONCENTRACIÓN	MEJILLONES MUERTOS	MEJILLONES TOTALES	MORTALIDAD (%)
Bactur	0,75 g/l	15	75	20,0
Bactur	1,5 g/l	31	75	41,3
Abate	0,5 ml/l	46	76	60,5
Abate	1 ml/l	70	73	95,9
Lejía	5 ml/l	73	76	96,1
Lejía	10 ml/l	73	75	97,3
Control		17	75	22,7

Tras las dos pruebas realizadas en agua corriente (tablas 20 y 21) se observa que la eficacia de Bactur descendió de forma significativa y que la predisolución del producto para facilitar su dispersión, no mejoraba los resultados. El Abate en cambio, perdió eficacia para una concentración de 0,5 ml/l, pero la mantuvo muy alta a una concentración de 1 ml/l muestra, similar a la de 5 ml/l de hipoclorito sódico.

En síntesis y después de los resultados obtenidos con todos los ensayos, cabe concluir que dos de los productos utilizados (Dimilin y Granet) son totalmente inadecuados para el control del mejillón cebra. Bactur y Vectobac tienen a su favor el hecho de ser insecticidas biológicos, aunque su eficacia se ha mostrado sólo bajo condiciones controladas. El Vectobac tiene un coste más elevado, pero su aplicación en medios

acuosos está ya autorizada para el control de larvas de mosquitos. Abate ha mostrado una buena eficacia en el control del mejillón cebra, tanto en aguas estancadas como corrientes, alcanzando una efectividad similar a la del hipoclorito sódico, pero con un coste unas 6 veces superior. Aunque no es un insecticida biológico también está autorizado su empleo en sistemas acuáticos, para combatir la presencia de larvas de mosquitos.

En cuanto a las pruebas realizadas en laboratorio, con 10°C de temperatura (tabla 22), los resultados mostraron unas eficacias muy bajas, incluso utilizando concentraciones muy superiores a las adoptadas en el experimento a 25°C. A 10°C solo el Abate, con una concentración de 1 ml/l, se mostró efectiva.

Tabla 22. Resultados de las diferentes pruebas realizadas. En negrita se indica la mínima concentración necesaria para una eficiencia superior al 95% de mortalidad. Las condiciones aplicadas a todas las pruebas reflejadas en la tabla fueron las siguientes: Recipientes de vidrio, con oxigenación continua, a 10°C y renovación del agua a las 24 horas postratamiento. Mortalidad determinada a los 7 días postratamiento. Lotes de 25 mejillones aproximadamente.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE INSECTICIDAS REALIZADAS EN ZARAGOZA							
PRODUCTO	CONCENTRACIÓN	NÚMERO REPLICAS	MORTALIDAD				
			MEJILLONES MUERTOS/MEJILLONES TOTALES				
			0-1 cm	1-2 cm	>2 cm	TOTAL	%
Bactur	0,750 g/l	2	0/4	0/30	0/20	0/54	0%
Bactur	1,500 g/l	1	1/2	1/15	0/10	2/27	7,4%
Vectobac	25 ml/l	1	0/2	0/15	1/10	1/27	3,7%
Vectobac	50 ml/l	1	0/4	0/15	0/10	0/29	0%
Granet	20 g/l	1	0/2	4/15	0/10	4/27	15%
Granet	40 g/l	1	0/2	1/15	0/10	1/27	3,7%
Lejía	5 ml/l	2	1/4	13/30	10/20	24/54	44%
Lejía	10 ml/l	1	2/3	10/15	7/10	19/28	68%
Lejía	15 ml/l	2	2/4	20/30	12/20	34/54	63%
Lejía	20 ml/l	1	1/2	10/15	6/10	17/27	63%
Lejía	25 ml/l	1	1/1	8/14	8/10	17/25	68%
Abate	0,5 ml/l	2	2/4	5/30	3/20	10/54	19%
Abate	0,750 ml/l	1	1/3	3/16	0/10	4/29	14%
Abate	1,0 ml/l	1	2/2	15/15	10/10	27/27	100%
Dimilin	25 g/l	1	2/4	12/30	11/20	25/54	46%
Control		10				0/107	0%

5.1.3. ESTUDIO DE BIOACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES

Aprovechando las preparaciones histológicas de mejillón cebra, necesarias para los estudios microbiológicos y parasitológicos, la Universidad de Zaragoza realizó un estudio de la presencia de contaminantes (metales y productos orgánicos recalcitrantes) en mejillones cebra cogidos en el río Ebro a lo largo del año 2004.

5.1.3.1. Obtención de muestras

Las muestras fueron obtenidas en cuatro campañas, de acuerdo con las siguientes indicaciones:

- 1ª Campaña: Se obtuvo una única muestra de mejillones en enero de 2004, en la sección S05 (cabestrante; figura 15). Se analizó en cáscara y pulpa.
- 2ª Campaña: Se obtuvo una única muestra tomada en julio de 2004, correspondiente a mejillones recogidos en el embalse de Riba-roja, cerca de la presa, a profundidades entre 5 y 10 m de profundidad (tabla 17).
- 3ª Campaña: Se obtuvieron cuatro muestras en noviembre de 2004, desde distintas secciones transversales del río (figura 15):
 - Sección S01 cerca de la presa de Riba-roja y frente al laboratorio del CEIDE de Endesa.
 - Sección S04 en el embalse de Flix, a la altura del embarcadero de Riba-roja.
 - Sección S11, en el meandro de Flix, aproximadamente 1 km aguas abajo de la presa de Flix.
 - Sección S14, en el meandro de Flix, cerca del paso de barca

Las cuatro muestras se mezclaron dos a dos (S01+S04 y S11+S14) para su análisis posterior.

- 4ª Campaña: Se obtuvieron tres muestras en diciembre de 2004, en distintas secciones transversales del río:
 - Sección S01 cerca de la presa de Riba-roja y frente al laboratorio del CEIDE de Endesa.
 - Sección S04 en el embalse de Flix, a la altura del embarcadero de Riba-roja.

- Sección S11, en el meandro de Flix, aproximadamente 1 km aguas abajo de la presa de Flix.

Estas tres muestras se analizaron individualmente.

5.1.3.2. Tratamiento de las muestras

Para la determinación de metales pesados, las conchas de los mejillones se trituraron con mortero y las pulpas con una trituradora eléctrica, conservando ambos productos resultantes en refrigeración. Con posterioridad, las muestras se sometieron a las siguientes pruebas y tratamientos previos:

1. Determinación de humedad a 110°C.
2. Determinación del contenido orgánico por calcinación a 550°C. Para confirmar que en este proceso no se habían perdido metales pesados, se sometió otra muestra a calcinación (550°C) a la que previamente se le había añadido al menos 1 gramo de carbonato de calcio y 1 gramo de carbonato de magnesio. Este último proceso tiene como finalidad evitar la pérdida de metales que sean volátiles, por ejemplo Sb, Pb, Cd y Hg (antimonio, plomo, cadmio y plomo).
3. El producto de la calcinación se disolvía en ácido nítrico (1:1), quedando un residuo insoluble, más o menos incoloro y se lleva a volumen conocido y exacto (por ejemplo 50 ml, mediante un matraz aforado y adición de agua).
4. En la solución ácida preparada se llevan a cabo las determinaciones de los metales pesados, refiriendo los resultados a mg/Kg de materia fresca, materia seca y cenizas.

En cuanto a la detección de contaminantes orgánicos recalcitrantes, se realizó por medio de técnicas de cromatografía específicas para este tipo de determinaciones analíticas.

5.1.3.3. Resultados y conclusiones

Las tablas 23 y 24 presentan los resultados obtenidos sobre bioacumulación. Dado que el número de muestras tratadas es reducido, no es posible extraer conclusiones precisas. En la actualidad se está llevando a cabo un estudio más sistemático e intensivo sobre la acumulación, de metales pesados y productos orgánicos, que deberá permitir obtener resultados más concluyentes. En cualquier caso, del estudio preliminar realizado que ahora se presenta, cabe extraer algunas indicaciones generales.

Tabla 23. Resultados de la determinación de metales en ejemplares de mejillón cebra procedentes del río Ebro (s.b.s. = sobre base seca).

CAMPAÑAS		EN-04	JL-04	NO-04		DI-04		
Metal Pesado	Unidad	S05	Embalse Riba-roja	S01+S04	S11+S14	S01	S04	S11
		s.b.s.	s.b.s.	s.b.s.	s.b.s.	s.b.s.	s.b.s.	s.b.s.
Zn	mg/Kg	392,06	259,48	154,71	243,86	424,34	421,34	536,41
Cd	mg/Kg	<0,0001	0,13	1,92	4,54	0,87	0,68	4,95
Pb	mg/Kg	1.113,35	12,24	290,94	473,24	34,93	43,77	75,51
Cu	mg/Kg	40,23	69,69	142,08	200,63	45,23	68,47	104,16
Ni	mg/Kg	125,85	94,66	17,34	30,90	16,86	26,91	23,03
Fe	g/Kg	125,00	60,72	14,73	10,57	2,06	1,63	2,59
Al	g/Kg	13,85	0,82	3,74	38,11	279,01	101,45	135,86
Sn	mg/Kg	65,70	70,64	285,30	806,08	106,86	121,97	234,14
Se	mg/Kg	236,53	1,27	1,12	1,37	0,65	1,17	0,83
Hg	mg/Kg	<0,0001	0,09	0,33	0,42	1,49	1,72	3,37
Cr total	mg/Kg	8,20	17,62	0,46	4,28	6,87	1,87	2,49

Tabla 24. Resultados obtenidos en el análisis de pesticidas y de bifenilos policlorados (PCB) en el conjunto de campañas y puntos de muestreo (n.d.: no detectable).

CONCENTRACIÓN (ppb)						
	EN-04	JL-04	NO-04		DI-04	
PESTICIDAS	S05	Embalse Riba-roja	S01+S04	S11+S14	S01	S04
Aldrín	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cis-clordano	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Trans-clordano	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4,4' - DDD	n.d.	3,0	n.d.	3,0	2,0	3,0
4,4' - DDE	4,0	n.d.	2,0	n.d.	n.d.	n.d.
4,4' - DDT	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dieldrin	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Alfa-endosulfan	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Beta-endosulfan	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Endosulfan sulfato	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Endrín	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Endrín aldehído	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Endrín cetona	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Alfa-HCH	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Beta-HCH	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Gamma-HCH	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Delta-HCH	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Heptaclor	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Heptaclor epóxido	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Metoxiclor	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PCB						
PCB-28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PDB-52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PCB-101	n.d.	n.d.	n.d.	22,0	n.d.	8,0
PCB-138	2,0	n.d.	1,0	16,0	n.d.	3,0
PCB-153	n.d.	n.d.	n.d.	6,0	n.d.	8,0
PCB-180	1,0	n.d.	1,0	20,0	n.d.	19,0

Una primera conclusión de los análisis realizados es que las valvas del mejillón cebra prácticamente no acumulan metales pesados.

Sobre la distribución de los puntos de muestreo, cabe indicar que las secciones S01, S04 y S05 están situadas aguas arriba del depósito de sedimentos contaminados existente en el embalse de Flix, mientras que las secciones S11 y S14 se encuentran río abajo.

De los resultados obtenidos parece desprenderse que entre los metales pesados analizados, los que se acumulan con mayores concentraciones medias en el mejillón cebra son, por orden decreciente, los siguientes: aluminio, hierro, cinc, plomo, estaño, cobre, níquel, selenio, cromo, cadmio y mercurio. Las concentraciones de estos metales son muy variables a lo largo de los puntos y las campañas de muestreo, y si bien no se observa ningún patrón claro de distribución, las concentraciones más bajas en general se encuentran en el embalse de Riba-roja.

En cuanto a los pesticidas y bifenilos policlorados, los que se han presentado acumulados en mayores concentraciones medias han sido respectivamente, el 4,4'-DDD y el 4,4'-DDE por un lado, y los PCB-180, 101, 138 y 153 por otro. Las concentraciones más bajas de estos productos se registraron en el embalse de Riba-roja y en la zona de cola del embalse de Flix.

Se desconoce el nivel de incidencia (toxicidad) que para la especie representan las concentraciones acumuladas de metales y compuestos orgánicos encontradas.

6. MÉTODOS DE GESTIÓN HIDRÁULICA

6.1. ANTECEDENTES

A diferencia de los métodos y tratamientos expuestos hasta el momento, la aplicación de estrategias de gestión hidráulica en el control del mejillón cebra, no ha sido objeto de ensayos sistemáticos, de modo que lo que se presenta a continuación no es más que una serie de datos e información, tanto de origen bibliográfico, como obtenida indirectamente a partir de los distintos trabajos y observaciones realizadas sobre el mejillón cebra en el tramo inferior del río Ebro a lo largo de los últimos años.

Estos datos apuntan de forma clara a que una gestión hidráulica bien planificada desde el sistema de embalses de Mequinenza, Riba-roja y Flix, podría realmente tener una efectividad notable en el control de la especie invasora. Hay que tener en cuenta que *Dreissena polymorpha* lleva en España 5 ó 6 años (2 ó 3 con problemas tangibles) frente a los más de 100 años en algunos países europeos (y no menos de 40 años en casi todos) o los ya más

de 15 años de residencia en Estados Unidos. Esto significa que el grado de implementación (expansión e integración) de la especie en los ecosistemas acuáticos peninsulares donde reside, debe catalogarse aún de reducido.

Por otro lado, en Estados Unidos y Europa, el mejillón cebra entró en grandes masas y cursos de agua. Los Grandes Lagos de Norteamérica (Superior, Hurón, Michigan, Ontario y Eire) representan un volumen del orden de unos 25.000 Km³, con una superficie de lámina de agua de unos 250.000 Km² (Wetzel, 1981) y el caudal medio del principal río norteamericano invadido por *Dreissena*, el Mississippi, con 3.779 km de longitud, es de unos 17.700 m³/s. Estas magnitudes son casi incommensurables al lado de los 1,6 Km³ de embalses que están invadidos por la especie en España (Mequinenza, Riba-roja y Flix en el río Ebro, y Sitjart en el río Mijares) y los 70-90 km de cauce fluvial que también pueden estarlo.

Cabe añadir que un gran lago y un gran río son sistemas muy poco gestionables en comparación con pequeños y medianos embalses y ríos regulados.

Queda aún otro aspecto a tener en cuenta a la hora de plantearse actuaciones en la línea de la gestión hidráulica. Se trata de la mediterraneidad; es decir la torrencialidad inherente a los ríos ibéricos, incluido el Ebro, capaces de padecer estiajes de 20 m³/s en agosto y crecidas ordinarias (de bajo periodo de retorno) de más de 2.000 m³/s, con una separación entre ambos eventos que en ocasiones no llega a unos meses. Esta inestabilidad no favorece más que a las especies que la tienen internalizada en sus ciclos de desarrollo o sus capacidades biológicas; es decir a las especies autóctonas.

De hecho *Dreissena* ha encontrado en el río Ebro un excelente ambiente de desarrollo, entre otras cosas, por la baja hidraulicidad de los últimos años que ha derivado en tiempos de residencia muy altos del agua en los embalses y caudales muy regulados en el cauce. Sin embargo hay que recordar que la primera y efímera cita de mejillón cebra en el Estado Español fue en un río mediterráneo (el Llobregat), unos meses antes de una crecida y, en el caso del Ebro, la reducción de la población observada en el 2003 con respecto al año anterior, tiene que ver por lo menos en parte, con las crecidas ocurridas durante finales de 2002 y la primavera de 2003, sin duda.

6.2. PLANIFICACIÓN

6.3. Condicionantes de partida

Las posibilidades de gestión hidráulica aplicada al control y eventual erradicación del mejillón cebra en un sistema embalse-río, como el caso del bajo Ebro, se concretan en dos actuaciones:

- Implantación de descensos programados del nivel de embalse, hasta un posible vaciado total.

- Realización de sueltas controladas (crecidas) río abajo, adoptando diferentes variantes de hidrograma.

Estas dos opciones pueden aplicarse de forma coordinada, dando lugar a una cierta sinergia positiva sobre el control de las poblaciones de mejillón cebra. En cualquier caso, a la hora de planificar este tipo de actuaciones hay que disponer primero de una serie de información imprescindible, tanto sobre la distribución de la especie como de los aspectos y componentes del medio, entendido en sentido amplio, que pueden verse afectados y que por lo tanto hay que tratar bien sea desde la prevención, la corrección o la compensación, de tales efectos.

Sin pretender exponer de forma exhaustiva, los aspectos clave de la planificación de una actuación de gestión hidráulica sobre el mejillón cebra, las directrices y criterios a tener en cuenta, pueden establecerse en los siguientes términos:

- **Distribución de la especie en el vaso del embalse:** En un mismo lugar, las densidades no se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Los cambios pueden ser muy significativos dentro de un mismo año, así como de un año para otro. Por ello, antes de iniciar cualquier actuación, en primer lugar es necesario conocer la distribución de la especie en profundidad.

La figura 16 muestra la notable variación encontrada en la distribución vertical de la especie en el vaso del embalse de Riba-roja, entre el 2003 y el 2004. Los resultados mostrados para ambos años, se obtuvieron siguiendo una metodología de muestreo idéntica y obteniendo las muestras de zonas muy próximas entre sí, uno y otro año, centradas en los primeros 500 metros aguas arriba de la presa de Riba-roja.

Tal y como indica la figura 16, en el año 2004, el mejillón cebra tendió a concentrarse hacia menores profundidades que en el año 2003. Así, si en este último año el 50% de la población se encontraba entre 0 y 9 m, en el 2004 lo hacía en tan sólo 4-5 m. El interés de este tipo de datos es obvio ya que permite estimar cual será la eficacia de cualquier eventual descenso de nivel de embalse sobre las poblaciones de mejillón cebra.

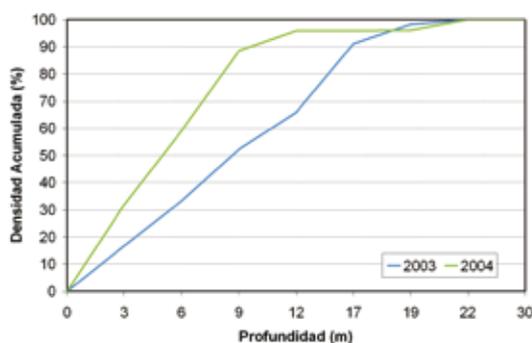


Figura 16. Densidades acumuladas de mejillón cebra en el vaso del embalse de Riba-roja, en función de la profundidad. Datos correspondientes a los años 2003 y 2004.

En el 2003, bajando 6 m y manteniendo ese nivel unos días, se hubiera conseguido una mortalidad alrededor del 30% de la población; en el 2004, con la misma operación, la mortalidad hubiera sido del orden del doble.

- **Ciclo biológico de la especie:** El mejillón cebra tiene un ciclo biológico, con una fase planctónica (larvas *veligeras*) y otra bentónica (juveniles y adultos). Las actuaciones de gestión hidráulica han de intentar causar los mayores estragos posibles en ambas fases. Eliminados ejemplares juveniles y adultos se logra un descaste de los reproductores mientras que actuando sobre las larvas se reduce la dispersión y progreso de la especie.

La reproducción del mejillón cebra se activa (liberación de gametos) cuando la temperatura del agua está por encima de 13-15°C según Jenner *et al.*, 1998) o de 10-12°C según otros autores, con un máximo entre 15 y 17°C (O'Neill, 1996). La viabilidad de los óvulos y el esperma, parece ser inversamente proporcional a la temperatura del agua. A 12°C los óvulos son viables unas 5 h y el esperma unas 22 h, mientras que a 24°C óvulos y esperma no duran más que unas 2 h (O'Neill, 1996).

La reproducción se interrumpe a temperaturas superiores a los 28°C, pero se reinicia, cuando se recuperan valores inferiores. Cabe indicar que, a pesar de estas referencias, se han encontrado larvas en pleno invierno en aguas muy frías, por debajo de los 10°C (Grandes Lagos; O'Neill, 1996). Parece ser que la fijación sobre el sustrato no es continua sino que tiene lugar en épocas concretas, que no suelen ser más de tres por año, en el mejor de los casos (Jenner *et al.*, 1998).

A lo largo del año aparecen también dos o extraordinariamente tres, periodos de máxima intensidad de reproducción. El primero es el más importante y en él se liberan la mayor parte de los gametos; suele ser entre mayo y julio, según el régimen térmico y se produce a partir de los ejemplares reproductores fijados el año anterior.

Algunas larvas del año que hayan conseguido fijarse antes de medio verano, pueden alcanzar la madurez sexual en otoño y determinar un máximo de reproducción secundario, de menor intensidad que el de primavera, entre finales de agosto y octubre, también según las temperaturas. Normalmente, la emisión de gametos se interrumpe hacia finales de septiembre o mediados de octubre, iniciándose la gametogénesis para el año siguiente.

Es importante destacar la dependencia que tiene el proceso reproductivo, del régimen térmico del agua. Así, en lugares cálidos, la emisión de gametos puede prolongarse hasta 5 meses. También puede ocurrir que, en una masa de agua con zonas someras que pueden calentarse rápido en primavera (>12°C), pueda iniciarse en ellas, la producción de larvas y pasar estas al cuerpo principal de agua, a pesar de que este no alcance aún los citados 12°C.

En el caso del embalse de Riba-roja los datos de temperatura disponibles sobre la columna de agua en las inmediaciones de la presa, indican que, en efecto se dan condiciones para un máximo reproductor de primavera (alrededor de junio) y otro de otoño, alrededor de noviembre. Es interesante tener en cuenta que la distorsión térmica que producen los embalses, con descarga hipolimnética, río abajo (en Riba-roja con temperaturas hasta 4°C más frías que las esperables durante toda la época más cálida del año), sin duda debe retrasar la reproducción de las poblaciones de mejillón cebra del tramo de río regulado.

Claudi y Mackie (1994) sugieren que para reconocer con precisión el ciclo biológico de la especie, es recomendable disponer de una base de datos históricos de entre 2 y 5 años.

- **Condiciones meteorológicas:** Dado que los descensos del nivel de agua embalsado persiguen la muerte del mayor número posible de ejemplares fuera del agua, las condiciones meteorológicas imperantes, de temperatura y humedad ambiental, juegan un papel relevante, al determinar el tiempo necesario para conseguir la total deshidratación. La planificación de la época del año para llevar a cabo el descenso de nivel de embalse resulta por tanto esencial.

Aunque la tolerancia del mejillón cebra fuera del agua a las temperaturas bajas (< 0°C) es muy inferior a las temperaturas altas, en la zona del bajo Ebro, la probabilidad de poder pronosticar con acierto unos pocos días al año con temperaturas negativas, es escasa. Resulta mucho más asequible planificar para provocar la desecación de los ejemplares fuera del agua en pleno verano, con una muy alta probabilidad de conseguir varios días consecutivos con temperaturas mínimas no inferiores a los 25°C.

- **Condicionantes socioeconómicos:** En embalses como Riba-roja, con una muy alta actividad turístico-recreativa (pesca, navegación, etc), con un importante salto hidroeléctrico a pie de presa y con numerosas captaciones de agua superficiales para abastecimientos urbanos y sobre todo riegos, la realización de descensos pronunciados del nivel de agua embalsado, comporta sin duda efectos significativos sobre cada uno de los usos socioeconómicos citados.

Lo mismo ocurre con las sueltas de caudales que se puedan establecer para el control de las poblaciones de mejillón cebra río abajo, con probables repercusiones también significativas sobre los usos del agua y los usuarios del río, aguas abajo (servidumbres, etc.).

En la medida de lo posible toda planificación de un descenso del nivel de embalse o de sueltas controladas de caudales río abajo, debe tener en cuenta el calendario de mínima afectación posible al conjunto de actividades socioeconómicas asociadas al sistema embalse-río, estableciendo si es necesario, las correspondientes medidas compensatorias para el caso de afectaciones inevitables.



Foto 22. Pescadores en la orilla derecha del embalse de Riba-roja.

Cabe indicar que los embalses de Mequinenza, Riba-roja y Flix son un punto de atracción turística para la pesca del siluro (*Silurus glanis*) que se introdujo ilegalmente en 1974. Respecto a la pesca, el embalse de Riba-roja está catalogado de régimen especial y es escenario deportivo de pesca, según la orden de 17 de enero de 1996 de la Diputación General de Aragón. Además, en el embalse se practica la navegación y existen algunas instalaciones de club náutico.

No es anecdótica la situación, de efectos socioeconómicos negativos, que puede tener el exponer a la desecación, una infinidad de ejemplares de mejillón cebra por un descenso de nivel de embalse. Los malos olores como consecuencia de la putrefacción están asegurados y el acceso al agua de las personas, muy limitado, bajo el riesgo de heridas por cortes, que pueden ser graves.

- **Efectos ecológicos:** Aunque sin duda la posibilidad de erradicar una especie invasora del tipo del mejillón cebra, compensa con creces cualquier efecto ecológico derivado del manejo de niveles de embalse y caudales de crecida, sobre otras especies y características ecológicas del medio, se hace necesario planificar cualquier actuación teniendo en cuenta también criterios de mínima afectación sobre los ambientes y las comunidades naturales asociadas al embalse y el río (humedales, peces autóctonos, aves acuáticas, moluscos autóctonos, etc.). En la cola del embalse de Riba-roja, en la confluencia de los ríos Segre y Cinca, se encuentra "l'Aiguabarreig Segre-Cinca", constituido como espacio natural protegido, representativo de humedales y ambientes limnófilos en general, propios de los tramos finales de grandes ríos mediterráneos. Por otra parte, el litoral del embalse es utilizado como zona de nidificación y reproducción tanto para la escasa fauna ictícola autóctona que aún queda en el embalse como para la avifauna y posiblemente algunas especies de anfibios.

La pérdida de moluscos bivalvos autóctonos, por ejemplo Uniónidos, que se pudiera originar a consecuencia del descenso del nivel del embalse, es un efecto ecológico a considerar, a pesar de que parece ser que los uniónidos son algo más resistentes a la desecación que el mejillón cebra (Howells *et al.*, (2000).



Foto 23. Ejemplares de Siluros (*Silurus glanis*) capturados en el Término Municipal de Flix.

Un efecto ecológico positivo de la gestión hidráulica aplicada a las poblaciones de mejillón cebra residentes en el río, mediante sueltas o crecidas controladas, es el control simultáneo que se obtiene de la proliferación de macrófitos en el tramo inferior del Ebro y que constituye otro de los importantes problemas ecológicos presentes. En sentido contrario, una crecida aunque sea controlada, según su magnitud, podría movilizar parte de los sedimentos tóxicos acumulados en el embalse de Flix. Esa es la opinión de quienes piensan que por el río Ebro, a lo largo de los más de 100 años de formación del depósito de sedimentos tóxicos, no han pasado crecidas naturales importantes.

En el caso del embalse de Riba-roja, un descenso de nivel dentro de un orden, entre 8-10 m, no tendría porque generar cambios en la calidad de las aguas, aunque su enturbiamiento temporal sería inevitable, como consecuencia del lavado de los taludes del vaso de embalse al descubierto, por parte de las aguas entrantes, y de lixiviación desde esos mismos taludes. También podrían darse fenómenos de descompresión del sedimento de fondo, con liberación de gases (mayoritariamente nitrógeno). La concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua, podría incluso aumentar, en el caso de que la maniobra se llevara a cabo en verano y que la materia orgánica movilizada desde los sedimentos (por lixiviación de taludes y arrastres), no fuera excesiva.

En cualquier caso, la calidad trófica del embalse mejoraría de forma significativa dado que la mayor parte de materia orgánica del sedimento y compuestos reducidos en general, se oxidarían en contacto con la atmósfera.

El inevitable enturbiamiento de las aguas embalsadas, reduciría transitoriamente la producción primaria en el embalse por limitación de la luz disponible, lo que redundaría en una menor disponibilidad de alimento para los ejemplares de mejillón cebra que permanecieran bajo el agua. Por otro lado, la presencia de materias en suspensión en el agua interferiría de forma directa en la alimentación de una especie filtradora como *Dreissena polymorpha*, con efectos negativos añadidos como puede ser

la abrasión, en zonas con flujo de agua, o el enterramiento al pie de taludes y hacia la zona de cola.

- **Aspectos legales:** La oscilación de los niveles de embalse, por encima de lo que se conoce como "nivel mínimo de explotación", no está sujeto a condicionantes legales como estudios de impacto ambiental, autorizaciones, etc, si bien en el caso de Riba-roja, dados los efectos ambientales que ocasionaría un descenso de cota de varios metros, en un embalse que habitualmente se mantiene a nivel prácticamente constante, harían recomendable la participación de todas las administraciones públicas competentes, con el fin de establecer las afectaciones de hecho, más que de derecho, que se pudieran dar sobre el medio natural y los usuarios del embalse y el río aguas abajo. Las crecidas controladas, si se mantienen en el rango de las máximas anuales más probables, tampoco están reguladas por ley, aunque si requieren en este caso autorización administrativa por parte del Organismo de Cuenca, la Confederación Hidrográfica del Ebro (C.H.E).

En el caso de un vaciado total del embalse, sí sería preceptivo someter la actuación a evaluación de impacto ambiental, de acuerdo con la normativa catalana vigente, dado que se afectaría a un espacio natural protegido de Cataluña: el "Aiguabarreig Segre-Cinca".

6.4. OBJETIVO

El objetivo único de planificar una actuación de gestión hidráulica en un embalse, para controlar la población de mejillón cebra, es acabar con el mayor número posible de ejemplares, por desecación en contacto directo con la atmósfera.

Se deduce por tanto, que la época del año seleccionada para llevar a cabo el descenso de nivel del embalse, resulta un aspecto clave de la actuación al determinar ni más ni menos que la duración del proceso de desecación y por tanto la eficacia y el coste de dicha actuación.

Se sabe que el mejillón cebra resiste varios días fuera del agua, en función de la temperatura y de la humedad ambiental. Sin embargo en condiciones naturales, como en el descenso de nivel de agua de un embalse, hay otros factores importantes a tener en cuenta, como por ejemplo, la pendiente del terreno y su permeabilidad, que afectarán a la capacidad de retención de agua y por tanto de humedad, en los taludes al descubierto, o bien la orientación con respecto al sol, que determinará el tiempo real de insolación. Finalmente el nivel de agregación que presenten las poblaciones de mejillón cebra, puede alargar de forma notable la vida a los ejemplares situados más hacia el interior.

En los trabajos realizados dentro del convenio Endesa-Universidad de Lleida (UdL), se llevaron a cabo ensayos de desecación, primero bajo condiciones

naturales extremas y después bajo condiciones controladas de laboratorio. Asimismo, la Confederación Hidrográfica del Ebro, aprovechando el bajo nivel de las aguas del embalse de Mequinenza, analizó la resistencia a la desecación de las poblaciones de mejillón cebra. Los resultados se muestran, de forma resumida, en la tabla 25.

De lo expuesto y a pesar de la limitada comparabilidad de las tres pruebas realizadas independientemente, cabe concluir la fuerte dependencia de los resultados, de las condiciones térmicas y grado de insolación de las poblaciones expuestas a desecación.

Aunque ciertamente puede pensarse que los resultados en laboratorio no son extrapolables a las condiciones naturales, lo cierto es que tampoco se desvían tanto y en todo caso, son más conservativos. Así, interpolando una temperatura de 15 °C en la serie de laboratorio, se obtiene que son necesarias unas 264 horas para obtener el 100% de mortalidad, cifra que en la realidad es muy inferior (160 h-215 h); es decir, en condiciones naturales y a temperaturas del orden de 15 °C, la especie parece antes posiblemente por el efecto desecante de la atmosfera, quizás también por las variaciones térmicas en torno a la media y no hay que descartar los efectos de una posible actividad microbiana patológica para la especie.

Visto que los resultados de laboratorio son moderadamente representativos de la realidad, e incluso algo más conservadores, parece que, si se descartan las actuaciones en la época más fría del año, una temperatura media diaria de 20 °C sería la mínima recomendable para seleccionar la época del año más adecuada en la que llevar a cabo un eventual descenso de nivel de embalses infectados (exposición durante unos 4 días). Con 25 °C de media, los resultados mejoran notablemente (poco más de 2 días) y con 30°C serían alrededor de un día el tiempo necesario para conseguir la máxima mortalidad, en teoría.

6.4.1. Oscilaciones de nivel de embalse

De acuerdo con todo lo expuesto, la planificación de la mejor época del año para llevar a cabo el descenso de nivel de embalse, debe centrarse con preferencia en las épocas más frías del año, al menos en aquellos lugares donde la predecibilidad de estas condiciones climáticas es alta. De esta forma se ataca al mejillón cebra con unas condiciones meteorológicas más eficaces y en un periodo de su ciclo de vida en el que se encuentra más débil. Si no es posible, hay que recurrir a los meses cálidos con temperaturas medias diarias iguales o superiores a los 20 °C.

Tabla 25. Resumen de los datos disponibles sobre resistencia del mejillón cebra a la desecación, a partir de los tres ensayos realizados en la zona de estudio. Todos los datos se refieren a muestras de mejillón cebra agregadas; es decir formadas por grupos de ejemplares, tal y como se presentan en condiciones naturales.

ENSAYO	TEMPERATURA MEDIA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	OBSERVACIONES
ENDESA-UdL	30,8 °C	30 horas	Pruebas realizadas por exposición de ejemplares agregados de mejillón cebra, a las condiciones ambientales de junio de 2003, depositados sobre una superficie de hormigón y pared metálica, fuera del agua y orientada al Sur. La temperatura a lo largo de las pruebas, osciló entre 23 °C (madrugada) y 44 °C (primeras horas de la tarde). La humedad se mantuvo entre el 19% y el 58%.
ENDESA-UdL	-15,0 °C 7,0 °C 20,0 °C 25,0 °C 30,0 °C 35,0 °C 40,0 °C	4 horas 528 horas 100 horas 53 horas 36 horas 24 horas 11 horas	Pruebas realizadas con ejemplares agregados de mejillón cebra, en laboratorio, bajo condiciones de temperatura constantes y humedad estabilizada alrededor de 45-55%, en el caso de los ensayos en la estufa de desecación. No se controló la humedad en las pruebas de congelación.
CHE	14,9 °C 15,2 °C 15,3 °C 15,7 °C 15,8 °C 16,6 °C	168 horas 215 horas 214 horas 164 horas 214 horas 160 horas	Pruebas llevadas a cabo por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), aprovechando el bajo nivel de embalse de Mequinenza, para estudiar la resistencia a la desecación de parcelas de muestra con distintos tipos de sustratos, orientaciones y pendientes. Los resultados a 15,7 °C y 16,6 °C, se refieren a parcelas con orientación Sur.

Sin embargo esta planificación debe tener en cuenta también, además de aspectos socioeconómicos (usos del embalse, servidumbres, etc.) y por supuesto legales (normativos), el ciclo de desarrollo de la especie, que en el tramo inferior del Ebro, según los resultados preliminares extraídos del seguimiento larvario realizado desde marzo del 2003, parecen indicar que presenta un máximo de emisión de larvas alrededor de junio. Lo ideal es realizar el descenso de nivel, antes de que se produzca dicha emisión de larvas, para evitar el reclutamiento del año en curso. Unos meses de abril o mayo cálidos, con temperaturas máximas diarias por encima de los 20°C serían posiblemente adecuados. En embalses próximos al mar, otra opción es hacerlo inmediatamente después del periodo de máxima reproducción (junio), que es cuando los ejemplares están más debilitados y quizá podrían perecer con menos tiempo de exposición (4-6 días); en este caso el baciado debería promoverse forzosamente por superficie (aliviaderos) aprovechando para desalojar del embalse, la mayor cantidad posible de larvas ya generadas y transportarlas hasta aguas salobres (> 5‰ de salinidad) donde perecen irremediamente.

El periodo de tiempo a mantener el embalse bajo, debería establecerse en al menos 6-7 días (para medias diarias de 20°C). Una fumigación de la franja de talud de embalse más próxima al nivel de agua, por ejemplo con una disolución de lejía comercial (50-54 g Cl₂/l) al 5% u otro producto poco agresivo, aseguraría la mortalidad de las poblaciones con mejores condiciones ambientales de resistencia a la desecación. Si la fumigación se realiza correctamente, la cantidad de producto aplicado será pequeña y, en principio, debería poderse diluir sin problemas en la masa de agua embalsada. Además en su mayor parte, el producto quedaría sobre el talud de embalse y en parte se inactivaría de forma rápida y natural al aire libre.

En cuanto a la profundidad hasta la que debería llegar en el descenso de nivel, es la distribución vertical de la especie en cada masa de agua la que la determina. Por ejemplo, en el caso del embalse de Riba-roja, atendiendo a la distribución de la especie en 2003, habría que bajar 17 m el nivel máximo ordinario del embalse para conseguir la mortalidad por desecación, del 90% de la población de mejillón cebra residente, mientras que con la distribución del año 2004 para conseguir la misma proporción de mortalidad, sería suficiente con bajar el nivel unos 9 m. La importancia de conocer la distribución vertical de la especie antes de decidir la amplitud del descenso de nivel, es pues total y no puede decidirse a partir de conjeturas.

Existen experiencias de descensos de nivel de masas de agua en Estados Unidos, como las realizadas por Gracio y Montz, (2002) en el lago Zumbro, al noroeste del estado de Minesota y en el lago Edimboro ubicado al noroeste del estado de Pennsylvania. En ambos casos se llevaron a cabo fluctuaciones del nivel de las aguas del orden de 1,5 m, con el resultado de una mortalidad total de las poblaciones de mejillón cebra en las zonas expuestas de ambos lagos. No obstante, los autores del trabajo, también atestiguan que la recuperación de la población de mejillón cebra, tuvo lugar en un plazo relativamente corto, como consecuencia de la población viable que quedó

por debajo de la cota de descenso establecida. En el caso del embalse de Riba-roja, en el año 2003 se produjo un descenso de nivel del orden de 1,8 m como consecuencia de las necesidades de resguardo en la regulación de crecidas. Este descenso de varios días fue suficiente para producir la mortandad total de los ejemplares que quedaron fuera del agua y lo cierto es que esa franja de agua emergida se ha mantenido "limpia" de la especie hasta hoy, cuando aún no son ni de lejos apreciables, densidades de mejillón cebra comparables a las existentes antes del descenso de nivel indicado. Entre las experiencias disponibles sobre variaciones de la cota de nivel del agua en lagos, durante los meses estivales (Paukstis, 1999; Ricciardi *et al.*, 1995; Tucker *et al.*, 1997) y las realizadas en el periodo invernal, Gracio y Montz (2002), apuntan una serie de ventajas del invierno sobre el verano, tales como:

1. Ausencia de larvas velíferas de la columna de agua. En los meses estivales, estas larvas están presentes en la columna de agua, por lo que descensos en el nivel del lago durante dicho periodo pueden aumentar el flujo de larvas río abajo. En el caso del embalse de Riba-roja, no tiene mayor trascendencia puesto que la colonización aguas abajo ya es una realidad y por otro lado, este trasvase de larvas ya se está realizando de forma rutinaria a través de los caudales ordinarios de explotación.
2. Reducción de las alteraciones sobre los usos recreativos, que se desempeñan preferentemente en los meses estivales (canoas, embarcaciones de recreo, pesca, etc).
3. Consecución de una mayor tasa de mortalidad, con menos tiempo de exposición, en condiciones de baja temperatura, al evitar que ejemplares de mejillón cebra puedan refugiarse en ciertos microhábitats que conserven humedad tales como vegetación acuática emergida, bloques, tocones, encueves, etc.

Tal y como ya se ha indicado, el problema de seleccionar el invierno para el descenso de nivel, en ambientes mediterráneos en general, es la impredecibilidad en la manifestación y la duración, de días suficientemente fríos y continuos, pero ciertamente no es una opción en absoluto descartable. En los últimos años, por ejemplo, no hubiera sido especialmente complicado el haber acotado con suficiente antelación, la llegada de frentes fríos persistentes y de duración suficiente para los fines perseguidos.

6.4.2. Crecidas controladas

La aplicación de crecidas en tramos regulados de ríos, es otra medida de gestión hidráulica que puede contribuir al control de las poblaciones de mejillón cebra, en este caso de dos formas:

- Por movilización de los ejemplares residentes en el cauce del río (arrastre, abrasión, enterramiento, etc).

- Por impedimento, o al menos limitación, de la fijación al sustrato de larvas velíferas presentes en la columna de agua.

Para la movilización de ejemplares sujetos al sustrato de fondo del río, la crecida debe diseñarse a partir del caudal que genere el esfuerzo cortante y/o la velocidad de agua en la capa límite, que se requiere para la puesta en movimiento y remoción de los materiales del lecho, de una determinada granulometría. Esto significa que, además de tener una idea al menos aproximada de la distribución del mejillón cebra en el río, es necesario también conocer la distribución granulométrica de los materiales del fondo. En el



Foto 24. Suelta de agua de los aliviaderos de la presa de Ribarroja.

caso del Ebro, consiguiendo movilizar las gravas de hasta 90 mm (lo que requiere caudales punta de hasta 1100-1300 m³/s, ya se consiguen efectos reductores apreciables en la población de mejillón cebra del fondo del río, tal y como se ha puesto de manifiesto en los trabajos llevados a cabo por Endesa y la Universidad de Lleida en el control de las poblaciones de macrófitos del bajo Ebro, mediante la aplicación de crecidas controladas desde el embalse de Ribarroja (Palau *et al.*, 2004).

El otro efecto de las crecidas es impedir, o al menos reducir la probabilidad de, la fijación de larvas velíferas, transportándolas hasta el mar o zonas salobres de la desembocadura, en el caso de ríos como el Ebro, donde no pueden sobrevivir. Evidentemente una crecida es también un sistema de dispersión rápida de la especie río abajo. No obstante, en el caso del Ebro tras 2 ó 3 años de presencia de la especie en densidades notables, la progresión río abajo no es tan rápida como cabría esperar, a pesar de las crecidas ocurridas durante estos años. Cabe concluir que en, en términos de balance, las crecidas son más bien desfavorables para la especie; es decir, eliminan más ejemplares instalados e impiden la fijación de nuevos, que no favorecen la colonización río abajo.

Las crecidas vistas como actuaciones para evitar la fijación de larvas producidas río arriba, admiten una aplicación coordinada con la gestión hidráulica de embalses invadidos río arriba, dando lugar a una sinergia interesante en términos de control de la especie.

En efecto, acoplar los descensos programados del nivel de embalse con las crecidas, multiplica las posibilidades de control de la especie. Así, una vez seleccionada la época del año para el descenso de nivel que permita expo-

ner a la desecación una determinada proporción de la población de mejillón cebra, el volumen a retirar del embalse puede aplicarse río abajo en forma de crecida, con un hidrograma que permita una o dos puntas de caudal con capacidad para remover el sustrato del cauce y arrastrar los ejemplares de mejillón cebra allí residentes.

Si el descenso de nivel del embalse se ha llevado a cabo antes del principal periodo de reproducción (formación de larvas velíferas), tal y como es aconsejable, tras volver a llenar el embalse, se producirá dicho periodo a partir de los ejemplares supervivientes. Este periodo puede ser común para los reproductores del embalse, que serán los que hayan quedado a cotas bajas y por tanto expuestos a temperaturas inferiores a las superficiales, y para los reproductores del río aguas abajo, sometidos a un régimen térmico no muy distinto al de medio fondo o fondo del embalse. Es el momento de plantearse una segunda crecida, con un hidrograma más plano, es decir con caudales máximos muy inferiores a los de la primera crecida indicada (hasta 400-500 m³/s), pero con una duración mayor. Si la primera crecida tenía como función incidir en las poblaciones de mejillón cebra en el lecho del río, esta segunda crecida debe perseguir desalojar el máximo número posible de larvas del embalse y transportarlas, junto con las que se emitan en el río, hacia la desembocadura donde las condiciones del medio sean suficientemente inhóspitas para la especie como para determinar la muerte de las velíferas.

Es importante tener en cuenta que si bien la primera crecida puede hacerse a través de tomas de fondo o medio fondo, la eficacia de la segunda crecida puede ser muy superior si se produce a través de los aliviaderos de superficie, dado que estos permiten desalojar del embalse las aguas superficiales donde por flotación tenderán a concentrarse las larvas velíferas formadas.

Resulta también básico indicar que la gestión hidráulica aplicada al control de la especie, no puede ni debe entenderse como fundamentada en una actuación única, sino en un verdadero protocolo de aplicación reiterada, quizás de por vida, en los embalses y cursos de agua infestados.

Evidentemente la gestión hidráulica aplicada al control del mejillón cebra comporta, como ya se ha indicado, unos costes socioeconómicos más o menos importantes sobre los usuarios del agua y propietarios de las infraestructuras hidráulicas afectables, desde las actividades de tipo lúdico, hasta las de producción hidroeléctrica. Se trata de contabilizar de forma precisa estos costes y proceder al reconocimiento de las correspondientes indemnizaciones o compensaciones, por parte de la administración, en función de las afectaciones reales derivadas.

6.5.- CONCLUSIONES GENERALES

La erradicación del mejillón cebra en los diversos puntos donde se sabe que está presente hasta la fecha, en las cuencas del Ebro y del Júcar, no es imposible pero es ciertamente ya muy compleja y costosa dado el grado de dispersión de la especie.

Existen soluciones como varias de las presentadas en este documento, eficaces en la eliminación de la especie de prácticamente cualquier instalación o infraestructura; de nuevo el problema se reduce al gasto o inversión que se esté dispuesto a realizar para erradicar o prevenir la presencia del mejillón cebra, en cada caso.

En el medio natural, en embalses y ríos, como se ha indicado la solución es compleja y tiene unos costes socioeconómicos y ambientales altos, pero hay que insistir, no es imposible aun a fecha de hoy la alternativa frente a no hacer nada, es que los costes se incrementen exponencialmente por cada día que pasa.

Frente a grandes catástrofes ecológicas como las desafortunadamente vividas en el estado Español los últimos años (rotura de la presa de Aznalcollar, hundimiento del Prestige, grandes incendios forestales,...), la administración competente a dispuesto de medios económicos, técnicos y humanos suficientes, para revertir unos efectos que, en ausencia de actuación, se preveían dramáticos.

Parece que se empieza a reconocer la transcendencia de la presencia del mejillón cebra; sin embargo, no da la impresión que se interprete

aun como un problema ecológico nacional y grave, cuando en realidad lo es y, se mire como se mire, de mucho mayor calado que las catástrofes antes citadas. El tiempo juega a favor de la especie invasora y esta ya se encargará de poner de manifiesto todo el potencial de expansión y de cambio ecológico que tiene. Probablemente es cuestión de 10-15 años para que se alcance un nivel de expansión ya absolutamente irreversible.

Mientras nadie sea capaz de plantearse con rigor una actuación drástica e inmediata como la que el Gobierno Australiano llevó a cabo en 1999, en la bahía de Puerto Darwin, para erradicar de forma decidida la presencia de otro bivalvo; el mejillón negro rayado (*Mytilopsis sallei*) aun a expensas de eliminar muchas otras formas de vida acuática presentes, habra por lo menos que intentar controlar las poblaciones de la especie allí donde se encuentre, aunque sólo sea para poder esperar, con la mínima población de mejillón cebra posible, la llegada de una eventual solución, de cualquiera de las numerosas líneas de investigación que se están llevando a cabo a nivel mundial y poder aplicarla con las mayores garantías de éxito que, sin duda, serán inversamente proporcionales a la densidad y extensión que el mejillón cebra haya conseguido alcanzar.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Boelman, S.F., F.M. Neilson, E.A. Dardeau, y T. Cross (1997): "Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) Control Handbook for Facility Operators, First Edition". U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314 - 1000.
- Braithwaite, S. (2003): "Utilization of benthic barrier (Mats) to eradicate localized zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) infestation: Laboratory Bioassays and Field Studies".
- Chang, T. y A. C. Miller (1993): "Use of Reduced Pressure to Accelerate Death of Zebra Mussels". Technical Notes, ZMR-3-10, Zebra Mussel Research, U.S. Army Corps of Engineers (2002), Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Chang, T.J. (1994): "Method and Apparatus for Controlling Zebra Mussels in Water Conduits". U.S. Patent No. 5,376,282, Patente and Trade Mark Office, pp 57,65, December 27.
- Chang, T.J. y A.C. Miller (1993): "Use of Reduced Pressure to Accelerate Death of Zebra Mussels". Technical Notes, ZMR-3-10, Zebra Mussel Research, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS.
- Chang, T.J. (1994): "Method and Apparatus for Controlling Zebra Mussels in Water Conduits", U.S. Patent No. 5,376,282, Patente and Trade Mark Office, pp 57-65, December 27.
- Charlebois, P. M., J. E. Mardsen, R. G. Goettel, R. K. Wolfe, D. J. Jude y S. Rudnika (1997): "The round goby *Neogobius melanostomus* (Pallas), a review of European and North American literature". Illinois-Indiana Sea Grant Program and Illinois Natural History Survey. INHS Spec. Publ. No. 20. 76 pp.
- Cia, I (2004): "Problemática, ecología y control de la población de mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) mediante la gestión de la cota explotación del embalse de Riba-roja (Río Ebro)". Memoria presentada para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (DEA).
- Clarke, M. y R.F. McMahon (1993): "Tissue Freezing and Time to Complete Mortality on Exposure to Freezing Air Temperatures in the Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) with Special Reference to Dewatering during Freezing Conditions as a Mitigation Strategy". En Claudi and Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Claudi, R. y F. Spencer (1993): "Summary of the 1992 Zebra Research at Ontario Hydro". En: Claudi y Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Conides, A. (1995): "Zebra Mussel: Population Dynamics and Notes on Control Strategies in a Reservoir in Western Greece". Lake and Reservoir Management, 11:329-336.
- Debach, P y D. Rosen (1991): "Biological Control by Natural Enemies". Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Donskoy, D.M y M.L. Ludyanskiy (1995): "Low frequency Sound as Control Measure for Zebra Mussel Fouling". Davison Laboratory, Stevens Institute of Technology, LONZA. The 5th International Zebra Mussel and Other Aquatic Nuisance Organisms Conference.
- Fisher, S.A., S.W. Fisher y K.R. Polizotto (1993): "Field Tests of the Molluscistatic Activity of Potassium Chloride on Zebra Mussel Veligers". En: Claudi Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Gauthier, C y G. Nicolaides (1992): "Remedial Cleaning Methods to Remove Zebra Mussels". En Claudi y Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Gracio, J.L. y G. Montz (2002): "Winther lake drawdown as a strategy for zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) control: Result of pilot studies in Minesota and Pennsylvania".
- Griffiths, J.S. (1992): "Control of Zebra Mussels by Thermal Shock". En: Claudi y Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Holdren, C.; W. Jones y J. Taggart (2001): "Managing lakes and reservoirs". North American Lake Management Society and Terrene Institute in cooperation with Office of Water, Assessment and Watershed Protection Division. US Environmental Protection Agency, Madison, WI.
- Howells, R.G., C.M. Mather y J.A.M. Bergmann (2000): "Impacts of dewatering and cold on freshwater mussels (unionidae) in B.A. Steinhagen Reservoir, Texas". Texas Journal of Science 52 Supplement: 93-104.
- Jenner, H.A., J.W. Whitehouse, C.J.L. Taylor y M. Khalanski (1998): "Cooling water management in European power stations. Biology and control of fouling". Hydroécol. Appl., 10 (1-2).
- Kilgour, B.W. y R. Kepple (1993): "Effects of Salinity on the Survival of Zebra Mussel Veliger Larvae". En: Claudi y Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Kilgour, B.W. y G.L. Mackie (1993): "Colonization of Different Construction Materials by the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha* (Bivalvia: Dreissenidae)". En: Claudi y Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.

- Klerks, P.L., P.C. Fraleigh y R.C Stevenson (1993): "Controlling Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) Veligers with Three Oxidizing Chemicals: Chlorine, Permanganate and Peroxide + Iron". En: Claudi Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Kowalewsky, J y P. Patrick (1992): "Acoustics as a Possible Mitigation Strategy against Zebra Mussel Settling". En: Claudi Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Kraak, M.H.S. y C. Davids, C. (1991): "The effect of the parasite *Phyllodistomum macrocotyle* (Trematoda) on heavy metal concentrations in the freshwater mussel *Dreissena polymorpha*". *Neth. J. Zool.*, 41: 269-276
- Lake George Park Commission (2002): "Zebra prevention efforts". Zebra mussel update: Sandra Niezwicki, Director, Darrin fresh water institute.
- Lange, C.L., G.A. Smythe, J.F. Doyle y P.M. Sawyko (1993): "Application of Low Voltage Electric Fields to Deter Attachment of Zebra Mussels to Structures (Phase II)". En: Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Laruelle, F., D.P. Molloy y V.A. Roitman (2002): "Histological analysis of trematodes in *Dreissena polymorpha*: their location, pathogenicity, and distinguishing morphological characteristics".
- Lei, J. (1992): "Use of Decreased Air Pressure Under Laboratory Conditions to increase Zebra Mussel Mortality". Technical Note ZMR-2-13, Zebra Mussel Research Program, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Lewis, D. y R.L. Pawson (1993): "Use of Cathodic Protection as a Means of Control and Removal of Zebra Mussels". En: Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Lewis, D., J.E. Van Benschoten y J.N. Jensen (1993): "A Study to Determine Effective Ozone Dose at Various Temperatures for Inactivation of Adult Zebra Mussels". En: Claudi Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Ludianskyi, M.L., D. McDonald y D. MacNeill (1993): "Impact of the Zebra Mussel, a invader". *Bioscienci*, 43 (8): 533-544.
- Lyakhovich, V.P., A.Y. Karataev y N.N. Antsipovich (1983): "The effect of water temperature on the rate of infection of *Dreissena polymorpha* with larvae of *Phyllodistomum folium* Olfers in Lake Lukomlskoe. *Biologiya Vnytretnikh Vod, Informatsionnyi Byulleten*, 58: 35-38. In Russian.
- Mardsen, J.E y D.M. Lansky (2000): "Substrate Selection by Settling Zebra Mussels, *Dreissena polymorpha*, Relative to material, Texture, Orientation, and Sunlight". University of Vermont.
- Martín, I.D., G.L. Mackie y M. Baker (1992): "Acute Toxicity and Pulse-dosed Delayed Mortality at 12 and 22°C with Sodium Hypochlorite, Bulab 6002 and Hydroge Peroxide on the Biofouling Mollusk, *Dreissena polymorpha*". En: Claudi Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Matthew, R. (2001): "Radio waves capable of killing off Pesky zebra mussels". *Scientific American*.
- McKay, S. (1991): "Control of Zebra Mussels by Electroshocking". In Claudi and Mackie (1994). En: Claudi, R. y G.L. Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- McMahon, R.F., T.A. Ussery, y A.C. Miller (1992): "Temperature and Relative Humidity Effects on Emersion Tolerance in Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*): Is Dewatering a Mitigation Option?". Second International Zebra Mussel Conference, Agenda and Abstracts, Toronto, Canada, Feb, (1992).
- McMahon, R. F. (1995): "University of Texas, Arlington. En: O'Neill, C.R. Jr. (1996): "The Zebra Mussel. Impacts and Control". Cornell Cooperative Extension, Information Bulletin, n° 238. New York Sea Grant. University of New York. 62 pp.
- McMahon, R.F y R.A. Chase (1996): "Investigation of the efficacy of Semicontinuous Application of Nooxidizing Molluscicide for Control of Macrofouling by Zebra Mussels (*Dreissena polymorpha*) and Asian Clams (*Corbicula fluminea*)".
- Mitchell, R. y J. Maki (1993): "Use of Microorganisms for Unconventional Control Treatments of Zebra Mussels". En: Claudi y Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- Molloy D.P., A.Y. Karatayev, L.E. Burlakova, D.P. Kurandina y F. Laruelle (1997): "Natural enemies of zebra mussels: predators, parasitas, and ecological competitors". *Reviews in Fisheries Science*, 5(1): 27-97.
- Molloy, D.P. (1998): "The potencial for using biological control technologies in the management of *Dreissena spp*". *Journal of Shellfish Research*, 17(1):177-183.
- O'Neill, C.R. Jr. (1996): "The Zebra Mussel. Impacts and Control". Cornell Cooperative Extension, Information Bulletin, n° 238. New York Sea Grant. Cornell University". State University of New York. 62 pp.
- Palau, A. y S. Massuti (2002): "Proyecto de Estudio Piloto sobre el Mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en el tramo inferior del río Ebro". ENDESA. Documento inédito.

- Palau, A., I. Cia, D. Fargas, M. Bardina y S. Massuti (2004): "Resultados preliminares sobre ecología básica y distribución del mejillón zebra en el embalse de Riba-roja (Río Ebro)". Endesa. Madrid. 43 pp.
- Palau, A., R.J. Batalla, E. Rosico, A. Meseguer y D. Vericat (2004): "Management of water level and design of flushing floods for environmental maintenance downstream of the Riba-roja Reservoir" (Lower Ebro River, NE Spain).
- Paukstis, G.L., F.J. Janzen y J.K. Tucker (1996): "Response of aerially-exposed zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) to subfreezing temperatures". *Journal of Freshwater Ecology* 11:513-519.
- Paukstis, G.L., J.K. Tucker, A.M. Bronikowski y F.J. Janzen (1999): "Survivorship of aerially-exposed zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) under laboratory conditions". *Journal of Freshwater Ecology* 14: 511-517.
- Payne, B.S. (1992): "Freeze survival of aerially exposed zebra mussels". Technical Note ZMR-2-09. Zebra Mussel Research Program. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Race, T. (1992): "Construction materials that act as deterrents to zebra mussel attachment". Technical Note ZMR-2-05, Zebra Mussel Research Program, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS 39180-6199. July 1992.
- Ricciardi, A., R. Serrouya y F.G. Whoriskey (1995): "Aerial exposure tolerance of zebra and quagga mussels (Bivalvia: Dreissenidae): Implications for overload dispersal". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52:470-477. En: Gracio, J.L y G. Montz. (2002): "Winther lake drawdowns as a Strategy for zebra mussel (*Dreissena polymorpha*); Results of pilot studies in Minnesota and Pennsylvania.
- Rodier, J. (1981): "Análisis de Aguas" Ed. Omega. Barcelona. 1059 pp.
- Ryan, M.F. (1998): "Extremely Low Frequency Electromagnetism: An Effective Nonchemical Method for Control of Zebra Mussel Infestation". En: Army Corps of Engineers (2002), Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Sinitzin, D.F. (1901): "Einige Beobachtungen über die Entwicklungsgeschichte von *Distomum folium* Olf". *Vorläufige Mitteilung. Zool. Anz.*, 24: 689-694.
- Smythe, A.G., C.L. Lange, D.C. Steuernagel y R.L. Tuttle (1993): "Efficiency Evaluations for In-line High Speed Agitators in Controlling Zebra Mussel Veligers". En: Claudi y Mackie (1994): "Practical manual for zebra mussel monitoring and control". Lewis Publishers. London. 227 pp.
- U.S. Army Corps of Engineers (2002), Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Tucker, J.K., C.H. Theiling, F.J. Janzen y G.L. Paukstis (1997): "Sensitivity to aerial exposure: potential of system-Wide downstream to manage zebra mussels in the Mississippi River". *Regulated Rivers Research and Management* 13:479-87.
- Wetzel, R.G. (1981): "Limnología". Ed. Omega. Barcelona. 679 pp.

EDITA:

Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (ENDESA)
UPH Ebro-Pirineos (ENDESA Generación)

COORDINACIÓN EDITORIAL:

Dirección Corporativa de Comunicación de ENDESA

DISEÑO E IMPRESIÓN:

OFF-7 S.A.

FOTOGRAFÍA:

Ferran Badia, Imanol Cia, Miguel Ángel Peribañez y ENDESA

Impreso en el mes de noviembre de 2006

Depósito legal L-1373-06

Queda prohibida la reproducción total o parcial de textos e imágenes que aparecen en esta publicación.



**U.P.H. Ebro-Pirineos (ENDESA Generación)
Dirección de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (ENDESA Servicios)**