Aplicación de ultrasonidos para el tratamiento del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en espacios confinados

El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*, Pallas 1771) es considerado uno de los principales agentes causantes del *biofouling* a nivel mundial. Esta especie invasora coloniza el casco de los barcos y la superficie de diferentes infraestructuras hidráulicas produciendo la obstrucción de tuberías y filtros. En España está ocasionando serios problemas económicos y ecológicos desde que se detectó su introducción en la cuenca del río Ebro hace aproximadamente una década. En este trabajo se presentan los resultados preliminares de un estudio en el que se valoran los efectos del equipo ultrasónico Dumo sobre la viabilidad de las larvas de mejillón cebra y su capacidad de asentamiento. Se ha observado que este equipo tiene un claro efecto *antifouling* en las larvas del mejillón cebra en espacios confinados. Además, se observó un efecto sobre la vitalidad de las larvas de esta especie invasora. Estos resultados justifican que se sigan estudiando los efectos de este equipo, y así valorar si la tecnología ultrasónica Dumo debería ser considerada como un tratamiento alternativo en espacios confinados.

Palabras clave
Mejillón cebra, ultrasonidos, Dumo, *antifouling*, instalaciones hidráulicas.

EFFECTS OF ULTRASONIC TECHNOLOGY FOR ZEBRA MUSSEL TREATMENT IN CLOSED AQUATIC SYSTEMS

*The zebra mussel (*Dreissena polymorpha*, Pallas 1771) is one of the main biofouling agents worldwide. This invasive species colonizes the hulls of boats and the surface of different hydraulic infrastructures producing clogging in pipes and filters. In Spain it is causing serious economic and ecological problems since its introduction was detected in the Ebro river basin about a decade ago. In this paper, we present the preliminary results of a study that evaluates the effects of the ultrasonic device Dumo on the viability of zebra mussel larvae and its ability of settlement. It has been observed that this device has a clear antifouling effect on the zebra mussel larvae in closed aquatic systems. In addition, an effect on the vitality of the larvae was observed. These results warrant further study the effects of this device, and thus assess whether the Dumo ultrasonic technology should be considered as an alternative treatment in closed aquatic systems.*

Keywords
Zebra mussel, ultrasound, Dumo, antifouling, hydraulic infrastructures.

Nines Marín Vitalla
licenciada en Ciencias Biológicas, responsable de I+D+i Medioambiental de Eccus Proyectos Técnicos Medioambientales y Obras

Clara Companys Castro
licenciada en Ciencias Ambientales, técnica de I+D+i Medioambiental de Eccus Proyectos Técnicos Medioambientales y Obras

Tania Peñalver Ruiz
graduada en Biotecnología, técnica de I+D+i Medioambiental de Eccus Proyectos Técnicos Medioambientales y Obras

Ramoni Sánchez Carmona
doctora en Ciencias Biológicas, responsable de I+D+i Agua y Medioambiente de Toscano Línea Electrónica

1. INTRODUCCIÓN

El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*, Pallas 1771) es un molusco bivalvo de agua dulce originario del mar Caspio. Esta especie invasora se considera una de las principales especies causantes del *biofouling* en instalaciones hidráulicas como centrales eléctricas, sistemas de tratamientos de agua, instalaciones de regadíos, etc.

El mejillón cebra se encuentra presente en la Península Ibérica desde 2001, año en el que se registró su presencia en la parte baja del río Ebro, con densidades de 500 indv/m^3 (Altaba *et al*., 2001). A partir de ahí se produjo su expansión por prácticamente toda la cuenca del río Ebro (Durán *et al*., 2010).

Actualmente el mejillón cebra se encuentra distribuido por otras cuencas de la Península Ibérica como la del Júcar y Segura y, en el año 2009, se detectó su presencia en el embalse granadino de Los Bermejales, confirmándose su presencia en la cuenca del río Guadalquivir. En los últimos años el mejillón cebra se ha extendido por dicha cuenca, encontrándose en los embalses de Bermejales, Iznájar, La Breña II y en comunidades de regantes desde el Genil-Cabra hasta el Bajo Guadalquivir, pasando por el Valle Inferior del Guadalquivir (www.chguadalquivir.es).

La invasión por parte del mejillón cebra produce grandes impactos desde el punto de vista ecológico y económico. Debido a su gran capacidad de filtración, las altas densidades que alcanza y a su distribución generalizada, esta especie produce la alteración de la estructura y funcionamiento del ambiente que invade, causando grandes cambios en el flujo de energía del ecosistema y llegando a modificar la bioquímica del agua. El efecto combinado entre la invasión de mejillón cebra y la degradación ambiental que esta supone contribuye enormemente al declive de poblaciones de bivalvos autóctonos de la familia *Unionidae*.

Así mismo, el impacto económico asociado a la invasión del mejillón cebra es bastante elevado. Solo en la invasión de la cuenca del río Ebro se estima que se han superado unos costes de 13 millones de euros en casi una década (Durán *et al.*, 2012). Su impacto económico está asociado a los problemas que causa en el funcionamiento de las instalaciones afectadas (obstrucción de tuberías en captaciones de agua, conducciones y bombeos, interrupción del flujo…) y costes adicionales de mantenimiento (actividades de mantenimiento, tratamientos de agua…) (**Figura 1**).

De esta manera, la proliferación del mejillón cebra produce la obstrucción parcial o total de tuberías, conductos de refrigeración y cualquier abertura por donde fluye el agua. Así pues, se produce una gran pérdida de la sección, por lo que aumenta la fricción y la canalización del agua se vuelve menos eficiente. También hay evidencias de que los filamentos del biso que el mejillón cebra usa para fijarse al sustrato, pueden acelerar la corrosión de estructuras metálicas. Las bacterias que aparecen entre el sustrato y los filamentos del biso producen un componente ácido a través de la respiración aeróbica que incrementa la corrosión de superficies de hierro y acero. A estos costes directos, hay que añadir los costes asumidos por la administración pública en campañas directas para prevenir y gestionar la expansión de esta especie invasora (Durán *et al*., 2010).

Asumiendo que la erradicación completa de esta especie invasora es un hecho inviable, se continúa con la búsqueda de metodologías que mitiguen sus efectos y que contribuyan a evitar su expansión. En este estudio se presentan las bases sobre el uso de un tratamiento ultrasónico como una posible alternativa para el control del mejillón cebra.

FIGURA 1. Vista de la parte inferior de un puente en el Embalse de Iznájar (Córdoba) afectado por el mejillón cebra.

1.1. ANTECEDENTES SOBRE EL ULTRASONIDO Y EL MEJILLÓN CEBRA

El ultrasonido (ondas sonoras con una frecuencia por encima de los 20 kHz) se transmite por el agua produciendo una serie de ciclos de

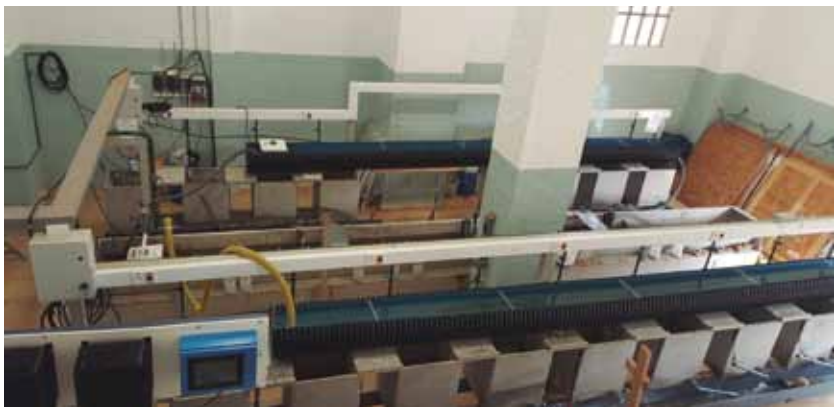
compresión. De esta manera, las variaciones de presión producidas por este efecto actúan sobre las algas de diferente manera, llegando a mitigar la formación de *biofilm*.

La zona sonicada queda bajo la influencia de dichas variaciones de presión, de manera que se crea un ambiente de estrés que evita o dificulta el asentamiento de determinadas larvas o diversas formas de resistencia de organismos colonizadores. Por ejemplo, en el caso de la especie *Amphibalanus amphitrite*, conocido popularmente como escaramujo, se ha observado que el ultrasonido de alta potencia reduce la huella de secreción de la larva, afectando así al reclutamiento de nuevos individuos de la misma especie. Es decir, se ha observado que el ultrasonido reduce el asentamiento de estos cipridos y cambia el comportamiento de la larva durante la etapa de exploración del sustrato (Guo, 2012).

En el caso concreto del mejillón cebra, en estudios realizados en los años 90, se observó que la energía de la ondas ultrasónicas de entre 39 y 41 kHz fragmentaba las larvas velígeras de mejillón cebra existentes en el agua (Kowaleswski y Patrick, 1992). Por otra parte, Donskoy y Ludyanskiy (1995) pudieron comprobar que la cavitación ultrasónica de entre 10 y 380 kHz conseguía matar larvas velígeras y afectar también en mayor o menor grado a ejemplares juveniles y adultos. Así pues, se puede decir que el mejillón cebra responde a la presión ejercida por el ultrasonido (Claudi y Mackie, 1994).

Las características de la tecnología ultrasónica Dumo, en cuanto a su logística, coste y mantenimiento, y la necesidad de encontrar métodos respetuosos con el medio ambiente para combatir esta especie invasora, ha permitido retomar este tipo de investigaciones. Así pues, se realizó un ensayo en laboratorio a gran escala, con el fin de determinar la viabilidad de las larvas del mejillón cebra bajo el efecto del tratamiento con este equipo ultrasónico y evaluar su capacidad de fijación y colonización al sustrato. Los resultados preliminares obtenidos muestran un efecto *antifouling* sobre las larvas velígeras. Además se observó cierta afección en las larvas velígeras sometidas al tratamiento, lo que justifica la necesidad de seguir evaluando el potencial de la tecnología ultrasónica Dumo como tratamiento contra el mejillón cebra en espacios confinados.

FIGURA 2. Canales hidráulicos de PVC instalados en el CEIDE para la realización del experimento. Al fondo se encuentra el canal con el equipo Dumo instalado.



2. METODOLOGÍA

El estudio se ha realizado en el laboratorio del Centro de Estudios Avanzados y documentación de Endesa (CEIDE), que se encuentra situado al pie de la presa del embalse de Riba-roja (río Ebro), en Tarragona. El CEIDE funciona habitualmente como centro de pruebas y experimentación de diferentes métodos de control y erradicación del mejillón cebra (Palau *et al.*, 2006, 2009 y 2010).

Este centro cuenta con un laboratorio húmedo, un laboratorio seco y una zona de servicios comunes. Inicialmente el laboratorio húmedo cuenta con unos tanques de cultivo dispuestos sobre dos piletas de cemento a un metro del suelo. Entre las dos piletas hay un canal de hormigón con un flujo continuo de agua (Palau *et al.*, 2004). Para la realización de estas pruebas se instalaron dos canales de PVC, de 0,4 m de anchura y 6 m de longitud, sobre las piletas, a ambos lados del canal de hormigón. En el extremo de la entrada de agua de uno de ellos se instaló el equipo ultrasónico Dumo, mientras que el otro canal se utilizó como control (**Figura 2**).

En este laboratorio entra agua cruda directamente desde el embalse de Riba-roja, con un caudal constante de 9 m^3/h, que queda repartido homogéneamente entre tres canales: el canal de control, el canal con tratamiento ultrasónico y el canal de hormigón que no será utilizado en este ensayo. De esta manera, el tiempo de residencia del agua en los canales varió entre los 7 y los 10 minutos.

Para la realización de este trabajo se utilizó concretamente el equipo ultrasónico Dumo Algacleaner Marina ACM-180 (www.toscano.es) con emisor multifrecuencia (20 kHz-60 kHz) y 180 W. Este equipo, diseñado como sistema *antifouling* en el casco de los barcos, está constituido por:

un emisor ultrasónico colocado debajo de la superficie del agua, sujetado con un flotador; un módulo de control para activar el emisor, instalado en un área seca o no inundable alimentado por una red de 230 v ; y un cable que conecta el emisor con el módulo central (**Figura 3**).

La potencia específica o intensidad (I) y la energía específica (Es) fueron calculadas de la siguiente manera:

I = Potencia (W)/Volumen (l)
Es (J/l) = I (W/l) x tiempo (seg)

En este caso se aplicó una energía de 16,79 J/l.

Antes de comenzar el tratamiento se realizaron tres precampañas durante el mes de mayo y principios de julio para valorar la densidad de larvas del mejillón cebra que entraba en el laboratorio. Una vez que se detectó una entrada significativa de larvas en el laboratorio se inició el tratamiento ultrasónico. Estas precampañas fueron necesarias para determinar, en la medida de lo posible, el inicio del ciclo biológico, es decir, el momento en el que se inicia la producción de gametos y larvas.

FIGURA 3. Equipo Dumo Algacleaner Marina ACM-180 utilizado para la realización del experimento.

2.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Se tomaron datos de los principales parámetros fisicoquímicos en los dos canales durante el transcurso del seguimiento. Para medir temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad y pH se usó la sonda multiparamétrica YSI 6600 (Yellow Spring Instruments) y para medir la turbidez se usó la misma sonda y Turbiquant 1000IR (Merck).

El embalse de Riba-roja cuenta con un sistema de monitorización en continuo (SMC-OX) que permite la toma de datos de parámetros fisicoquímicos y de larvas de mejillón cebra. Este sistema ha permitido tener los datos integrados del periodo comprendido entre el 24/07/2015 y el 09/12/2015 (muestreos mensuales integrados). Los datos así obtenidos se han utilizado para contrastar los parámetros fisicoquímicos del embalse con los medidos en el canal durante dicho periodo de tiempo.

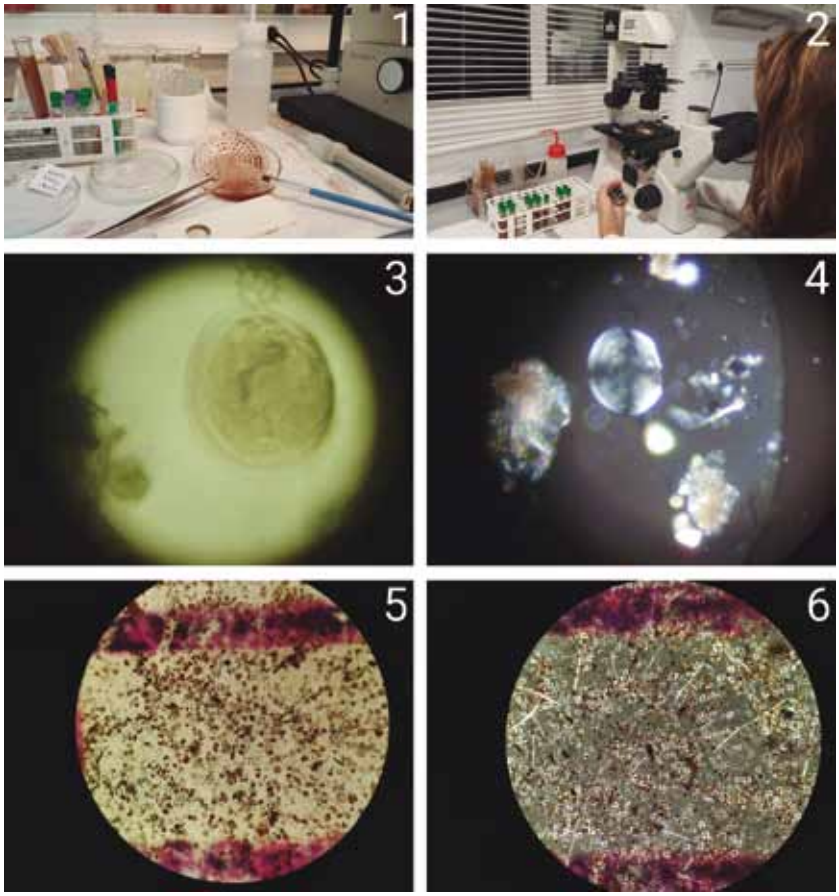
Para observar las posibles diferencias significativas entre los parámetros fisicoquímicos entre los dos canales y entre los canales y el embalse, se aplicó un análisis Kruskall-walis con el paquete estadístico SPSS 13.

2.2. DETERMINACIÓN DE LA FASE LARVARIA EN EL LABORATORIO Y DE LA SUPERVIVENCIA LARVARIA

Para determinar el comienzo del ciclo de fase larvaria en el laboratorio se tomaron muestras justo a la entrada de las instalaciones, antes de que el agua cruda llegase a los tres canales. Una vez el agua quedaba repartida entre los canales, la efectividad del tratamiento ultrasónico se valoró comprobando la vitalidad de las larvas mediante la realización de diferentes campañas de recogida de muestras. En cada campaña se recogieron muestras de agua a la entrada y a la salida de cada canal (canal de control y canal tratado con Dumo) para poder observar el efecto de la sonicación.

En cada toma de muestras se filtró un volumen suficiente de agua (entre 100 y 300 L) con una malla de nytal de 30 µm. Posteriormente, se procedió a la tinción para determinar la viabilidad de las larvas. La distinción entre las larvas vivas y muertas (viable o no viable) puede realizarse de diversas formas, siendo la más común, la observación directa del movimiento ciliar de las larvas en el microscopio óptico con luz normal. No obstante, el gran número de larvas presentes en las muestras que se deben procesar y, la imposibilidad de observar la vitalidad de las mismas en un periodo de tiempo

FIGURA 4. Preparación de las muestras filtradas (imagen 1), identificación en el microscopio (imagen 2) de las larvas de mejillón cebra previo a la tinción vital con luz natural (imagen 3) y polarizada (imagen 4), recuento de larvas en el microscopio óptico tras la tinción vital con luz natural (imagen 5) y polarizada (imagen 6). Laboratorio de las instalaciones de Eccus (www.eccussl.com).



lo suficientemente corto para que se garantice su supervivencia, hace necesario protocolizar otro modo de determinación de su vitalidad tras el tratamiento aplicado. Así pues, se recurre a la tinción vital de las larvas.

Para la observación de las larvas tras la tinción se utilizó un microscopio óptico invertido con luz polarizada y contraste de fases. La tinción vital aplicada muestra diferencias según su viabilidad, lo que permite valorar de una forma más clara el estado de afectación en el que se encuentran. En la **Figura 4** se puede distinguir entre: larvas vivas no afectadas por el tratamiento (coloración intensa, interior de las valvas totalmente ocupado por el cuerpo de la larva), larvas afectadas (coloración poco apreciable o alterada en su tonalidad, interior de las valvas no totalmente ocupadas o con aspecto 'apelotonado') y, por último, larvas muertas, que aparecerán sin ningún tipo de coloración, ya que se tratan de valvas vacías.

2.3. CONTROL DE ASENTAMIENTO LARVARIO

El control del asentamiento larvario para valorar el efecto *antifouling* del tratamiento ultrasónico se realizó a través de la observación directa de las paredes de los canales de control y tratado con Dumo en cada una de las campañas realizadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA

En la **Figura 5** se muestran los parámetros fisicoquímicos registrados durante el seguimiento en los dos canales y en el embalse de Riba-roja.

No se observaron diferencias significativas entre los parámetros registrados en los dos canales, es decir, entre el canal de control y el canal con el tratamiento ultrasónico (Kruskall-wallis; temperatura: F = 0,013, p = 0,910; conductividad: F = 0,006, p = 0,940; pH: F = 0,334, p = 0,563; turbidez: F = 0,336, p = 0,545; O_2 (%): F = 0,006, p = 0,940, O_2 (mg/l) F = 0,143, p = 0,705). Así pues, puede afirmarse que el canal de control y el canal sonicado presentaron condiciones fisicoquímicas similares durante el seguimiento. De esta manera, se descarta el efecto de algunas de estas variables sobre las pruebas realizadas.

La turbidez fue la única variable que mostró diferencias significativas entre los valores obtenidos en el laboratorio y en el embalse (resultados del test de Kruskall-wallis; temperatura: F = 0,304, p = 0,581; conductividad: F = 0,136, p = 0,712; pH: F = 0,062, p = 0,803; turbidez: F = 8,655, p <0,005; O_2 (%): F = 0,000, p = 1,000, O_2 F = 0,015, p = 0,903). Este resultado es totalmente previsible, ya que el agua cruda que se toma del embalse sigue una canalización cerrada y subterránea hasta llegar al laboratorio en la que se va produciendo la decantación de parte de los sólidos en suspensión que contiene el agua del embalse. De esta manera, se puede afirmar que, exceptuando la turbidez, las condiciones fisicoquímicas en las que se trabajó en el laboratorio han sido representativas de las condiciones naturales del embalse.

3.2. DATOS SOBRE LA FASE LARVARIA

La relación entre la temperatura y la densidad total de larvas registradas durante todo el seguimiento a la entrada del laboratorio y en el embalse de Riba-roja a través del sistema de monitorización en continuo instalado en presa se muestra en la **Figura 6.** Se observan claramente los dos picos de eclosión larvaria típicos del mejillón cebra: uno durante la primavera-verano y otro durante el otoño, siendo este último menor que el primero.

Como se comentó anteriormente, se pudo disponer de datos de muestreo de densidad larvaria en la presa de Riba-roja a partir de la campaña del 24 de julio de 2015, fecha posterior a la detección masiva de las larvas en la entrada del laboratorio.

Al comparar ambos muestreos se observa la coincidencia en la dinámica poblacional de las larvas detectadas. Así, en ambos casos la densidad es cero durante los meses en que la temperatura se encuentra próxima a los 25 °C, apareciendo nuevamente a partir de las campañas realizadas en septiembre, cuando la temperatura vuelve a estar en torno a los 20 °C (considerada temperatura de confort del mejillón cebra). El hecho de que en laboratorio se registren densidades de larvas bastantes superiores a las registradas en presa responde principalmente a la colonización comprobada de la conducción, desde la presa hasta el laboratorio, por parte de mejillón adulto, los cuales contribuyen con su propia emisión de larvas al número registrado a la entrada del laboratorio.

Los resultados obtenidos respecto a la detección de la eclosión larvaria, se corresponden a lo esperado según los rangos de preferencia orientativos para distintos parámetros y variables (**Tabla 1**).

FIGURA 5. Evolución de los diferentes parámetros fisicoquímicos durante la realización del seguimiento, en el canal de control, en el canal con tratamiento ultrasónico y en la toma embalse de Riba-roja: concentración de oxígeno, conductividad, saturación de oxígeno, temperatura, pH y turbidez, respectivamente.

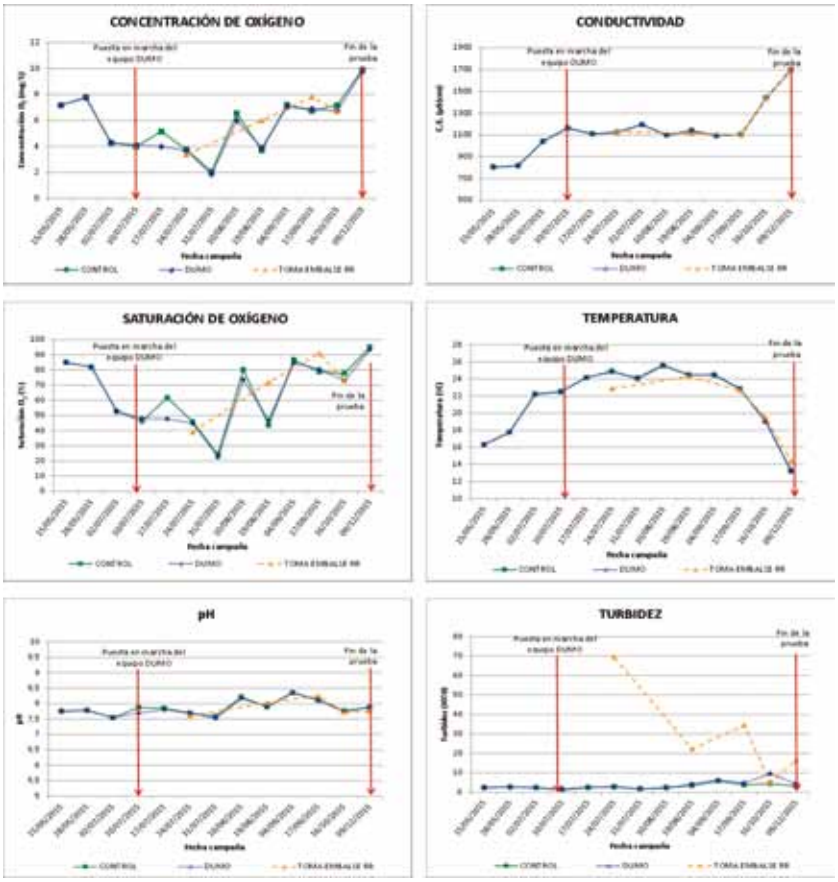


FIGURA 6. Evolución densidad-temperatura: comparación de la densidad larvaria en la toma del embalse de Riba-roja (RR) con la densidad larvaria total de la entrada en el laboratorio de Riba-roja. La flecha granate indica el inicio de las campañas en la toma embalse de Riba-roja.

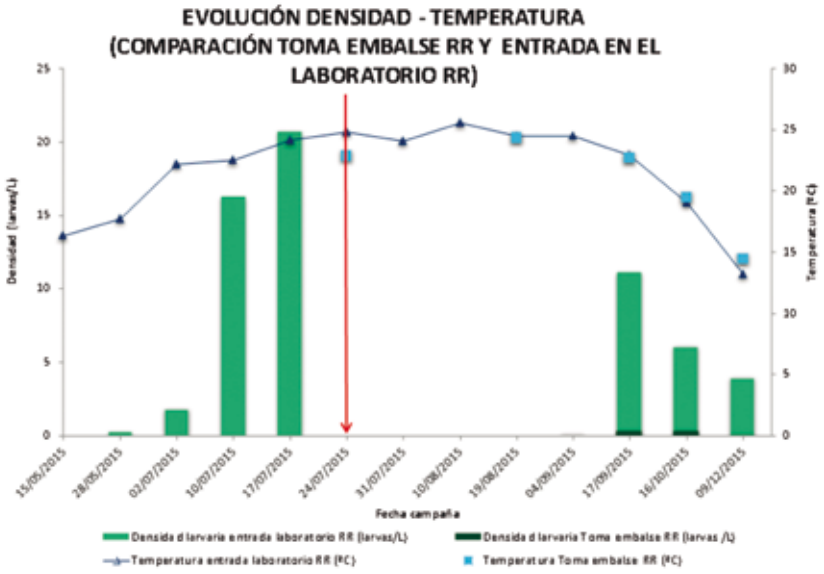


TABLA 1

RANGOS DE PREFERENCIA ORIENTATIVOS DEL MEJILLÓN CEBRA PARA DISTINTOS PARÁMETROS Y VARIABLES SEGÚN O'NEIL (1996) Y COMPLEMENTADO CON DATOS DE CLAUDIE Y MACKIE (1994)

Variable	Nulas	Muy bajas	Bajas	Medias	Altas	Óptimas
Calcio (mg/L)	5-6	< 9	9 - 20	20 - 25	25 - 125	> 125
Dureza total (mg $CaCO_3$/L)	0-22	< 25	25 - 45	45 - 90	90 - 125	> 125
pH	0 - 0,6	< 6,5 > 9,0	6,5 - 7,2 9,0	7,2 - 7,5 8,7 - 9,0	7,5 - 8,7	8,0 < pH < 8,5
Temperatura (ºC)	< 2 >40	< 8 > 30	9 - 15 28 - 30	16 - 18 25 - 28	18 - 25	18 - 20
Oxígeno disuelto (mg/L)	Anoxia	< 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	+/- 100 saturación
Conductividad (µS/cm)	0 - 21	< 22	22 - 36	37 - 82	83 - 110	> 110
Velocidad agua (m/s)	-	< 0,07 > 1,5	0,07 - 0,09 1,25 - 1,5	0,7 - 0,09 1,00 - 1,25	0,1 - 1,0	-

3.3. DATOS SOBRE SUPERVIVENCIA LARVARIA

En las **Figuras 7** y **8** se muestra la supervivencia larvaria tanto a la entrada como a la salida del canal de control y del canal sonicado con Dumo, respectivamente. En ambos casos se observa que la detección de larvas vivas no se produce hasta la primera semana de septiembre. Este resultado puede estar condicionado por el pequeño porcentaje de larvas vivas presentes en el agua cruda, de manera que solo se detectan las larvas muertas durante los muestreos de primavera y verano.

Durante mediados de julio y agosto no se detectaron larvas (ni vivas ni muertas) en ninguno de los canales. Este hecho se corresponde con la dinámica natural del ciclo de vida del mejillón cebra, ya que en esas fechas las larvas viables presentes en primavera ya se han asentado pero aún no han alcanzado la madurez sexual suficiente como para producir la segunda generación de larvas.

Así pues, a pesar de que la densidad de larvas es inferior en otoño, cabe señalar que estas son mucho más activas que las encontradas en primavera. Es decir, la proporción de larvas vivas respecto a las larvas totales es mucho mayor en otoño que en primavera. Esto se debe a que en primavera, cuando comienza el ciclo reproductivo del mejillón cebra se producen grandes avenidas que arrastran larvas procedentes de aguas arriba del embalse. De esta manera, las larvas que no logran asentarse son arrastradas aguas abajo hasta alcanzar la zona de presa del embalse, donde llegan muertas.

Así mismo, la mayoría de las larvas que se capturan en otoño son producidas por individuos asentados en primavera, por lo que la producción de larvas se realiza en condiciones mucho más estables y sin turbulencias que puedan aumentar la mortalidad natural de las larvas. Por tanto, conocer la dinámica de la tasa de mortalidad natural del mejillón cebra en cada embalse resulta fundamental a la hora de tomar medidas de gestión, ya que esta va a estar condicionada por factores como la propia dinámica del embalse y las condiciones ambientales estacionales.

En la **Figura 9** se muestran de manera más detallada los diferentes porcentajes de los diferentes grados de viabilidad observados en las larvas (muertas, vivas o afectadas) en los muestreos realizados a partir de septiembre. Estos se corresponden con los muestreos en los que se empezaron a detectar larvas vivas.

En el muestreo del 4 de septiembre se observó que en el canal con el equipo Dumo todas las larvas se mostraron afectadas a la salida (100% de afectación en el canal tratado). En el canal de control, sin ningún tipo de tratamiento se observó que el 50% de las larvas estaban afectadas a la salida. De esta manera, se observó un 50% de más larvas afectadas en el canal sonicado.

En el muestreo del 17 de septiembre se observa que el aumento de larvas muertas en el canal tratado con ultrasonidos no es significativo respecto al registrado de forma natural en el canal de control. No obstante, no se detecta ninguna larva viva a la salida del canal tratado. De esta manera, se produce un aumento del 33,33% de larvas afectadas.

FIGURA 7. Supervivencia y mortandad larvaria a la entrada y salida del canal control.

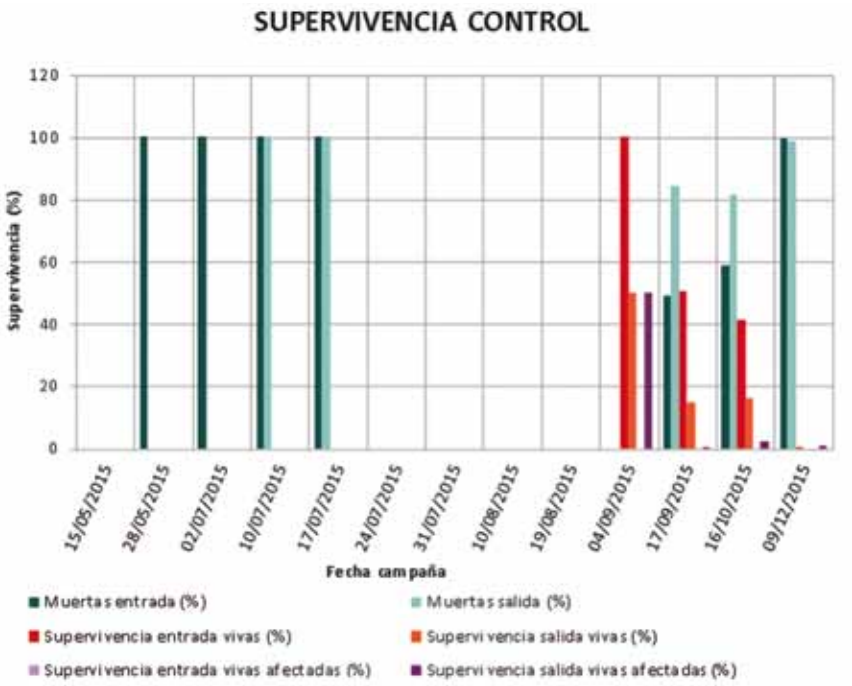
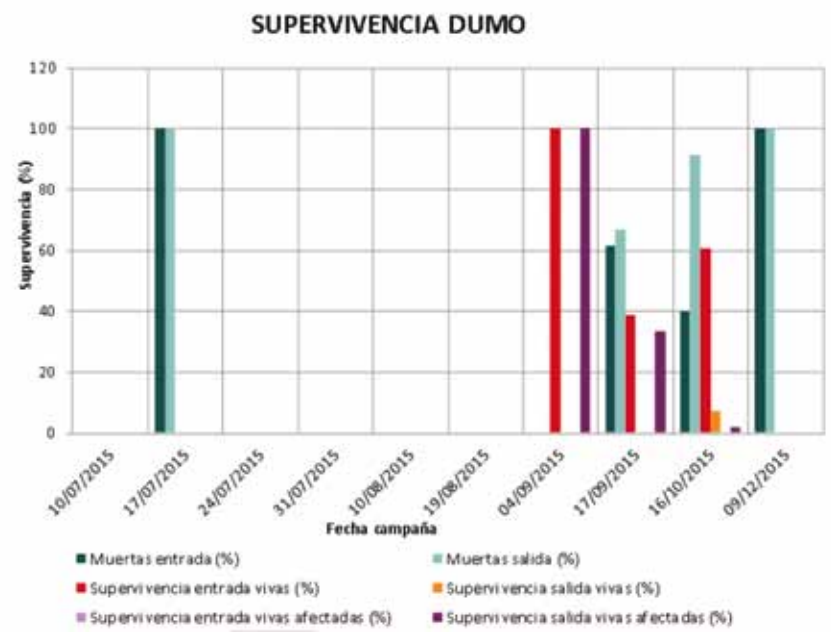


FIGURA 8. Supervivencia y mortandad larvaria a la entrada y salida del canal con el equipo Dumo.



» Según el estudio, se evidencia el efecto *antifouling* del equipo ultrasónico Dumo en espacios confinados

Si se considera que se produce una afectación natural del 0,65% en el canal de control se podría decir que en el canal tratado aumenta la afectación de las larvas en un 32,68%.

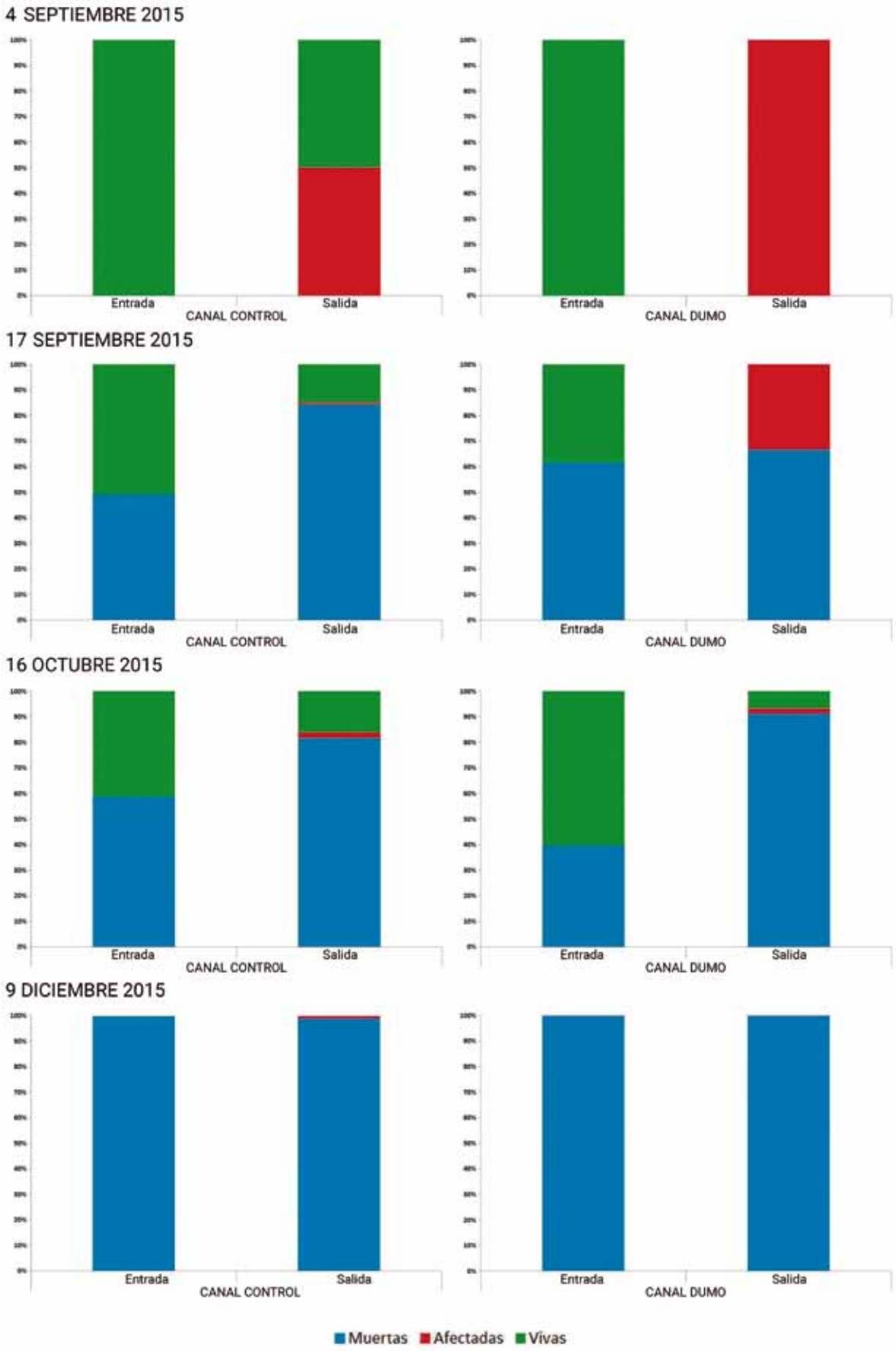
Respecto al muestreo realizado el 16 de octubre, no existen grandes diferencias entre el número de larvas afectadas en el canal de control y las sometidas al tratamiento ultrasónico (2,21 y 1,93% respectivamente). Esta ha sido la única campaña en la que se detectaron larvas vivas en la salida del canal sonicado, concretamente un 6,8 %. No obstante, este también fue el muestreo en el que se observó un mayor aumento en la mortalidad de las larvas. Concretamente se observó un aumento del 52% de la mortalidad durante el tratamiento. Si se tiene en cuenta que se produce una mortalidad natural del 22,94% en el canal de control, se podría considerar que en el canal sonicado se ha aumentado la mortalidad de las larvas en un 29,06%.

Estos resultados de afectación de larvas bajo tratamiento con el equipo ultrasónico Dumo se han obtenido en un canal con un tiempo de retención de agua de entre 7 y 10 minutos, por lo que podrían esperarse mayores porcentajes de afectación con mayor tiempo de exposición al ultrasonido.

3.4. CONTROL DE ASENTAMIENTO LARVARIO

Los dos canales (canal de control y canal tratado con Dumo) se mantuvieron libres y sin rastro de posibles asentamientos durante los primeros 15 días del ensayo. A partir del muestreo realizado el día 17 de julio se observó la aparición de pequeños individuos (< 1 mm) adheridos a la pared del canal de control (sin tratamiento ultrasónico). El asentamiento de larvas velígeras en las paredes de este canal se ha producido durante todo el

FIGURA 9. Porcentajes de los diferentes grados de viabilidad de larvas encontrados en los dos canales en los diferentes muestreos realizados a partir de septiembre. Porcentaje de larvas muertas (azul), de larvas vivas (verde) y de larvas afectadas (rojo).



transcurso del experimento, mientras que en el canal sonicado con Dumo no se ha detectado la presencia de mejillón cebra durante todo el periodo de seguimiento. Estos efectos se han mantenido hasta cinco meses después de la finalización del ensayo (**Figuras 10** y **11**).

Respecto al control del asentamiento, se puede señalar que este resultó positivo para el caso del canal de control y negativo para el canal tratado. Se evidencia, de esta manera, el efecto *antifouling* del equipo ultrasónico Dumo en espacios confinados.

FIGURA 10. Canal Control. Secuencia fotográfica de la evolución del interior del canal en diferentes campañas. La campaña del 26/05/2016 corresponde a la revisión del canal control cinco meses después de la finalización del ensayo.

4. CONCLUSIONES

Las condiciones de laboratorio en las que se ha desarrollado este estudio, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y a la densidad larvaria, son representativas de la situación registrada en condiciones naturales en la zona de presa del embalse de Ribaroja. Por otra parte, los parámetros fisicoquímicos registrados durante el seguimiento se mantuvieron estables y significativamente iguales en los dos canales (canal de control y canal tratado con el equipo ultrasónico Dumo), por lo que estos no han sido un factor de perturbación de los resultados obtenidos.

Se ha podido comprobar que existe una clara relación entre la temperatura y la presencia y densidad de larvas de mejillón cebra, apareciendo los dos picos de eclosión larvaria en primavera-verano y en otoño, cuando la temperatura está próxima a los 20 ºC.

En este trabajo se ha observado que hay una posible afectación del equipo ultrasónico Dumo en los estadios larvarios del mejillón cebra. En las campañas realizadas se observó que en el canal tratado se produjo un aumento en el número de larvas afectadas de entre el 32 y el 50%. También se registró un aumento de la mortalidad de las larvas de un 29,06% en una de las campañas. Estos resultados se han obtenido en un sistema con flujo de agua, de manera que el tiempo de exposición de las larvas al tratamiento ultrasónico ha sido de entre 7 y 10 minutos, por lo que podrían esperarse mayores porcentajes de afectación en aguas quietas, con un mayor tiempo de retención.

Respecto al control de asentamiento de las larvas se observó la colonización de las paredes del canal de control mientras que el canal con tratamiento ultrasónico permaneció despejado de mejillón cebra durante todo el seguimiento.

En definitiva, los resultados preliminares obtenidos muestran un efecto *antifouling* sobre las larvas velígeras. Además, se observó cierta afección en las larvas velígeras sometidas al tratamiento, lo que justifica la necesidad de seguir evaluando el potencial de la tecnología ultrasónica Dumo como tratamiento alternativo contra el mejillón cebra en espacios confinados.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Endesa por prestar sus instalaciones (laboratorio CEIDE) para el desarrollo de este proyecto, así como su aportación financiera para el estudio. Parte de este trabajo se ha realizado gracias a la financiación por parte del Ministerio de Economía y Competitividad a través de la concesión de una ayuda para un contrato Torres Quevedo (2013).

FIGURA 11. Canal Dumo. Secuencia fotográfica de la evolución del interior del canal en diferentes campañas. La campaña del 26/05/2016 corresponde a la revisión del canal Dumo cinco meses después de la finalización del ensayo.

Bibliografía

[1] Altaba, C.R.; Jimánez, P.J.; López, M.A. (2001). El temido mejillón cebra empieza a invadir los ríos españoles desde el curso bajo del Ebro. Quercus, núm. 188, págs.50-51.

[2] Claudi, R.; Mackie, G.L. (1994). Practical manual for zebra mussel monitoring and control. Lewis Publishers, London, 227 págs.

[3] Donskoy, D.M.; Ludyanskiy, M.; Wrigth, D.A. (1996). Effects of sound and ultrasound on zebra mussels. J. Acoust. Soc. Am., núm. 99, págs. 577-603.

[4] Durán, C.; Lanao, M.; Pérez, L.; Moreu, CC., Anadón, A.; Touya V. (2012). Estimación de los costes de la invasión del mejillón cebra en la cuenca del Ebro (periodo 2005-2009). Limnética, núm. 31, págs. 213-230.

[5] Durán, C.; Lanao, M.; Pérez, L.; Anadón A.; Touya, V. (2010). Management strategies for the zebra mussel invasion in the Ebro river basin. Aquatic Invasions, núm. 5, págs. 309-316.

[6] Guo, S.F.; Lee, H.P.; Chaw, K.C.; Miklas, J.; Teo, S.L.M.; Dickinson, G.H.; Birch,W.R.; Khoo, B.C. (2011). Effect of ultrasound on cyprids and juvenile barnacles. Biofouling, núm. 27, págs. 185-192.

[7] Kowalewski, J.; Patrick, P. (1992). Acoustic as a possible mitigation strategy against zebra mussel settling. Paper presented at Second International Zebra Mussel Conference, February 1992, Toronto. En: O'Neill, C.R.Jr. (1996): The Zebra Mussel. Impacts and Control. Cornell Cooperative Extension, Information Bulletin, nº. 238. New York Sea Grant. Cornell University. State University of New York. 62 págs.

[8] Palau, A.; Cía, I.; Fargas, D.; Bardina, M.; Massuti, S. (2004). Resultados preliminares sobre ecología básica y distribución del mejillón cebra en el embalse de Riba-roja (Río Ebro). Endesa. 43 págs.

[9] Palau,A.; Cía, I. (2006). Métodos de control y erradicación del mejillón cebra (Dreissena polymorpha). Endesa, 51 págs.

[10] Palau, A.; Marín, N.; Orós, J. (2009). Informe de los ensayos realizados en CEIDE con el producto ox-virin para tratamiento del mejillón cebra. Endesa-OXCTA (inédito).

[11] Palau, A.; Marín, N.; Gracia, F. (2010). Valoración de la efectividad del hipoclorito sódico y dióxido de cloro en el control de adultos y larvas de mejillón cebra. Endesa-Ercross (inédito).

CONSULTE MÁS
ARTÍCULOS TÉCNICOS EN

WWW.TECNOAQUA.ES