

**Evaluación de la colonización de *Limnoperna*
fortunei* en la represa de Salto Grande*

(Concurso de precios N°15261)

Informe Final

Ejecución:

Demetrio Boltovskoy y Daniel Cataldo

Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Ciudad Universitaria de Núñez, 1428 Buenos Aires,
Argentina

y

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Evaluación de la viabilidad del cálculo de las densidades de moluscos incrustantes en los sistemas de refrigeración de la planta a través de estimaciones de las densidades de huevos producidos

Este componente del programa de trabajos tuvo por objetivo investigar la factibilidad de desarrollar una metodología tendiente a facilitar el monitoreo del grado de crecimiento de las poblaciones de *Limnoperna* en las instalaciones de la central. Dado que muchos de los componentes del sistema de refrigeración son de acceso restringido, resulta atractivo analizar la posibilidad de desarrollar un indicador indirecto de las densidades de moluscos asentados en estos componentes mediante el monitoreo de las cantidades de huevos producidos por estas poblaciones. El fundamento de este método parte de la estimación de la cantidad de huevos que produce una hembra promedio por unidad de tiempo. El recuento de estos huevos en el agua que ha pasado por el sistema afectado por la colonización podría, en principio, permitir la estimación de la cantidad de hembras asentadas. Dado que la proporción de sexos en esta especie es cercana a 50%-50% (Darrigran et al., 1999), la cantidad total de individuos surge de multiplicar la de hembras por dos.

Las estimaciones cuantitativas deben estar basadas, precisamente, sobre los huevos de la especie, y no sobre otros estadios tempranos de desarrollo ya que la intención es evaluar los productos reproductivos producidos dentro del sistema. A 26°C el pasaje de huevo fecundado a estadio de embrión bicelular demora alrededor de 50-60 minutos (Cataldo et al., 2005), en consecuencia, cualquier estadio posterior al de huevo colectado a la salida del agua de refrigeración ya es producto de la reproducción dentro de las instalaciones de la central, sino proveniente del embalse.

Los resultados de las tres experiencias de campo llevadas a cabo (Fig. 1), presentadas en detalle en el Informe de Avance (ver Apéndice), se suman a continuación.

Experiencia No. 1

Consistió en tomar muestras seriadas durante dos días seguidos de dos vías de agua de río bombeadas (1) a través de un recipiente conteniendo 1364 ejemplares de *Limnoperna*, y (2) sin pasar por ese recipiente. Estos trabajos se realizaron los días 27 y 28 de febrero de 2004

llevando a cabo un total de 20 filtraciones. Las densidades de huevos variaron entre 423 y casi 1,000,000 por m³, sin observarse un patrón consistente en estas oscilaciones. No hubo consistencia en las diferencias entre las densidades de huevos y larvas de *Limnoperna* en el agua proveniente del medio directamente, con respecto a aquella que se esperaba estuviera “enriquecida” con huevos y larvas por pasar por el recipiente con 1364 ejemplares confinados (Fig. 1).

Experiencia No. 2

Semejante a la anterior, pero utilizando una sola vía de agua que, antes de pasar por el recipiente con 1036 ejemplares de *Limnoperna*, era filtrada a través de una red de 26 µm. Realizada los días 8 y 9 de noviembre de 2004 tomándose 8 muestras de 150 a 180 minutos de filtración cada una, correspondiendo a 5-10 m³ de agua por muestra (total: 23 horas y 30 minutos de filtración efectiva). Ninguna de las muestras obtenidas contuvo huevos de *Limnoperna* (Fig. 1).

Experiencia No. 3

En condiciones similares a las de la experiencia número 2, pero aumentando los períodos de filtración a varias horas cada uno. Realizada entre los días 14 y 18 de febrero de 2005. Cantidad de individuos desovantes confinados: 1853. Se observó una muy marcada variabilidad sin regularidad alguna en la producción de huevos (entre 0 y 0.35 por hora por hembra) (Fig. 1).

En vista de estos resultados, en el Informe de Avance se propuso explorar dos caminos alternativos para continuar con este trabajo: (1) Estimación de los huevos producidos por los organismos presentes dentro de las instalaciones de la central hidroeléctrica, y (2) Experiencias de desove en laboratorio.

Estimación de los huevos producidos por los organismos presentes dentro de las instalaciones de la central hidroeléctrica

Los muestreos destinados a llevar a cabo este trabajo se realizaron el día 27 de abril de 2005, en oportunidad de la visita del Dr. Cataldo a la planta. Se tomaron sendas muestras de agua filtrada a través de redes de plancton de 26 µm de poro en la entrada del agua de refrigeración a las instalaciones, y en la salida de la misma, luego de recorrer los circuitos de refrigeración afectados por las incrustaciones de *Limnoperna*. Ninguna de las muestras obtenidas contuvo huevos

del molusco.

Experiencias de desove en laboratorio

Durante el mes de marzo de 2005 se procedió a montar una experiencia de laboratorio con el fin de estimar la cantidad de huevos por hembra por evento reproductivo. Para este fin se dispusieron 10 cámaras de 250 ml cada una con sendos grupos de 12 a 18 individuos provenientes del campo. Cada cámara se aclimató a 18°C durante 48 horas. Al cabo de este período se elevó la temperatura bruscamente hasta 26°C y se agregó amonio cuaternario a cada una de ellas hasta lograr una concentración final de 1.5 ppm. Este procedimiento ha demostrado ser muy efectivo para inducir el desove en ejemplares maduros de esta especie (Cataldo et al., 2005).

La Fig. 2 ilustra los resultados de este trabajo, indicando que en las 10 cámaras experimentales se produjo el desove. La cantidad de huevos obtenidos osciló entre 800 y 328400; estas cifras implican 133 a 29800 huevos por hembra desovante.

Si bien se desconoce la fertilidad de *L. fortunei*, estos valores parecen excesivamente bajos ya que, extrapolándolos al período de vida total del animal, que es de alrededor de 2 años (Boltovskoy y Cataldo, 1999; Cataldo y Boltovskoy, 2000), arrojan unos 6,000 huevos. La comparación con otras especies de bivalvos cuya fertilidad se conoce indica que se trata de un valor sumamente bajo y, por ende, poco realista. Obviamente, esta estimación es aproximada ya que no contempla una infinidad de factores que influyen sobre la reproducción de *Limnoperna*, incluyendo la temperatura del agua, los estímulos químicos, la alimentación, etc. Sin embargo, aún así la fertilidad estimada es incompatible con la información previa sobre especies semejantes, y no condice con el notable éxito reproductivo y de dispersión que ha demostrado esta especie en Sudamérica.

Los resultados de los desoves llevados a cabo en el laboratorio también presentan dificultades para su interpretación derivadas de imprecisiones en la estimación de la cantidad de eventos reproductivos por unidad de tiempo que presenta el animal. Suponiendo que la cantidad total de huevos que emite una hembra durante su vida sea de cerca de 1,000,000, cifra razonable si se la compara con otras especies de bivalvos de alta fecundidad, como *Dreissena polymorpha*, y que *Limnoperna* vive unos dos años (Boltovskoy y Cataldo, 1999; Cataldo y Boltovskoy, 2000), a un ritmo de unos 11,000 huevos por evento reproductivo (promedio de los valores ilustrados en la Fig. 2), el animal debería desovar unas 90 veces en su vida, o aproximadamente 45 veces por año. Esta cantidad de desoves parecería algo elevada ya que

los tiempos de recuperación entre un desove y el siguiente se abreviarían demasiado. En consecuencia, es muy probable que los resultados de estos desoves experimentales subestimen la verdadera fecundidad del animal.

En vista de los resultados expuestos, se concluye que la metodología ensayada no es aplicable a la estimación de las densidades de moluscos incrustantes asentados en las instalaciones de la central porque:

- (1) La intermitencia en la producción de huevos es muy marcada, alternando períodos de mucha actividad con otros en los cuales la producción desciende a valores casi nulos;
- (2) Esta aleatoriedad, asociada con una distribución irregular de los huevos en el agua debido a particularidades del flujo y de los accidentes que afectan a aquél, resulta en una ciclicidad temporal irregular e impredecible;
- (3) La variabilidad resultante supera ampliamente los límites de detección del método.

En consecuencia, se concluye que el cálculo de las densidades de moluscos en los sistemas de refrigeración de la planta no puede ser abordado a través de estimaciones de las densidades de huevos producidos.

Cabe destacar que en la propuesta original elevada y aceptada por la CTMSG ya se había anticipado que tanto el concepto mismo como la metodología involucrada son inéditos y jamás han sido ensayados anteriormente, motivo por el cual su viabilidad ofrecía dudas. Los trabajos expuestos indican que, en *Limnoperna*, la variabilidad temporal en la producción de huevos es demasiado pronunciada para permitir este tipo de estimación.

Estudio del ciclo reproductivo de *L. fortunei* mediante el monitoreo de las densidades de sus larvas en agua del embalse y estimación de los factores ambientales potencialmente reguladores

Entre el 15 de junio de 2004 y el 15 de agosto de 2005, semanalmente se obtuvieron muestras de agua de 2000 litros cada una, principalmente de la unidad 4 de la central. Con el fin de verificar la ausencia de diferencias entre sitios de obtención de las muestras, en algunas oportunidades éstas también se tomaron en las unidades 2, 8 y 11. En total se tomaron 63 muestras con red de plancton con malla de 0.026 mm de poro en las cuales se contabilizaron todos los estadios planctónicos de *Limnoperna fortunei* presentes (huevos, larvas no valvadas y larvas valvadas), así como los cladóceros y los copépodos. En la Tabla 1 y las Figs. 3 y 4 se presentan los resultados obtenidos.

Entre el comienzo de los trabajos, en junio de 2004, y principios de septiembre del mismo año prácticamente no hay larvas de *Limnoperna* en el agua del embalse. Recién a fines de septiembre comienzan a aparecer en las muestras con densidades muy bajas (alrededor de 100 individuos por m³ de agua filtrada), y en octubre aumentan bruscamente a niveles que frecuentemente superan los 3000 individuos por m³ de agua filtrada (Fig. 3). Los valores altos se mantienen hasta enero de 2005, y en la muestra tomada el 19 de enero caen repentinamente a menos de 100 individuos/m³, manteniéndose en niveles muy bajos hasta el mes de marzo. En marzo-abril vuelven a repuntar brevemente hasta alcanzar más de 4000 individuos/m³, para descender nuevamente a niveles cercanos a cero en mayo. Entre mayo y julio de 2005 las densidades permanecen por debajo de los 100 individuos/m³, y vuelven a subir a mitades de agosto.

La disminución en las densidades de larvas de *Limnoperna* en el embalse de Salto Grande observada en los meses de mayo a septiembre repite en términos generales lo observado en años anteriores tanto en el Río de la Plata superior, como en el Paraná de las Palmas inferior (Fig. 5). En los meses invernales, coincidentes con las más bajas temperaturas del agua, *Limnoperna* interrumpe casi totalmente la actividad reproductiva. Cataldo y Boltovskoy (2000) sugirieron que, en la vecindad del delta inferior del Río Paraná, el umbral térmico por debajo del cual cesa la emisión de gametas oscila alrededor de los 16-17°C. Sin embargo, si bien la temperatura tiene un rol protagónico en este proceso, no es la única variable que modula la reproducción del animal. En el Paraná superior, donde la temperatura del agua no

baja de aproximadamente 20°C, también existe un lapso de descanso reproductivo (Fig. 6; Cataldo et al., 2005). En esta localidad, entre marzo y junio de 2002 las densidades son moderadas y se observa un sostenido aumento desde unas 20-30 larvas por m³, en marzo, hasta más de 400 a mitades de junio. En julio las densidades caen abruptamente y se mantienen por debajo de los 30-40 individuos por m³ hasta fines de septiembre. Desde mediados de octubre la población aumenta muy marcadamente y este incremento se mantiene de manera sostenida hasta febrero-marzo de 2003, aunque con altibajos muy importantes.

Este comportamiento sugiere la influencia de dos fuentes de variación diferentes: por un lado la estacional, y por el otro la supraestacional debida a la colonización creciente del embalse. En efecto, los efectos del proceso en curso de colonización del embalse se observan en la tendencia general creciente de los valores registrados, y sobre todo en la comparación de iguales períodos en dos años sucesivos. La densidad media de marzo de 2003 (unas 800 larvas por m³) es un orden de magnitud más alta que la registrada durante el mismo mes el año anterior (menos de 70 larvas por m³, en promedio) (Fig. 6). Si bien la información disponible no permite descartar la influencia de cambios interanuales en los factores ecológicos sobre esta diferencia, lo más probable es que la misma sea resultado directo de una mayor cantidad de adultos desovantes en el embalse en 2003 que en 2002.

Desde el punto de vista del control de la plaga en las instalaciones de la central estos resultados tienen varias implicancias de interés. En primer lugar, se observa claramente que la especie tiene un período de relajación reproductiva muy pronunciado. Para las estrategias de control de las incrustaciones esto representa un lapso de tiempo importante en que el animal disminuye muy sensiblemente la producción de larvas y, por ende, permite una disminución en la intensidad de las operaciones de lucha con la plaga (e.g., limpieza manual, inyección de tóxicos, etc.).

Otro punto de interés comparativo entre la situación en Itaipú en 2002-2003 y aquella en el embalse de Salto Grande en 2004-2005 es que en ambos casos la colonización por parte de la especie parece estar solo en sus comienzos. Al igual que en Itaipú, en Salto Grande la gran mayoría de los valores de densidad larval en el agua son bajos, sobre todo comparados con los del Paraná inferior (Fig. 5). La media para el Río Paraná inferior en los datos ilustrados en la Fig. 5 es de 5761 individuos por m³, y para el Río de la Plata 4782 individuos por m³. En Itaipú el mismo valor es más de 10 veces más bajo: 349 individuos por m³ (Fig. 6), y en Salto Grande la media es menor aún: 106 individuos por m³ (Fig. 7).

L. fortunei es un animal de distribución originariamente tropical, y por ende está mejor adaptado a las temperaturas más altas del Río Uruguay medio que a las más bajas del Río de la Plata. Además, por sus características geomorfológicas, el Río Uruguay dispone de una oferta mucho más amplia de sustratos duros para el asentamiento del molusco que el Río Paraná, cuyo fondo y costas son característicamente limosos. En consecuencia, es razonable inferir que en la zona de Salto Grande el desarrollo y dispersión de *Limnoperna* serán superiores a los que ha logrado en áreas más australes y en el Río Paraná. Una evidencia de ello es que en el embalse de Itaipú el animal crece hasta los 4 cm de talla, mientras que en el Río de La Plata los animales más grandes raramente exceden los 3 cm. En virtud de ello, es probable que las comparativamente bajas densidades de larvas en el agua del embalse de Salto Grande sean, al menos parcialmente, el resultado de su llegada relativamente reciente al área, y que en la actualidad el animal se encuentra en expansión. Para los problemas relacionados con sus incrustaciones en las instalaciones de la planta ello implica que el nivel actual de infestación probablemente se incremente en el futuro.

Otro detalle de interés que se observa en el ciclo analizado en Salto Grande es el marcado descenso en las densidades larvales que se produce en pleno verano, entre enero y marzo de 2005 (Fig. 3). Este descenso no fue registrado en ningún otro de los sitios monitoreados y representa una particularidad del embalse de Salto Grande. Tal como se destacara en el informe de avance, una disminución de esta magnitud y persistencia no es característica del ciclo del animal en los demás ambientes analizados. Normalmente enero está caracterizado por valores intermedios; más reducidos que los de primavera, pero nunca tan bajos como los típicos de invierno. En Salto Grande, los demás organismos zooplanctónicos también decrecen en abundancia en enero de 2005, pero los valores se recuperan unas semanas más tarde (Fig. 4), cosa que no ocurre con las larvas de *Limnoperna* hasta fines de marzo (Fig. 3).

La explicación de este descenso tan marcado no parece ser sencilla. El mismo no puede ser atribuido a la temperatura, ya que ésta sigue el patrón normal para esta época del año (Fig. 3). Existe cierta coincidencia temporal entre la merma en la densidad de larvas y el nivel de agua en el embalse, que sufre una muy fuerte reducción desde noviembre de 2004 (Fig. 8). Si bien la disminución del volumen *per se* no debe afectar al molusco, sí podría hacerlo la disminución de la cota en la medida en que está asociada con el secado de una importante franja perimetral, lo que a su vez condiciona la muerte de los bivalvos allí asentados y la consiguiente merma en la producción de larvas. Sin embargo, dado que una relación causa-efecto de este tipo afectaría primariamente a los animales asentados, es decir a los adultos reproductores, y a través de éstos a las larvas; el efecto sobre estas últimas sería duradero, ya que implicaría una merma por escasez de reproductores. En consecuencia, el retorno a las

condiciones “normales” demandaría al menos algunos meses, que es el tiempo necesario para reponer el stock de reproductores preexistente. Sin embargo, la recuperación de las densidades elevadas de larvas en los últimos muestreos llevados a cabo indica que este no es el caso (Fig. 3), y sugiere que cualesquiera que hayan sido los efectos que produjeron este descenso afectaron solamente a las larvas, y no a los adultos.

Una alternativa que surge como explicación plausible a este fenómeno son los efectos adversos de la toxicidad de las floraciones algales en el embalse, en particular las de la cianobacteria *Microcystis*. Investigaciones sobre el efecto de las algas tóxicas, en particular de cepas tóxicas de *Microcystis*, en la supervivencia de las larvas y adultos de moluscos de agua dulce mostraron que esta cianobacteria puede disminuir las tasas de sobrevivencia de los animales (en comparación con organismos alimentados con algas no tóxicas) (Dionisio Pires et al., 2003). Si bien algunos invertebrados acuáticos, incluyendo las larvas de moluscos, pueden adaptarse a condiciones de toxicidad, incluyendo las debidas a floraciones de cianobacterias, modificando su metabolismo de aeróbico a anaeróbico (Birger et al., 1979), otras especies no disponen de este mecanismo.

Trabajando con el molusco cebra en los grandes lagos del norte de los EEUU, Vanderploeg et al. (2001) encontraron que este animal filtrador, de hábitos y efectos ambientales muy semejantes a los de *Limnoperna*, favorece las floraciones de *Microcystis aeruginosa* porque si bien retiene al alga en la filtración (cepas tóxicas y no tóxicas), no lo ingiere a igual tasa que otras algas más palatables, desechándolo con las pseudoheces. Sin embargo, en un trabajo posterior el mismo investigador concluyó que las cianobacterias no son rechazadas diferencialmente en la alimentación de *Dreissena polymorpha*, y hasta es probable que sean seleccionadas positivamente. Mas aún, en 2005, analizando el efecto de *Dreissena* sobre las poblaciones de *Microcystis* en lagos holandeses poco profundos, Dionisio Pires et al. (2005) concluyen que el molusco se alimenta activamente de cepas tanto tóxicas como no tóxicas del alga, y que el desarrollo de sus poblaciones puede constituir una excelente medida de prevención y control de los efectos indeseables del alga. Para *Limnoperna*, Rückert et al. (2004) en experiencias de laboratorio hallaron que el bivalvo se alimenta de cianofitas potencialmente tóxicas (*Microcystis*, *Pseudanabaena*) a tasas semejantes a aquéllas con que consume clorofitas (de 17 a 24 ml por mg de peso seco por hora; ver también Sylvester et al., 2005). Sin embargo, en este trabajo no se establece si las cepas utilizadas fueron efectivamente tóxicas. Por otro lado, tampoco se verifica si la alimentación de los estadios larvales es similar a la de los adultos, y si la especie fuera sensible a la microcistina, es muy factible que la sensibilidad de las larvas sea superior a la de los adultos, y en consecuencia la mortalidad entre las primeras sería mayor que entre los individuos maduros.

Paralelamente al estudio de la evolución temporal de las cantidades de larvas en el embalse, se llevó a cabo un monitoreo de simulación del incremento en las cantidades de organismos incrustantes en las instalaciones de la central mediante dos bioboxes instalados en sendas salidas de agua de refrigeración (Fig. 9). Cada biobox estaba provisto de 10 placas de colonización a ser retiradas de acuerdo a un cronograma predefinido.

Los resultados de este trabajo, ilustrados en la Fig. 10, indicaron colonización prácticamente nula entre el 15 de junio y el 13 de diciembre de 2004. La ausencia de reclutamiento sobre las placas experimentales a principios del período cubierto es resultado de la baja actividad reproductiva del animal durante el invierno. Sin embargo, desde octubre de 2004 la densidad de larvas en el agua muestra valores razonablemente altos (Fig. 3), motivo por el cual resulta llamativa la ausencia de juveniles sobre los sustratos utilizados. No tenemos, hasta el momento, una explicación satisfactoria de este resultado.

Anteproyecto de control y manejo preventivo

Los principales efectos negativos de *L. fortunei* sobre las instalaciones industriales derivan de la capacidad del molusco de adherirse a las superficies de las tuberías, válvulas, tamices, y demás estructuras sumergidas o permanentemente en contacto con el agua, fijándose a ellas y formando “colonias” de millones de ejemplares. Sin embargo, la dispersión de la especie, y por ende el ingreso de la plaga en las instalaciones industriales, no se produce en forma de organismos adultos, sino a través de las larvas y juveniles tempranos en suspensión en el plancton. En este sentido es importante destacar que no todos los estadios larvales del animal pueden fijarse sobre el sustrato, sino solamente aquellos que ya están suficientemente maduros para adoptar la vida sedentaria y cuentan con un pie muscular y adherente para explorar el sustrato y reptar sobre él. En consecuencia, las fuentes de “contaminación” no son las poblaciones que se encuentran ya establecidas dentro de la planta, ya que el producto de la reproducción de éstas no alcanzará el grado de madurez necesario antes de salir de las instalaciones. El biofouling, entonces, se debe a la reproducción de poblaciones que se encuentran a cierta distancia de las tomas de agua cruda. Esta distancia depende de la velocidad de la corriente y de la temperatura del agua. A mediados del verano, cuando la temperatura del agua llega a cerca de 30°C, los organismos están listos para fijarse solo once días luego de la fecundación, mientras que a partir e mediados del otoño y a principios de la primavera, cuando la temperatura cae por debajo de los 20-25°C, son necesarios hasta más de 20 días.

Esta información permite esbozar las siguientes conclusiones:

(1) Las poblaciones adultas presentes dentro de la central y en sus inmediaciones tienen un efecto muy limitado sobre el biofouling.

(2) Esta consideración condiciona la conveniencia de efectuar limpiezas manuales o mecánicas de las incrustaciones que se forman sobre las estructuras externas, rejillas, paredones de concreto, etc., así como de los componentes internos de los sistemas de agua de refrigeración cuya colonización no representa un inconveniente directo para el funcionamiento de la central.

(3) El conocimiento de las tasas de desarrollo asociadas a las temperaturas comprendidas en el rango de fluctuaciones anuales característico de las condiciones del embalse de Salto Grande, en combinación con los tiempos de residencia del agua en diferentes secciones del sistema y

las velocidades de flujo en el embalse ofrecen la información necesaria para decidir si una colonia determinada puede o no incidir sobre la colonización de componentes internos.

En función de estos condicionantes, surgen dos alternativas posibles para el control de las incrustaciones en las instalaciones de la central: (a) retención de las larvas antes de su entrada en los sistemas de refrigeración, y (b) eliminación de los individuos colonizantes luego de su asentamiento en el sistema. En el segundo caso hay, a su vez, dos alternativas viables: (b1) eliminación de los organismos antes de su asentamiento, y (b2) eliminación de los moluscos luego del asentamiento. Tal como se ilustra en la Fig. ESQU, las medidas de control después del asentamiento de los moluscos en las instalaciones cuentan con numerosas opciones; la mayoría de éstas, sin embargo, suelen presentar inconvenientes y limitaciones de importancia que restringen mucho su aplicación (ver Informe de Avance). La única estrategia de amplia difusión, aplicable en la mayoría de las situaciones, y de probada eficacia es el control químico.

El agregado de sustancias tóxicas para las larvas y adultos de los moluscos es una de las tecnologías más difundidas y para la cual se cuenta con mayor cantidad de información. Existen varias decenas de sustancias que se han ensayado para este propósito. Algunas de ellas son específicamente dirigidas a moluscos, mientras que otras son tóxicos de más amplio espectro. Para muchas de ellas, sin embargo, los ensayos están limitados a situaciones experimentales de laboratorio. Las consideraciones de peso que se manejan para la adopción de tal o cual compuesto químico incluyen:

- La toxicidad residual del líquido tratado, en particular para los demás organismos que habitan las aguas utilizadas;
- La eficacia del compuesto elegido en controlar la plaga;
- Los costos involucrados;
- La complejidad de los aspectos operativos involucrados.

Compuestos oxidantes

Debido a sus costos moderados y la amplia experiencia histórica asociada a su uso, los compuestos halogenados, son actualmente los más utilizados. Entre los más utilizados por la industria se cuentan los siguientes:

- a. Cloro (en forma gaseosa, líquida, como hipoclorito de sodio, como hipoclorito de calcio)
- b. Dióxido de cloro
- c. Cloraminas, como la monocloramina (NH_2Cl).
- d. Ozono (O_3)

- e. Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)
- f. Bromo
- g. Permanganatos (MnO₄⁻), como el permanganato de potasio

El más común de éstos es el cloro. El límite de concentración inferior efectivo para *Dreissena* puede oscilar en 0.2-0.13 mg por litro (residual; para mantener estos valores en la totalidad del sistema en el punto de inyección debe aplicarse una cantidad sustancialmente mayor, dependiendo del tipo, extensión y demás características de la planta, en algunos casos hasta más de 2 o 3 mg/l). Para evitar la precipitación debido al pH elevado resultante se agregan otros compuestos químicos en bajas cantidades, como pirofosfato tetrapotásico.

El cloro es una de las sustancias más difundidas para el control de biofouling en general. Es un producto comparativamente barato, generalmente efectivo, de fácil disponibilidad, ampliamente conocido por los operadores y razonablemente tolerado por la opinión pública por su utilización en los procesos de potabilización. Su mayor desventaja es que, en presencia de sustancias orgánicas, genera compuestos altamente tóxicos, cancerígenos y sumamente estables - los trihalometanos. En consecuencia, la utilización del cloro está severamente reglamentada, en particular cuando se trata de aguas crudas, sin separación previa del material particulado.

En el caso de *Limnoperna*, sin embargo, los tratamientos con cloro son muy inefectivos. A temperaturas bajas (15°C), los animales adultos soportan concentraciones de cloro activo de hasta 100 ppm durante dos semanas con mortalidades nulas. A temperaturas más altas, en el rango de los valores de las aguas de Salto Grande en el verano (25°C), la toxicidad aumenta mucho pero aún es insuficiente para un control adecuado de la plaga: a 5 ppm se requieren 10 días para eliminar el 50% de los moluscos expuestos. Otro problema importante de los compuestos clorados (así como de muchos otros, como las sales de cobre, cloruro o sulfato de potasio, etc.), es su baja selectividad en la toxicidad, de manera que algunos resultan varias veces más tóxicos para los peces y otros organismos que para los moluscos.

En vista de estas consideraciones, no se recomienda el uso de los compuestos oxidantes para el control de *Limnoperna* en las instalaciones de la central.

Compuestos no oxidantes

Estas sustancias incluyen las formulaciones no genéricas y comerciales registradas en los últimos años para el control del molusco cebra. Sus características químicas y sus efectos son

muy diferentes a las de los compuestos oxidantes, y también ofrecen un rango más amplio de opciones de aplicación y usos.

Entre los moluscidas no oxidantes utilizados en los últimos años se incluyen los siguientes:

Compuestos cuaternarios y policuaternarios del amonio

BULAB 6002

Calgon H-130M

Clam-Trol (=Spectrus CT 1300)

Macrotról 9210

VeliGON

Hidrocarburos aromáticos

Bulab 6009

Mexel 432

Endothall

EVAC

Metales y sales metálicas

Iones de cobre

MacroTech

Compuestos del potasio

Los amonios cuaternarios son particularmente efectivos para el control de los moluscos bivalvos. Su acción es a nivel de las membranas celulares entorpeciendo el intercambio de gases y, por ende, asfixiando al animal. Estos productos tienen la ventaja de ser utilizados en dosis bajas (1 a 3 ppm), son generalmente más tóxicos para la especie blanco que para los demás organismos, y son rápidamente biodegradables. La mayoría de ellos han sido ensayados con *Dreissena*, pero algunos también con *Limnoperna*.

En la aplicación de estos productos hay varios detalles de importancia a tener en consideración:

Modo de acción

Estrategias de aplicación

Cronograma de las aplicaciones

Tasas de dosificación

Restricciones de uso

Características toxicológicas

Precauciones

Uso de detoxificadores

Técnicas de aplicación

Es importante destacar que la toxicidad tanto de los compuestos oxidantes como la de los no oxidantes difiere mucho no solamente con las condiciones del medio, sino también con las especies. Por ejemplo, en los ensayos realizados *Limnoperna* ha demostrado ser varias veces más resistente a la mayoría de los compuestos moluscicidas que *Dreissena* (ver Informe de Avance). En consecuencia, si bien el valor de la información previa para *Dreissena* es indiscutible, hay que destacar que no se pueden hacer extrapolaciones directas entre las situaciones estudiadas en Europa y los EEUU y la local. Las diferencias en la anatomía y fisiología de las especies consideradas son responsables de grados variables de susceptibilidad a los agentes biocidas y antiincrustantes. Estas diferencias pueden ser potenciadas por contrastes entre los factores ecológicos involucrados, tales como temperatura y composición química (especialmente dureza) de las aguas, presencia/ausencia y concentración de sustancias contaminantes y sólidos en suspensión, características y estacionalidad del caudal, variaciones en la disponibilidad de alimento, etc.

Como resultado de los estudios de la toxicidad de compuestos específicos sobre los adultos y larvas de *L. fortunei* se definieron con mucha precisión los productos más eficaces, los períodos de exposición necesarios, la variación de la toxicidad con la temperatura (y, en consecuencia, con la época del año). Los resultados de laboratorio fueron muy satisfactoriamente validados con experiencias en planta por medio del uso de bioboxes. Estos resultados permiten abordar un programa de control químico con una inversión económica y un impacto ambiental mínimos. Si bien la gama de productos disponibles en el mercado excede ampliamente al espectro de aquellos ensayados en estos estudios, dado que los productos activos involucrados son relativamente pocos, las conclusiones de este trabajo permiten cierta extrapolación de resultados.

Una consideración de mucha importancia es la referente al estadio de desarrollo del animal que se encarará en calidad de blanco para controlar. Tal como se ilustra en la Fig. 11, el control puede estar orientado a las larvas o a los adultos. Los estadios no adultos de la gran mayoría de las especies son generalmente más sensibles a las condiciones adversas que los adultos. En este sentido, *Limnoperna* no constituye una excepción: sus larvas son más vulnerables a los tratamientos con sustancias tóxicas que los animales adultos. En consecuencia, las estrategias de control orientadas a eliminar a las larvas pueden utilizar concentraciones de moluscicida más bajas (Fig. 12). Sin embargo, esta ventaja comparativa es totalmente contrarrestada por la necesidad de recurrir a aplicaciones de moluscicida mucho más frecuentes. En efecto, dado que el animal se reproduce prácticamente sin interrupciones

durante unos 8-9 meses al año, las estrategias de control de las larvas deben mantener una dosificación baja pero permanente en el sistema a fin de evitar el asentamiento y proliferación de los colonizantes. De esta manera, el ahorro económico y disminución del impacto ambiental que se logran con las concentraciones algo más bajas son contrarrestadas con la necesidad de dosificar el producto de manera prácticamente ininterrumpida entre los meses de septiembre y abril o mayo (Fig. 5).

Una alternativa a este procedimiento consiste en orientar el manejo preventivo a anular a los animales juveniles y adultos tempranos. En este caso la periodicidad de las aplicaciones puede ser mucho más espaciada tomando como objetivo que las poblaciones dentro de la planta no lleguen a desarrollar animales de más de unos 4-6 mm. Para *Limnoperna* esta talla implica unos 3-4 meses de vida, involucrando por ende unos 3 a 4 tratamientos por año. De esta manera se puede mantener un sistema razonablemente limpio de incrustaciones mediante tratamientos de 2 días de duración. Los animales de la talla máxima alcanzada en después de la aplicación anterior (unos 4-6 mm, dependiendo de la época del año) son demasiado pequeños aún como para provocar problemas de taponamiento de tuberías importantes, no modifican sustancialmente las propiedades de las paredes internas de las cañerías, y en caso de desprendimientos sus valvas son todavía delgadas y poco calcificadas, de manera que no representan grandes peligros interferir con el flujo del agua de refrigeración. Las concentraciones de producto moluscicida a utilizar serán diferentes de acuerdo al compuesto que se elija; algunos amonios cuaternarios son muy efectivos a concentraciones tan bajas como 2 a 3 ppm.

A los pocos días de finalizado un tratamiento efectivo se produce el desprendimiento masivo de los animales. Este fenómeno es particularmente notable en los sistemas muy incrustados, sin tratamientos previos o con tratamientos inefectivos. Una manera de mitigar este efecto, sobre todo cuando se comienza un programa de control nuevo en un sistema seriamente comprometido, es efectuando la inyección de tóxico no en la sección inicial del recorrido del agua de refrigeración, sino a mitad del recorrido, o el su cuarto final. De esta manera los desprendimientos estarán circunscriptos al sector tratado, y no provendrán de todo el recorrido del agua de refrigeración.

Sobre la base de las consideraciones expuestas, para el control preventivo de las incrustaciones se recomienda el tratamiento de los sistemas afectados con inyecciones de moluscicida no oxidante 3 o 4 veces entre los meses de septiembre y abril. El compuesto recomendado es el Spectrus CT1300, que ha demostrado buenos resultados tanto en experiencias de laboratorio como en ensayos piloto en el campo. Las concentraciones

recomendadas son de 2 a 2.5 ppm (residual) con un tiempo de inyección de 48 horas. Esta estrategia logra eliminar más del 90% de los animales asentados en el sistema tratado.

Referencia bibliográficas

- Birger T.I., Malyarevskaya A.Ya., Sherstyuk V.V., Gusynskaya S.L. 1979. Resistance of zooplankton organisms exposed to the metabolites of blue-green algae. *Hydrobiological Journal*, 15(4):76-80.
- Boltovskoy D., Cataldo D. 1999. Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the Lower Paraná river (Argentina). *Biofouling*, 14:255.
- Cataldo D., Boltovskoy D. 2000. Yearly reproductive activity of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia) as inferred from the occurrence of its larvae in the plankton of the lower Paraná river and the Río de la Plata estuary (Argentina). *Aquatic Ecology*, 34:307-317.
- Cataldo, D., Boltovskoy, D., Hermosa, J.L., Canzi, C. 2005. Temperature-dependent larval development rates of *Limnoperna fortunei* (Mollusca, Bivalvia). *Journal of Molluscan Studies*, 71(1):41-46.
- Cataldo D., Sylvester F., Boltovskoy D. 2005. El mejillón dorado: estudios experimentales (desarrollo larval y tasas de filtración). En: "Invasores. Invertebrados bentónicos introducidos en el Río de la Plata y región costera marina aledaña" (P. E. Penchaszadeh, coord.), EUDEBA, Buenos Aires, pp. 103-132.
- Darrigran G., Penchaszadeh P., Damborenea M.C. 1999. The reproductive cycle of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857)(Mytilidae) from a neotropical temperate locality. *J. Shellfish Res.*, 18(2):361-365.
- Dionisio Pires L.M., Bontes B.M., Van Donk E., Ibelings B.W. 2005. Grazing on colonial and filamentous, toxic and non-toxic cyanobacteria by the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *J. Plankton Res.*, 27:331-339.
- Dionisio Pires L.M., Jonker R.R., Van Donk E., Laanbroek H.J. 2004. Selective grazing by adults and larvae of the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*): application of flow cytometry to natural seston. *Freshwater Biology*, 49(1):116-126.
- Dionisio Pires L.M., Kusserow R., Van Donk E. 2003. Influence of toxic and non-toxic phytoplankton on feeding and survival of *Dreissena polymorpha* (Pallas) larvae. *Hydrobiologia*, 491(1-3):193-200.
- Sylvester F., Dorado J., Boltovskoy D., Juárez A., Cataldo D. 2005. Filtration rates of the invasive pest bivalve *Limnoperna fortunei* as a function of size and temperature. *Hydrobiologia*, 534(1-3):71-80.
- Vanderploeg H.A., Liebig J.R., Carmichael W.W., Agy M.A., Johengen T.H., Fahnenstiel G.L., Nalepa T.F. 2001. Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) selective filtration promoted toxic *Microcystis* blooms in Saginaw Bay (Lake Huron) and Lake Erie. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58:1208–1221.

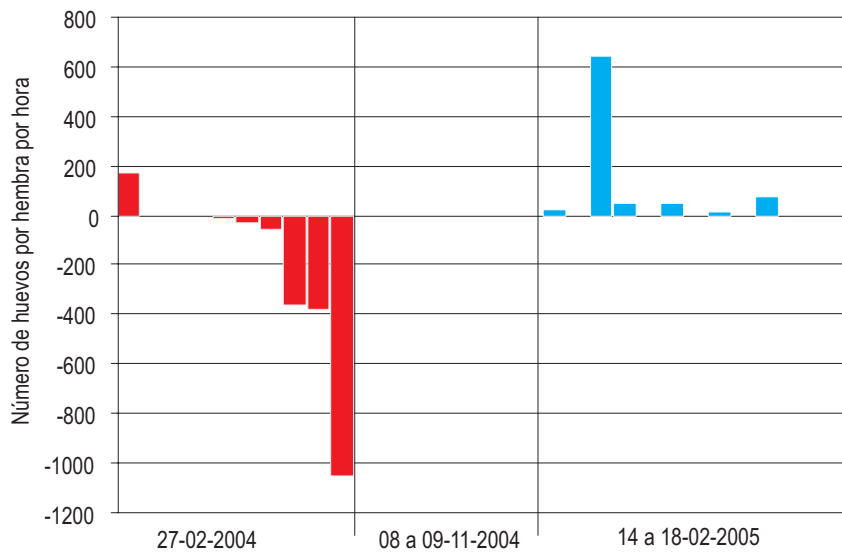


Fig. 1. Resultados de las tres experiencias de campo para la estimación de las cantidades de huevos producidos por *Limnoperna* por unidad de tiempo. Los valores negativos, sin significado biológico, derivan de los fundamentos de la metodología aplicada y subrayan la gran variabilidad en la producción de huevos por parte de esta especie y de su distribución en la columna de agua.

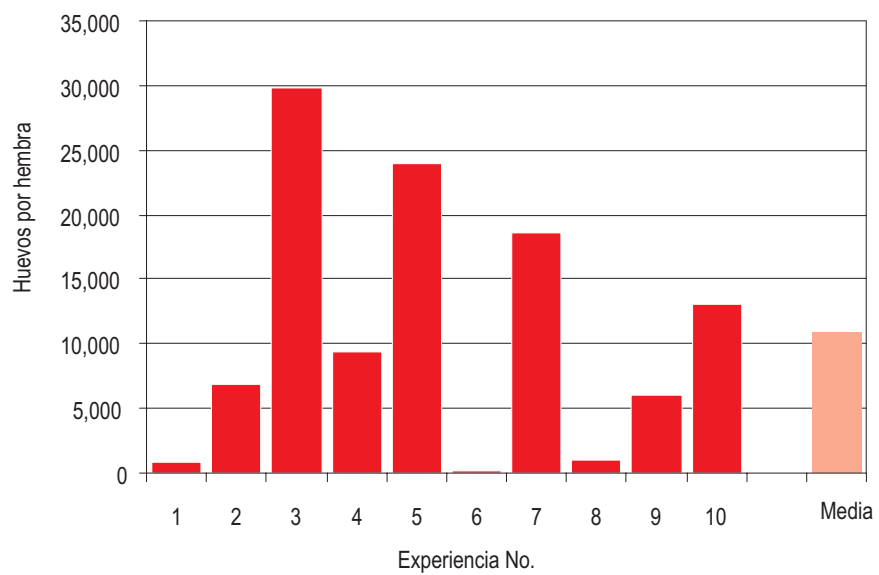


Fig. 2. Resultados de las experiencias de desove en laboratorio para la estimación de las cantidades de huevos producidos por *Limnoperna* por unidad de tiempo.

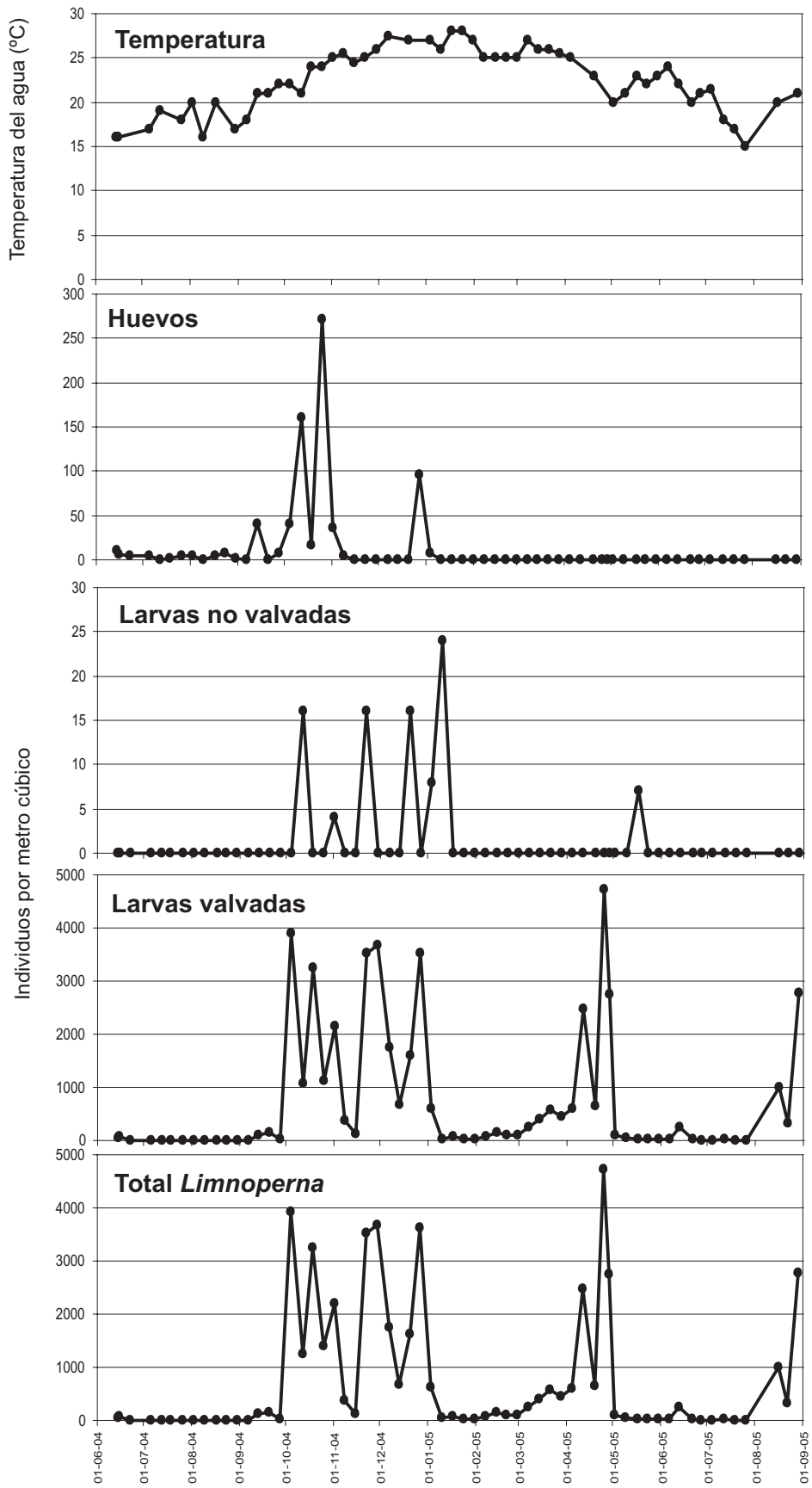


Fig. 3. Fluctuaciones en la abundancia de estados preimaginales de *L. fortunei* en el agua del embalse Salto Grande entre el 15 de junio de 2004 y el 29 de agosto de 2005.

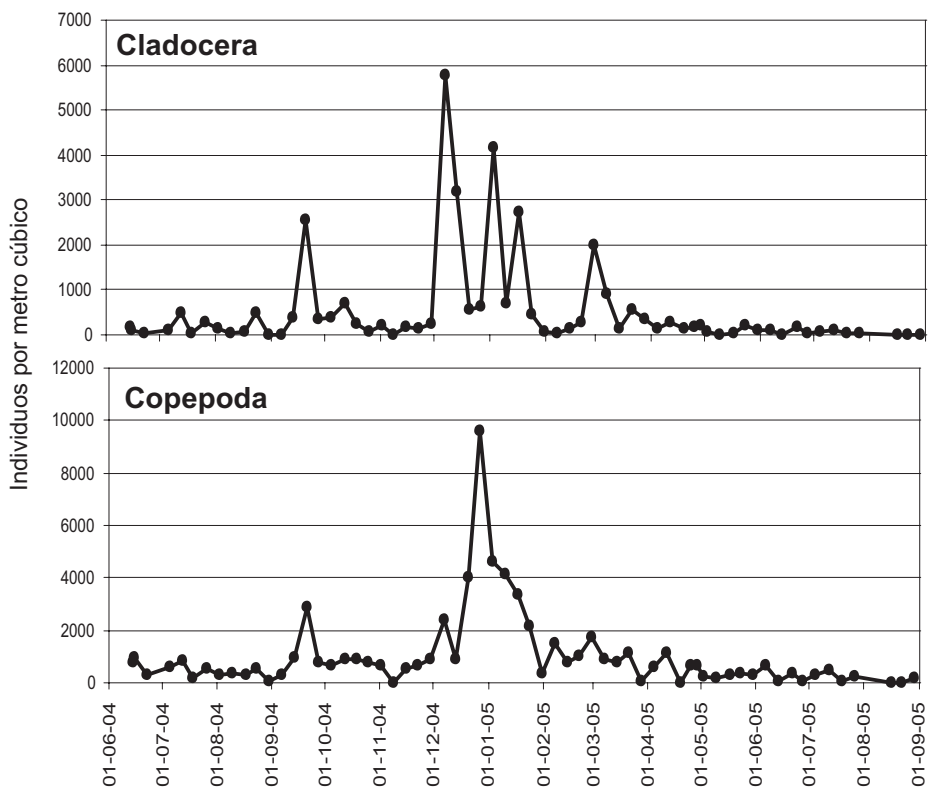


Fig. 4. Fluctuaciones en la abundancia de las densidades de cladóceros y copépodos en el agua del embalse Salto Grande entre el 15 de junio de 2004 y el 29 de agosto de 2005.

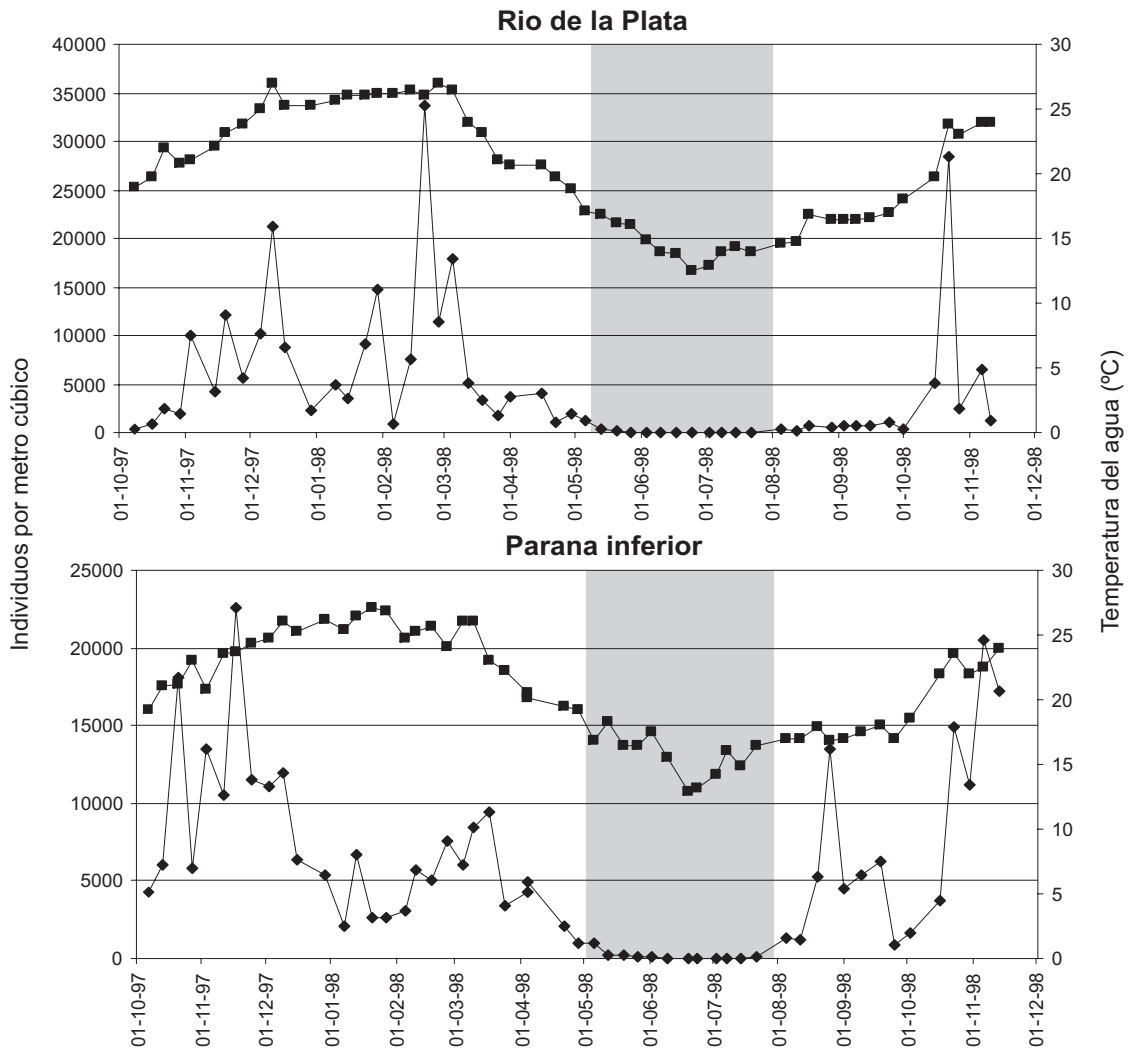


Fig. 5. Fluctuaciones en la abundancia de larvas de *Limnoperna fortunei* en el Río de la Plata superior y en el Paraná de las Palmas inferior (a la altura de la localidad de Lima, Provincia de Buenos Aires) en los años 1997-1998. El área grisada identifica el período invernal de reposo reproductivo.

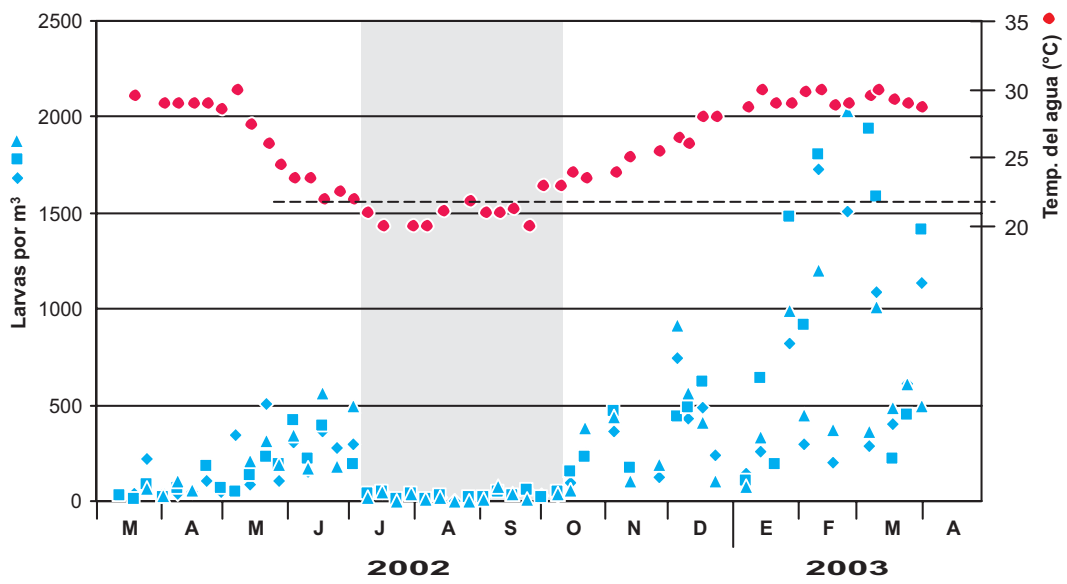


Fig. 6. Fluctuaciones en la abundancia de larvas de *Limnoperna fortunei* en el embalse de Itaipu en los años 2002-2003. El área grisada identifica el período invernal de reposo reproductivo.

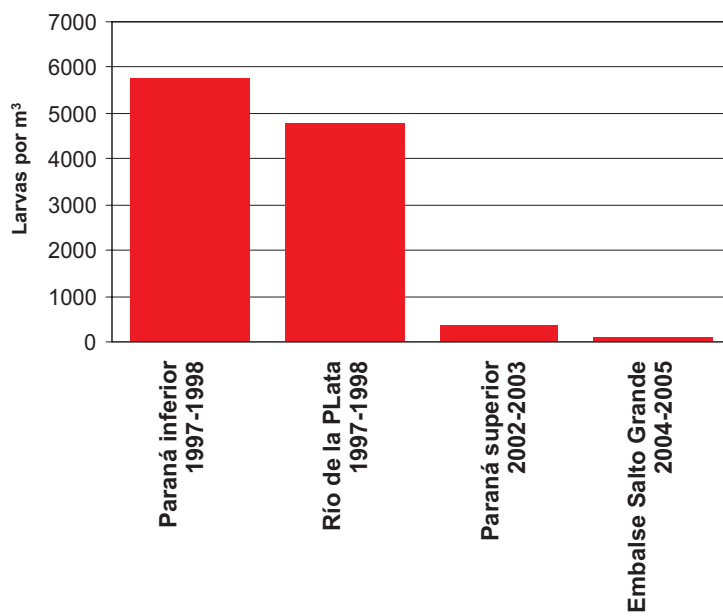


Fig.7. Medias de largo plazo en las densidades de larvas de *Limnoperna fortunei* en varios ambientes de agua dulce del sistema Paraná-Uruguay.

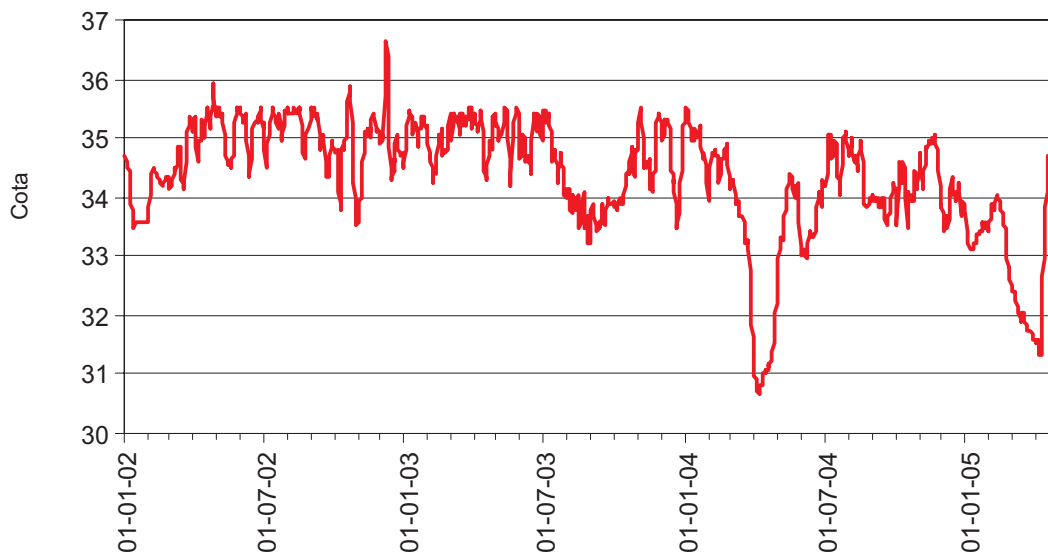


Fig. 8. Variaciones en la cota del embalse Salto Grande entre 2002 y principios de 2005.



Fig. 9. Esquema general de la disposición de los bioboxes utilizados para los estudios de colonización de las instalaciones.

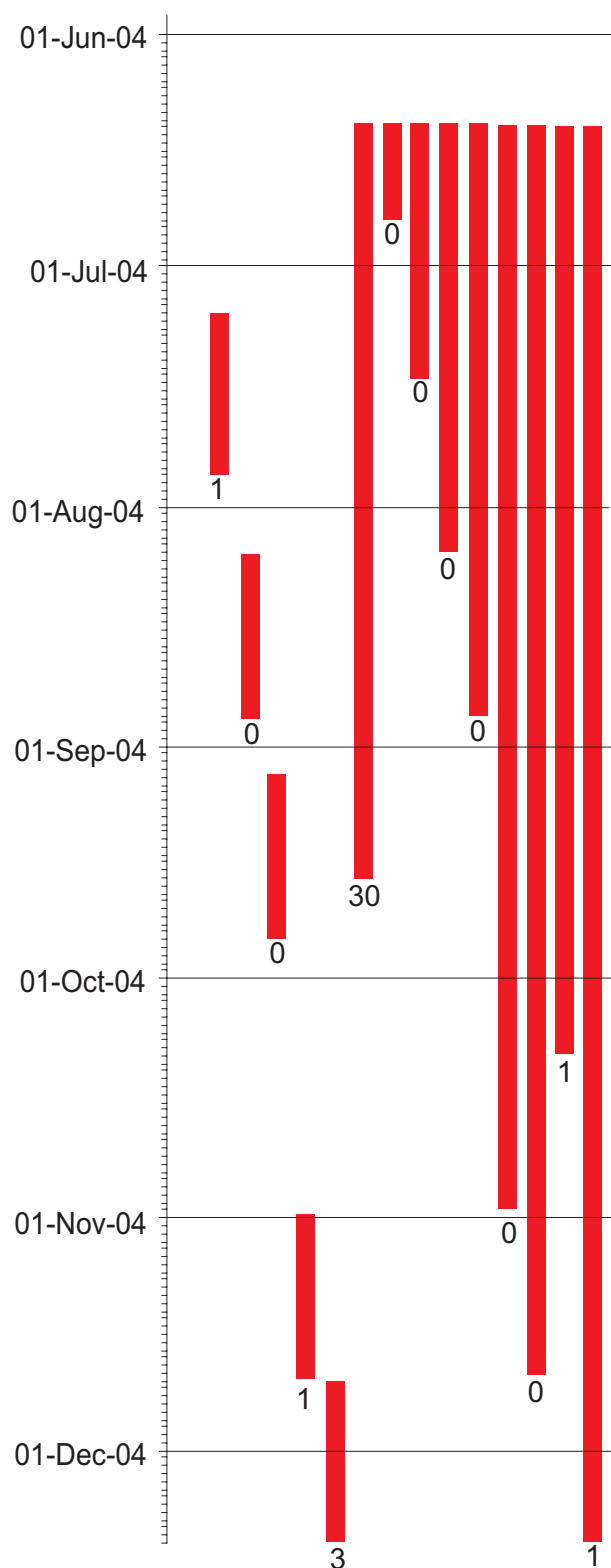


Fig. 10. Resultados de la exposición de placas en bioboxes para los estudios de colonización de las instalaciones. Las barras indican los períodos de exposición para cada placa y los números detallan las cantidades de individuos registrados al final de cada periodo.

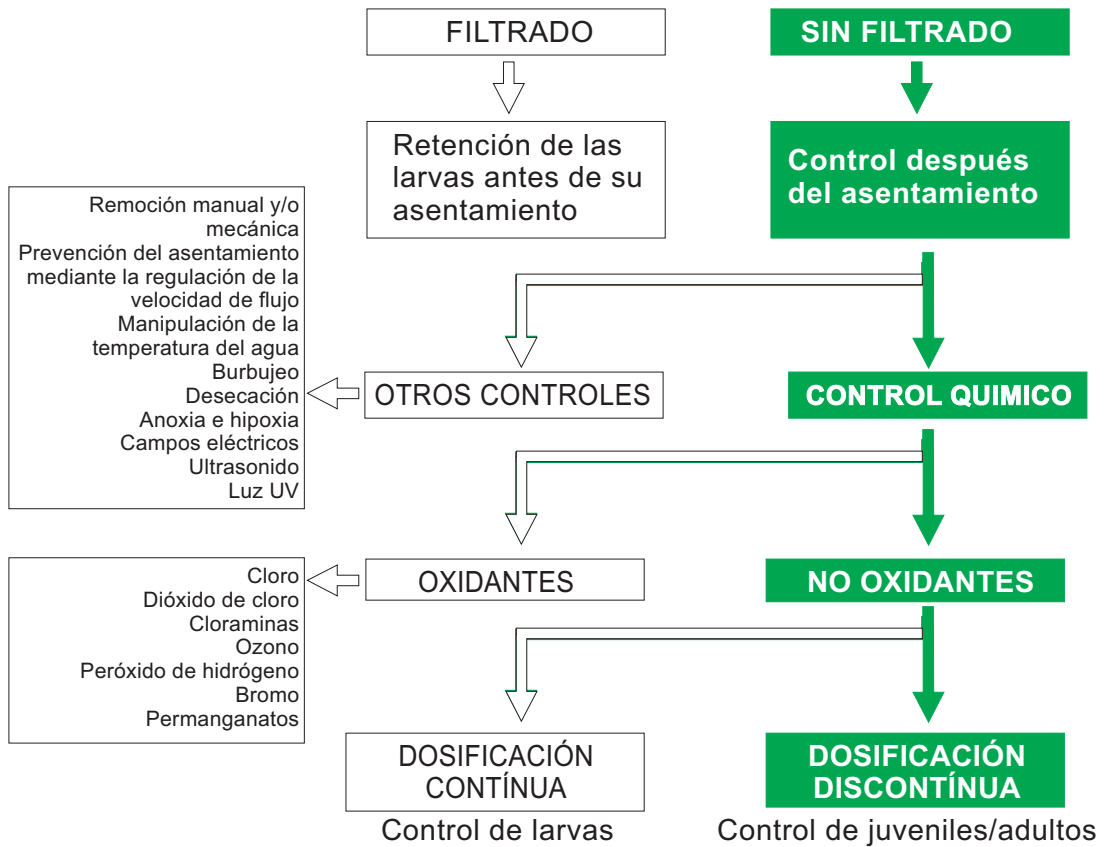


Fig. 11. Esquema general de las alternativas de control de las incrustaciones de *Limnoperna*.

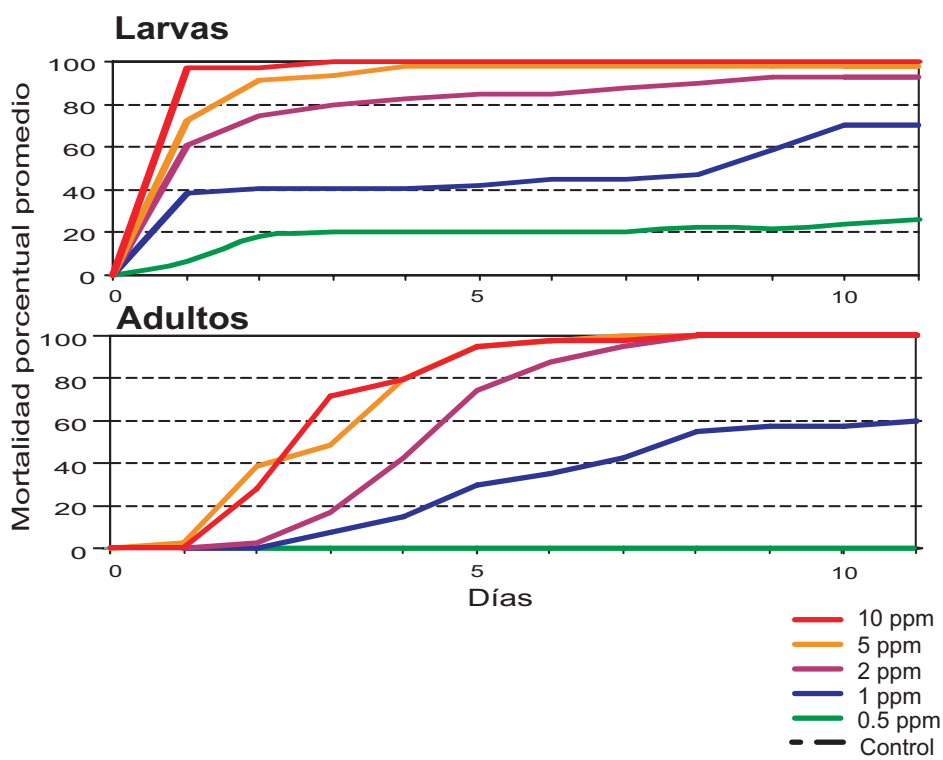


Fig. 12. Mortalidad porcentual media de larvas y adultos de *Limnoperna fortunei* expuesta de manera continua a diferentes concentraciones del moluscicida no oxidante ClamTrol CT2 a 22°C, en condiciones de laboratorio.

Fecha	Unidad	Temp.	Volumen de agua filtrado (l)	Individuos por metro cúbico					
				Huevos de <i>Limn.</i>	Larvas no valvadas de <i>Limn.</i>	Larvas valvadas de <i>Limn.</i>	<i>Limnoperna</i> total	Cladóceros	Copépodos
15-Jun-04	U8	16.0	1350	6	0	65	71	101	954
14-Jun-04	U11	16.0	1585	10	0	45	56	167	792
22-Jun-04	U11		1000	4	0	8	12	20	274
5-Jul-04	U11	17.0	2000	4	0	2	6	96	600
12-Jul-04	U11	19.0	2000	0	0	0	0	500	860
18-Jul-04	U11		2000	1	0	0	1	35	190
26/0704	U4	18.0	2000	4	0	0	4	280	540
2-Aug-04	U4	20.0	2000	4	0	0	4	130	314
9-Aug-04	U4	16.0	2000	0	0	2	2	40	340
17-Aug-04	U4	20.0	2000	4	0	0	4	64	324
23-Aug-04	U4		2000	8	0	2	10	496	544
30-Aug-04	U4	17.0	2000	2	0	0	2	14	82
6-Sep-04	U4	18.0	2000	0	0	0	0	8	290
13-Sep-04	U2	21.0	2000	40	0	92	132	392	960
20-Sep-04	U4	21.0	2000	0	0	152	152	2544	2904
27-Sep-04	U4	22.0	2000	8	0	16	24	336	808
4-Oct-04	U4	22.0	2000	40	0	3888	3928	384	656
12-Oct-04	U4	21.0	2000	160	16	1080	1256	696	880
18-Oct-04	U4	24.0	2000	16	0	3240	3256	240	920
25-Oct-04	U4	24.0	2000	272	0	1124	1396	60	800
1-Nov-04	U2	25.0	2000	36	4	2160	2200	208	640
8-Nov-04	U4	25.5	2000	4	0	380	384	0	0
15-Nov-04	U4	24.5	2000	0	0	120	120	180	540
22-Nov-04	U4	25.0	2000	0	16	3520	3536	128	640
29-Nov-04	U4	26.0	2000	0	0	3680	3680	256	880
7-Dec-04	U4	27.5	2000	0	0	1760	1760	5760	2400
13-Dec-04	U4		2000	0	0	680	680	3200	880
20-Dec-04	U4	27.0	2000	0	16	1600	1616	560	4000
27-Dec-04	U4		1000	96	0	3520	3616	640	9600
3-Jan-05	U4	27.0	2000	8	8	608	624	4160	4640
10-Jan-05	U4	26.0	2000	0	24	24	48	696	4120
17-Jan-05	U4	28.0	2000	0	0	80	80	2720	3360
24-Jan-05	U4	28.0	2000	0	0	24	24	464	2144
31-Jan-05	U4	27.0	2000	0	0	20	20	80	340
7-Feb-05	U4	25.0	2000	0	0	80	80	48	1520
14-Feb-05	U4	25.0	2000	0	0	140	140	128	760
21-Feb-05	U4	25.0	2000	0	0	100	100	280	1040
28-Feb-05	U4	25.0	2000	0	0	104	104	2000	1728
7-Mar-05	U4	27.0	2000	0	0	240	240	920	920
14-Mar-05	u4	26.0	2000	0	0	400	400	144	760
21-Mar-05	U4	26.0	2000	0	0	584	584	544	1120
28-Mar-05	U4	25.5	2000	0	0	440	440	360	80
4-Apr-05	U4	25.0	2000	0	0	600	600	128	616
11-Apr-05	U4		2000	0	0	2480	2480	280	1160
19-Apr-05	U4	23.0	2000	0	0	640	640	144	8
25-Apr-05	U4		2000	0	0	4720	4720	160	680
28-Apr-05	U4		1499	0	0	2743	2743	213	640
2-May-05	U4	20.0	2000	0	0	92	92	72	240
9-May-05	U4	21.0	2000	0	0	55	55	16	170
17-May-05	U4	23.0	2000	0	7	14	21	44	286
23-May-05	U4	22.0	2000	0	0	16	16	200	388
30-May-05	U4	23.0	2000	0	0	16	16	100	280
6-Jun-05	U4	24.0	2000	0	0	28	28	120	640
13-Jun-05	U4	22.0	2000	0	0	252	252	16	68
21-Jun-05	U4	20.0	2000	0	0	16	16	160	344
27-Jun-05	U4	21.0	2000	0	0	0	0	28	60
4-Jul-05	U4	21.5	2000	0	0	8	8	80	320
12-Jul-05	U4	18.0	2000	0	0	20	20	112	480
19-Jul-05	U4	17.0	2000	0	0	8	8	20	72
26-Jul-05	U4	15.0	2000	0	0	8	8	20	232
16-Aug-05	U4	20.0	2000	0	0	1008	1008	4	12
22-Aug-05	U4		2000	0	0	331	331	2	26
29-Aug-05	U4	21.0	2000	0	0	2784	2784	0	160

Tabla 1. Fluctuaciones en la abundancia de estados preimaginales de *L. fortunei* en el agua del embalse Salto Grande entre el 15 de junio de 2004 y el 29 de agosto de 2005. Con fines comparativos se incluyen también las densidades de cladóceros y copépodos de las mismas muestras.

APENDICE

Evaluación de la colonización de *Limnoperna fortunei* en la represa de Salto Grande
(Concurso de precios N°15261)

Informe de avance

Ejecución:

Demetrio Boltovskoy y Daniel Cataldo

Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Ciudad Universitaria de Núñez, 1428 Buenos Aires, Argentina

y

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Experiencias de evaluación de las densidades de *L. fortunei* sobre la base de la estimación de la producción de huevos

Tal como se detallara en la propuesta de trabajos, una alternativa potencialmente viable para la estimación indirecta de las densidades de moluscos en los sistemas de refrigeración de la planta consiste en la cuantificación de las cantidades de huevos producidos por *Limnoperna fortunei* dentro de las instalaciones monitoreadas, y la extrapolación de estos valores a las cantidades de adultos reproductores. Los trabajos que se detallan a continuación tienen por finalidad el desarrollo empírico de la función que liga la densidad de huevos en el agua con la cantidad de adultos desovantes sésiles en el sistema. El principio conceptual del trabajo se basa sobre la estimación de la cantidad media de huevos que produce una hembra por unidad de tiempo, dato que surge de la cuantificación de los huevos de *Limnoperna* de producción reciente (menos de 1 hora) obtenidos en muestras del agua entrante y saliente de un sistema cerrado con cantidades variables de moluscos confinados en el mismo.

Para la ejecución de este trabajo se llevaron a cabo varias experiencias en el delta inferior del río Paraná cuyos resultados se exponen a continuación.

Experiencia No. 1

El primer ensayo se llevó a cabo los días 27 y 28 de febrero de 2004 en el río Carapachay, a unos 1000 m de su desembocadura en el Río Luján (delta inferior del Río Paraná). Para ello se dispuso de un sistema que, succionando agua subsuperficial del río la derivaba a dos conductos separados; uno de ellos desembocaba en un recipiente de 50 L conteniendo 1364 individuos de *L. fortunei* sobre una malla plástica separada del fondo; el agua recogida luego de pasar por este recipiente era filtrada a través de una red de plancton de 26 μm de poro. El segundo conducto era derivado hacia una segunda red de plancton de iguales características (ver Figs. 1, 2 y 3). Se tomaron 10 muestras de plancton de cada una de estas vías de agua, una cada 2 horas y de 20-30 minutos de duración cada una, durante un período de 24 horas comenzando el 27 de febrero 2004 a las 19:33 y finalizando al día siguiente a las 13:53 horas.

En la Tabla 1 y la Fig. 4 se detallan los resultados de los recuentos realizados en las 20 muestras tomadas. Las densidades de huevos en el agua muestran una muy marcada variación horaria, oscilando entre 423 y casi 1,000,000 por m^3 . No parece existir un patrón consistente en estas oscilaciones, ni uno relacionado con la ciclicidad día-noche. Tampoco hay consistencia en las diferencias entre los resultados de la muestra de agua que se obtiene del recipiente con los organismos desovantes con respecto a la proveniente del río directamente (Fig. 4). Estos valores confirman lo siguiente:

- (1) La intermitencia en la producción de huevos es muy marcada, alternando períodos de mucha actividad con otros en los cuales la producción desciende a valores casi nulos;
- (2) Esta aleatoriedad, asociada probablemente con una distribución irregular de los huevos en el agua debido a particularidades del flujo y de los accidentes que afectan a aquél, resulta en una ciclicidad temporal irregular e impredecible;
- (3) El aporte de huevos proveniente de los 1364 individuos alojados en el recipiente experimental no es discriminable del “fondo” de la masa de huevos que entran al sistema desde el medio; en consecuencia, los resultados de los desoves de los organismos confinados, si es que se producen, son enmascarados por el stock de huevos en circulación. El error inevitable asociado con los submuestreos y recuentos del material también aumenta el sesgo resultante.

Experiencia No. 2

En vista de los resultados de la primera experiencia, los días 8 y 9 de noviembre de 2004 se procedió a repetir el ensayo introduciendo algunas modificaciones. Se optó por recurrir a una sola vía de agua (también tomada del medio) que pasara a través de un grupo de moluscos confinados en un recipiente, pero filtrándola previamente a través de una malla con el fin de no excluir huevos provenientes del exterior (Fig. 5 y 6). Además, se aumentaron sustancialmente los tiempos de filtrado de manera tal que cada muestra representara un intervalo mucho más prolongado. Entre las 15 horas del 8 de noviembre y las 14:30 horas del día siguiente se tomaron 8 muestras de 150 a 180 minutos de filtración cada una, correspondiendo a 5-10 m³ de agua por muestra (total: 23 horas y 30 minutos de filtración efectiva). La cantidad de organismos desovantes confinados en el recipiente experimental fue de 1036.

Los resultados de esta experiencia se detallan en la Tabla 2. Tal como se observa, no se verificó la presencia de huevos en ninguna de las muestras obtenidas, indicando que en el lapso experimental no hubo desoves. Se encontraron algunos ejemplares larvarios, juveniles y preadultos, claramente producto de su retención entra la masa de moluscos asentados y posterior liberación debido a la agitación y turbulencia en el recipiente experimental. Dado el tiempo del ensayo se descarta la posibilidad de que fueran producto de la reproducción de los animales confinados (Cataldo et al., 2005). La ausencia absoluta de huevos confirma, nuevamente, el carácter eminentemente pulsante de la reproducción del molusco, así como la existencia de períodos más o menos prolongados de inactividad en la expulsión de ovas.

Experiencia No. 3

Entre los días 14 y 18 de febrero de 2005 se procedió a montar un tercer ensayo con el mismo propósito. Se mantuvo básicamente el esquema adoptado para la experiencia anterior (Fig. 5), con la diferencia de que el período de trabajos total se aumentó de 24 horas a 5 días durante los cuales el tiempo neto de filtrado fue de 87 horas (ver Tabla 3). En la práctica solamente se interrumpieron los filtrados el tiempo necesario para vaciar el colector y limpiar la red. Cantidad de individuos desovantes confinados: 1853.

Los resultado de este tercer ensayo se detallan en la Tabla 3 y la Fig. 7. Al igual que en las experiencias anteriores, la variabilidad en la producción de huevos fue muy alta, oscilando entre 0 y 0.35 por hora por hembra (Tabla 3). Si bien se desconoce la fertilidad de *L. fortunei*, esta última cifra parece excesivamente baja ya que, extrapolándola al período de vida total del molusco, que es de alrededor de 2 años (Boltosvkoy y Cataldo, 1999; Cataldo y Boltovskoy, 2000), arroja unos 6,000 huevos. La comparación con otras especies de bivalvos cuya fertilidad se conoce indica que se trata de un valor sumamente bajo y, por ende, poco realista. Obviamente, esta estimación es muy grosera ya que no contempla una infinidad de factores que influyen sobre la reproducción de *Limnoperna*, incluyendo la temperatura del agua, los estímulos químicos, la alimentación, etc. Sin embargo, aún así la fertilidad estimada es incompatible con la información previa sobre especies semejantes, y no condice con el notable éxito reproductivo y de dispersión que ha demostrado esta especie en Sudamérica (e.g., Darrigran, 2002).

Conclusiones preliminares y acciones futuras

Los resultados obtenidos hasta el momento confirman que la producción de huevos por parte de *L. fortunei* es un proceso sumamente irregular donde alternan períodos de inactividad total con otros de liberación de cantidades moderadas de productos sexuales. Por otro lado, los valores de liberación de ovas más altos obtenidos en las experiencias llevadas a cabo son demasiado bajos y no constituyen un buen indicador de la fertilidad del organismo. Los resultados de los ensayos realizados sugieren que este modelo experimental es de utilidad limitada para el propósito del trabajo propuesto, y aconsejan la conveniencia de ensayar otras vías de acción alternativas.

Las opciones a ensayar en los meses subsiguientes estarán centradas sobre:

(1) Estimación de los huevos producidos por los organismos presentes dentro de las instalaciones de la central hidroeléctrica. Los muestreos destinados a llevar a cabo este trabajo se realizaron el día 27 de abril de 2005, en oportunidad de la visita del Dr. Cataldo a la planta (ver más abajo). Se tomaron sendas muestras de agua filtrada a través de redes de plancton de 26 μm de poro en la entrada del agua de refrigeración a las instalaciones, y en la salida de la misma, luego de recorrer los circuitos de refrigeración afectados por las incrustaciones de *Limnoperna*. Los análisis de estas muestras serán completados en el transcurso del presente mes. Si bien los resultados de esta estimación no permitirán relacionar cantidades de huevos con cantidades de hembras adultas desovantes, servirán para definir si, en las condiciones de la planta, las cantidades de ovas que aportan las cañerías incrustadas al total presente en el agua del lago son suficientes como para que la diferencia sea utilizada como indicador confiable de la magnitud de las poblaciones asentadas en las instalaciones.

(2) Se llevarán a cabo experiencias de inducción de desove en laboratorio según la metodología desarrollada por Cataldo et al. (2005). Se utilizará el mismo conjunto de organismos en inducciones sucesivas para verificar repetición del desove y eventual agotamiento de la capacidad reproductiva. Si bien los resultados de estos ensayos no son automáticamente extrapolables a las condiciones de campo, permitirán disponer de una base de referencia confiable con la cual comparar los datos de los ensayos en la planta.

Estudio del ciclo reproductivo de *L. fortunei* mediante el monitoreo de las densidades de sus larvas en agua del embalse y estimación de los factores ambientales potencialmente reguladores

Unos de los factores que mayor incidencia tiene sobre el desarrollo de incrustaciones en las instalaciones de la planta es la disponibilidad de larvas de *L. fortunei* en el agua de refrigeración. La proporción de éstas que queda retenida en el sistema es baja ya que la gran mayoría de las que entran con el agua del embalse no están aún maduras para fijarse al sustrato y, por ende, vuelven a salir aguas abajo. Algunas (cerca del 5% del total, ver Tabla 4), sin embargo, ya han desarrollado un pie muscular que les sirve para fijarse el tiempo suficiente para desarrollar un biso y asentarse definitivamente. En consecuencia, la cantidad de colonos nuevos que van poblando las instalaciones depende de la cantidad de larvas avanzadas presentes en el medio.

En la Tabla 4 y la Fig. 8 se detallan los resultados de los recuentos de larvas realizados en muestras de agua tomadas semanalmente en varias unidades de la central Salto Grande. Los muestreos fueron comenzados el día 15 de junio de 2004 filtrándose, para cada una, entre 1000 y 2000 litros de agua de refrigeración. Las muestras fueron fraccionadas para su procesamiento, utilizándose entre 1/2 y 1/64 parte del volumen original, dependiendo de la cantidad de organismos obtenidos. Para *L. fortunei* se contaron hasta 550 individuos por muestra (media para todas las muestras procesadas hasta el momento: 86). Con el fin de llevar un registro comparativo con otros organismos dominantes en el plancton del embalse, en los mismos materiales también se cuantificaron los cladóceros y los copépodos.

Al igual que la gran mayoría de los animales y plantas, *L. fortunei* modula su actividad reproductiva en función de condicionantes ambientales, de manera tal que la producción de huevos y esperma (el animal es de sexos separados, es decir que hay moluscos hembras y moluscos machos; ambos liberan sus gametas al agua y es allí donde los espermatozoides fecundan los huevos y comienza el desarrollo) no es constante a lo largo del año. Investigaciones realizadas en varios sitios de la Cuenca del Plata indican que la actividad reproductiva se mantiene prácticamente sin interrupciones durante unos 8-9 meses al año, deteniéndose casi totalmente durante los restantes 3 o 4 meses (Boltovskoy y Cataldo, 1999; Cataldo y Boltovskoy, 2000; ver 9).

Tal como se observara en otros ambientes de Sudamérica, en el embalse de Salto Grande la actividad reproductiva es casi nula durante el invierno, entre junio de 2004 (primeras muestras extraídas) y agosto del mismo año. En septiembre se observa un aumento en las cantidades de moluscos en el plancton, y en octubre ya hay una recuperación total, con picos de abundancia de más de 3500 animales por metro cúbico de agua (Fig. 8). El descenso registrado en noviembre no se mantiene más adelante, de manera que puede ser interpretado como una variación aleatoria en las densidades. Sin embargo, en enero de 2005 se observa una nueva merma muy importante en la densidad de larvas en el agua del embalse; ésta se mantiene con pocas variaciones hasta las últimas muestras procesadas, correspondientes a marzo de 2005. Cabe destacar que una disminución de esta magnitud y persistencia no es característica del ciclo del animal en los demás ambientes analizados. Normalmente enero está caracterizado por valores intermedios; más reducidos que los de primavera, pero nunca tan bajos como los típicos de invierno. En Salto Grande, los demás organismos zooplanctónicos también decrecen en abundancia en enero de 2005, pero los valores se recuperan unas semanas más tarde, cosa que no parece ocurrir con las larvas de *Limnoperna* (Fig. 8).

Sin disponer de los resultados del ciclo anual completo es prematuro especular sobre la índole de este descenso tan marcado. El mismo difícilmente pueda ser atribuido a la temperatura, ya que ésta sigue el

patrón normal para esta época del año (Fig. 8). Existe una llamativa coincidencia temporal entre la merma en la densidad de larvas y el nivel de agua en el embalse, que sufre una muy fuerte reducción desde noviembre de 2004. Si bien la disminución del volumen *per se* no debe afectar al molusco, sí podría hacerlo la disminución de la cota en la medida en que está asociada con el secado de una importante franja perimetral, lo que a su vez condiciona la muerte de los bivalvos allí asentados. Sin embargo, la confirmación de una relación de este tipo requiere una serie temporal más completa. Las interpretaciones causales también deben tener en cuenta que el embalse está actualmente en proceso de colonización (hasta septiembre de 2003 *Limnoperna* había colonizado aproximadamente la mitad del embalse, hasta Santa Ana y Constitución, mientras que al norte de Espinillar estaba aún ausente; ver Fig. 10), y por ende no se trata de una población estabilizada. Ello también puede marcar diferencias entre la dinámica estacional en Salto Grande y los ciclos estudiados en otros sitios de colonización más antigua.

Informe de actividades llevadas a cabo en oportunidad del viaje a la Central Hidroeléctrica Salto Grande los días 27 a 29 de abril de 2005

Entre los días 27 y 29 de abril de 2005 se trabajó ininterrumpidamente con personal de la central Salto Grande en las siguientes tareas:

El miércoles 27 se llevó a cabo una reunión con el personal de SG involucrado en este trabajo con el fin de intercambiar ideas y analizar la marcha de las tareas de monitoreo llevadas a cabo, así como ajustar detalles de protocolo y organización de un cronograma de trabajo durante el tiempo de la presente visita.

Se acondicionaron los grifos y mangueras en la zona de la entrada de agua proveniente del embalse en el sistema de refrigeración de la unidad tres. Se obtuvieron muestras de agua en la central, incluyendo adecuación y calibración del caudal de agua filtrada en dos puntos de colecta ubicados en la entrada y salida del sistema de refrigeración. La toma simultánea de muestras en ambos puntos del sistema, que tiene como objetivo estimar la cantidad de productos sexuales producidos por los bivalvos adultos alojados dentro del sistema, fue repetida en tres oportunidades: la primera fue llevada a cabo el día 27 del corriente, mientras que las restantes fueron realizadas durante la mañana y la tarde del día siguiente. En cada oportunidad se ubicaron sendas redes en cada salida, y se procedió a filtrar agua a través de una red de 26 μm durante una hora. Las muestras fueron preservadas con formaldehído al 5%.

Se procedió a inspeccionar el estado y funcionamiento de los bioboxes, determinándose la concentración de oxígeno y verificando el estado de las placas. Se discutieron con personal de SG ajustes en el protocolo de las experiencias de colonización en curso.

Durante el día 28, además de los trabajos en planta detalladas anteriormente, se llevaron a cabo muestreos de campo en el embalse. Se colectaron dos muestras superficiales de plancton en cada una de las márgenes del embalse, mientras que aproximadamente en el centro del mismo, en la zona del antiguo cauce principal del río, se procedió a realizar un muestreo superficial y otro de fondo (25 m) con botella tipo Niskin. En cada oportunidad se filtraron 100 litros de agua con una malla de 26 μm , a excepción del muestro en profundidad en el cual se filtraron cinco lances de la botella (10 litros en total).

Se procedió a reinstalar y acondicionar los bioboxes en la entrada de agua en el nivel 2.

El día 29 se mantuvo una reunión de trabajo con personal de la empresa par analizar y discutir los resultados preliminares del estudio, y se acordaron ajustes de las tares y futuras acciones para el desarrollo del trabajo

Antecedentes para un anteproyecto de control y manejo preventivo

Si bien las recomendaciones para la implementación de un programa integrado de control y manejo preventivo de las incrustaciones de *Limnoperna* será esbozadas en el Informe Final, sobre la base de los resultados de los trabajos llevados a cabo, se ofrecen aquí algunas consideraciones de interés que deben ser tenidas en cuenta para el desarrollo de estrategias de control de la plaga.

Introducción

Dado que el problema de las incrustaciones con *Limnoperna* es un fenómeno que tiene menos de 15 años de antigüedad en nuestro país, es muy escasa la información disponible sobre las medidas de su prevención y control. Existen datos sobre algunos aspectos biológicos y ecológicos de la especie que son de mucha utilidad para el diseño de estrategias de mitigación de las incrustaciones que provoca (ver bibliografía), pero muy pocas investigaciones aplicadas directamente a la prospección de métodos de protección aplicables a escala industrial. Sin embargo, este problema es muy semejante al provocado por otra especie de bivalvo incrustante: *Dreissena polymorpha*. Este animal fue traído accidentalmente desde Europa a los Estados Unidos en 1986, colonizando desde entonces prácticamente todos los lagos y ríos del este de América del Norte desde la Bahía de Hudson a los Grandes Lagos, al oeste del Mississippi, y hasta el Golfo de México. Al igual que la especie local, *Limnoperna fortunei*, *Dreissena* llega a unos 2-3 cm de tamaño, vive adherida a sustratos duros formando grandes aglomerados, se alimenta de las partículas en suspensión en el agua y produce larvas planctónicas.

La otra especie molesta para la industria cuya investigación ha dado por resultado numerosas técnicas de control de las bioincrustaciones es *Corbicula fluminea*. En los Estados Unidos, donde *Corbicula* llegó a principios de siglo, el molusco es responsable de innumerables molestias que frecuentemente implican graves pérdidas económicas. El taponamiento de cañerías por acumulación de valvas llega a interrumpir el funcionamiento de centrales termonucleares y otro tipo de instalaciones por fallas en los sistemas de refrigeración. A la Argentina *Corbicula* llegó alrededor de 1975, pero aquí no ha sido motivo de problemas para las plantas industriales.

Tanto en Europa como en los EEUU, varias organizaciones estatales y la industria privada desarrollan continuamente medidas nuevas para el control de estos dos bivalvos (Boelman et al., 1997; D'Itri, 1997; Anónimo, 2004). A continuación se provee una reseña comentada de los métodos ensayados y propuestos para la solución de los problemas relacionados con el macrofouling por parte de moluscos incrustantes de agua dulce.

Medidas de control

Remoción manual y/o mecánica

Manualmente mediante palas/raspadores, con cepillos adaptados al diámetro de la tubería y arrastrados dentro del mismo por medio de cables, arenado, agua a presión (ca. 2000-2500 PSI), etc. Los procedimientos involucrados son costosos, operativamente complejos, y no siempre posibles debido a la inaccesibilidad de los lugares pasibles de ser colonizados por los moluscos. El material desprendido (y la arena, en el caso del arenado) deben ser removidos. Alternativamente, en vez de arena se han utilizado pellets de CO₂; éstos tienen la ventaja de hacer al molusco más frágil debido a su temperatura baja, y el CO₂ se disipa rápidamente.

Filtros

Se han ensayado filtros fijos o móviles, así como sistemas vórtex y centrífugos de diversos diseños. Las mallas comúnmente oscilan entre 0.06 y 1 mm, pero a capacidades de carga de más de 2-3 m³ por minuto el tamaño mínimo operativamente factible está cerca del extremo superior del espectro. Los huevos y larvas tempranas de *Limnoperna* tienen un tamaño aproximado de 80-100 µm. El estadio virulento, aquél en el cual los animales están listos para asentarse, es de unos 200-250 µm; los anteriores y más pequeños en realidad interesan menos ya que, debido a que funcionalmente no están aún preparados para comenzar la fase sedentaria, pasan a través del sistema sin detenerse. La necesidad de utilizar tamices de 200 µm o menos, en especial en aguas tan cargadas de material finamente particulado como las del sistema de ríos Paraná-Uruguay, limita muy seriamente la aplicabilidad de esta estrategia en la región.

Prevención del asentamiento mediante la regulación de la velocidad de flujo

Para *Dreissena*, el límite de velocidad del agua por debajo del cual las larvas logran asentarse sobre superficies verticales es de unos 1-2 metros por segundo; para las horizontales unos 2-2.5 m/s. No existen datos comparativos para *Limnoperna*. El uso de este tipo de control está restringido por consideraciones de tipo operativo. Además, si bien el aumento de la presión de trabajo puede llevar la velocidad de la corriente a los valores límite mencionados, ésta indefectiblemente disminuirá en las zonas de recodos, válvulas, bifurcaciones, etc.

Manipulación de la temperatura del agua

Se puede implementar inyectando vapor o agua caliente en la entrada (o en secciones restringidas del sistema), o reutilizando el agua calentada de la salida. El control puede lograrse con tratamientos de muy corto plazo con agua muy caliente, o con tratamientos crónicos, prolongados, con agua de más baja temperatura. El problema, sobre todo en el caso del tratamiento agudo, es el desprendimiento masivo de animales si las medidas de control no son lo suficientemente frecuentes como para mantener el sistema relativamente libre de organismos. En algunos casos las valvas pueden ser liberadas del sustrato paulatinamente, pero raramente ello ocurrirá con los cuerpos blandos, provocando una acumulación de tejidos en descomposición. Para *Dreissena* la temperatura letal es de unos 37°C. Para *Limnoperna*, 1 hora de exposición a 47°C elimina el 100% de los organismos expuestos, pero es altamente probable que las temperaturas letales efectivas sean mucho más bajas, alrededor de 37-40°C. En *Dreissena* se ha observado que las altas temperaturas son más letales para animales más grandes, que para los juveniles.

Burbujeo intenso en contacto con las superficies colonizables

El efecto perturbador de las burbujas sobre los animales dificulta su alimentación y respiración, generando un stress biológico que puede provocar el abandono del sustrato. El tratamiento puede eliminar cerca del 100% de los moluscos (*Dreissena*) de las superficies afectadas en 4-6 días. Sobre *Limnoperna* los efectos de este tipo de tratamiento no son conocidos.

Desecación

Secado de las superficies colonizadas. Para *Limnoperna* se ha observado que los tiempos fuera del agua necesarios para matar a los moluscos son de 72 horas para animales de menos de 6 mm, 96-192 horas para animales de 6-15 mm, y 108-276 horas para los de 15-27 mm. Es probable que, al igual que en *Dreissena*, a mayores valores humedad ambiente sea más alta la mortalidad (la humedad inhibe la regulación térmica mediante la eliminación y evaporación superficial de líquidos tisulares).

Anoxia e hipoxia

El defecto de oxígeno en el medio se logra interrumpiendo el flujo de agua durante un período de tiempo suficiente para que los animales y demás organismos consuman el oxígeno disponible; o agregando sustancias que aceleren el proceso, como metabisulfito de sodio, cloruro de cobalto, etc.; o burbujeando nitrógeno. Esta estrategia puede requerir períodos de inactividad de la planta relativamente prolongados para asegurar una mortalidad total, pero a mayores temperaturas el tiempo necesario decrece. Pruebas de laboratorio indican que a 25°C unas 70 horas de anoxia son suficientes para causar una mortalidad del 100% en *Dreissena*; en iguales condiciones para *Corbicula* se requieren unos 12 días. La hipoxia (falta parcial de oxígeno disuelto en el agua) es otra alternativa en estudio. A medida que desciende el nivel de oxígeno en el agua, aumenta la proporción de metabolismo anaeróbico en los animales (bajo condiciones de metabolismo total constante); este metabolismo anaeróbico produce sustancias de desecho altamente tóxicas, cuya concentración creciente en los tejidos de los animales y en el medio termina matando a los moluscos. En este sentido, tanto *Dreissena* como *Corbicula* son altamente intolerantes a la falta de oxígeno, pero *Limnoperna* no lo es. A juzgar por la presencia de *Limnoperna* en sitios altamente contaminados con desechos de todo tipo, incluida la contaminación con sustancias orgánicas, donde el oxígeno disuelto es muy escaso, este animal es altamente resistente tanto a la anoxia como a la hipoxia.

Métodos misceláneos (campos eléctricos, ultrasonido, luz UV, ozonización, etc.)

La mayoría de estos métodos solamente se han ensayado en condiciones experimentales de laboratorio y la información acerca de su uso y eficacia a escala industrial es muy escasa y fragmentaria.

Compuestos químicos

El agregado de sustancias tóxicas para las larvas y adultos de los moluscos es una de las tecnologías más difundidas y para la cual se cuenta con mayor cantidad de información. Existen datos para el control de *Dreissena* y *Corbicula*, y también algunos para *Limnoperna*. Si bien las larvas de todas estas especies son más vulnerables a los tóxicos que los adultos, el control de los primeros requiere tratamientos muchos más prolongados, sobre todo en el caso de *Limnoperna* que se reproduce prácticamente sin interrupción durante 8 a 9 meses al año. En consecuencia, la estrategia más comúnmente utilizada es la eliminación de los juveniles y adultos con una periodicidad tal que las poblaciones dentro de la planta no lleguen a desarrollar animales de más de unos 4-6 mm. Para *Limnoperna* esta talla implica unos 3-4 meses de vida, involucrando por ende unos 3 a 4 tratamientos por año.

Existe al menos un par de decenas de sustancias que se han ensayado para este propósito, tanto específicamente dirigidas a moluscos, como tóxicos de más amplio espectro. Para la mayoría de ellas, sin embargo, los ensayos están limitados a situaciones experimentales de laboratorio. Las consideraciones de peso que se manejan para la adopción de tal o cual compuesto químico incluyen:

- La toxicidad residual del líquido tratado, en particular para los demás organismos que habitan las aguas utilizadas;
- La eficacia del compuesto elegido en controlar la plaga;
- Los costos involucrados;
- La complejidad de los aspectos operativos involucrados.

Compuestos oxidantes

Debido a sus costos moderados y la amplia experiencia histórica asociada a su uso, los compuestos halogenados (en particular el cloro), son actualmente los más utilizados, frecuentemente como hipoclorito de sodio. El límite de concentración inferior efectivo para *Dreissena* puede oscilar en 0.2-0.13 mg por litro (residual; para mantener estos valores en la totalidad del sistema en el punto de inyección debe aplicarse una cantidad sustancialmente mayor, dependiendo del tipo, extensión y demás características de la planta, en algunos casos hasta más de 2 o 3 mg/l). Para evitar la

precipitación debido al pH elevado resultante se agregan otros compuestos químicos en bajas cantidades, como pirofosfato tetrapotásico. Los costos operativos del control de *Dreissena* oscilan alrededor de US\$ 2-3 por m³ de líquido tratado (en los EEUU).

El cloro es una de las sustancias más difundidas para el control de biofouling en general. Es un producto comparativamente barato, generalmente efectivo, de fácil disponibilidad, ampliamente conocido por los operadores y razonablemente tolerado por la opinión pública por su utilización en los procesos de potabilización. Su mayor desventaja es que, en presencia de sustancias orgánicas, genera compuestos altamente tóxicos, cancerígenos y sumamente estables - los trihalometanos. En consecuencia, la utilización del cloro está severamente reglamentada, en particular cuando se trata de aguas crudas, sin separación previa del material particulado. Sin embargo, en el caso de *Limnoperna* su defecto más importante es que los tratamientos con cloro son muy inefectivos. A temperaturas bajas (15°C), los animales adultos soportan concentraciones de cloro activo de hasta 100 ppm durante dos semanas con mortalidades nulas. A temperaturas más altas, en el rango de los valores de las aguas de Salto Grande en el verano (25°C), la toxicidad aumenta mucho pero aún es insuficiente para un control adecuado de la plaga: a 5 ppm se requieren 10 días para eliminar el 50% de los moluscos expuestos (Fig. 11). Otro problema importante de los compuestos clorados (así como de muchos otros, como las sales de cobre, cloruro o sulfato de potasio, etc.), es su baja selectividad en la toxicidad, de manera que algunos resultan varias veces más tóxicos para los peces y otros organismos que para los moluscos.

Compuestos no oxidantes

Varias firmas comerciales han desarrollado formulaciones de tóxicos no oxidantes para mitigar los problemas de biofouling, algunos de ellos orientados específicamente a los moluscos. En la mayoría de estos compuestos el producto activo es un amonio cuaternario que actúa a nivel de las membranas celulares entorpeciendo el intercambio de gases y, por ende, asfixiando al animal. Estos productos tienen la ventaja de ser utilizados en dosis bajas (1 a 3 ppm), son generalmente más tóxicos para la especie blanco que para los demás organismos, y son rápidamente biodegradables. La mayoría de ellos han sido ensayados con *Dreissena*, pero algunos también con *Limnoperna* (Fig. 12).

A los pocos días de finalizado un tratamiento efectivo se produce el desprendimiento masivo de los animales. Este fenómeno es particularmente notable en los sistemas muy incrustados, sin tratamientos previos o con tratamientos inefectivos. El personal de la planta debe permanecer atento a estos eventos luego de los tratamientos. Una manera de mitigarlos, sobre todo cuando se comienza un programa de control nuevo en un sistema seriamente comprometido, es efectuando la inyección de tóxico no en la sección inicial del recorrido del agua de refrigeración, sino a mitad del recorrido, o el su cuarto final. De esta manera los desprendimientos estarán circumscriptos al sector tratado, y no provendrán de todo el recorrido del agua de refrigeración.

Es importante destacar que la toxicidad tanto de los compuestos oxidantes como la de los no oxidantes difiere mucho no solamente con las condiciones del medio, sino también con las especies. Por ejemplo, en los ensayos realizados *Limnoperna* ha demostrado ser varias veces más resistente a la mayoría de los compuestos moluscicidas que *Dreissena* (Tabla 5). En consecuencia, si bien el valor de la información previa para *Dreissena* es indiscutible, hay que destacar que no se pueden hacer extrapolaciones directas entre las situaciones estudiadas en los EEUU y la local. Las diferencias en la anatomía y fisiología de las especies consideradas son responsables de grados variables de susceptibilidad a los agentes biocidas y antiincrustantes. Estas diferencias pueden ser potenciadas por contrastes entre los factores ecológicos involucrados, tales como temperatura y composición química

(especialmente dureza) de las aguas, presencia/ausencia y concentración de sustancias contaminantes y sólidos en suspensión, características y estacionalidad del caudal, variaciones en la disponibilidad de alimento, etc.

Referencia bibliográficas

- Anónimo. 2004. Zebra Mussel Information System. U.S. Army Corps of Engineers.
<http://www.wes.army.mil/el/zebra/zmis/zmishelp.htm>
- Barton L.K. 1993. Control program for zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) at the Perry Nuclear Power Plant, lake Erie. *Zebra Mussels: biology, impacts and control* (T.F. Nalepa & D.W. Schloesser, editors), Lewis Publ., Boca Raton, Florida.
- Belanger S.E., Cherry D.S., Farris J.L., Sappington K.G., Cairns, J. 1991. Sensitivity of the Asiatic clam to various biocidal control agents. *J. AWWA*, 83:79.
- Bernhard H.F. 1986. Asiatic clams tested at Edison stations. *Edison Electric Biocurrents*, 2:12.
- Boelman S.F., Neilson F.M., Dardeau E.A., Cross T. 1997. Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) control handbook for facility operators, first edition. Zebra Mussel Res. Miscel. Paper EI-97-1, June 1997.
- Boltovskoy D., Cataldo D. 1999. Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the Lower Paraná river (Argentina). *Biofouling*, 14:255.
- Boltovskoy D., Correa N., Cataldo D. 1999. Bivalvos plaga invasores en Argentina: *Corbicula fluminea* y *Limnoperna fortunei*. *Newsletter of the International Society of Medical and Applied Malacology*, 10:7..
- Cataldo D., Boltovskoy D. 2000. Yearly reproductive activity of *Limnoperna fortunei* (Bivalvia) as inferred from the occurrence of its larvae in the plankton of the lower Paraná river and the Río de la Plata estuary (Argentina). *Aquatic Ecology*, 34:307-317.
- Cataldo, D., Boltovskoy, D., Hermosa, J.L., Canzi, C. 2005. Temperature-dependent larval development rates of *Limnoperna fortunei* (Mollusca, Bivalvia). *Journal of Molluscan Studies*, 71(1):41-46.
- Chagnard H. 1995. Case study 1: chlorine control in the Lower Mississippi Valley. Proceedings of the Lower Mississippi Valley Zebra Mussel Information and Monitoring Workshop, Louisiana Sea Grant College Program, Louisiana State University January 10-11.
- Command D.A., Matthews R.C. 1994. The first non-oxidizing molluscicide treatment in Canada. Fourth International Zebra Mussel Conference, Madison, Wisconsin.
- Darrigran G. 2002. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions*, 4: 145-156.
- Darrigran G., Pastorino G. 1995. The recent introduction of a freshwater Asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. *Veliger*, 38:171.
- De Girolamo D.J., Jensen J.N., Van Benschoten J.E. 1991. Inactivation of adult zebra mussels by chlorine. Abstracts of the American Water Works Association Annual Conference, Philadelphia, PA, June 1991.
- D'Itri F.M. (Ed.) 1997. Zebra mussels and aquatic nuisance species. Lewis Publ., Boca Raton, Florida, 638 pp.
- Fisher S.W., Bernard D.O. 1991. Methods for evaluating zebra mussel control products in laboratory and field studies. *Jour. Shellfish Res.*, 10:367.
- Fisher S.W., Dabrowska H., Waller D.H., Babcock-Jackson L., Zhang X. 1994. Sensitivity of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) life stages to candidate molluscicides. *Jour. Shellfish Res.*, 13:373.
- Klerks P.L., Fraleigh P.C. 1991. Control of adult zebra mussels with sodium hypochlorite, potassium permanganate, and hydrogen peroxide with iron. Zebra Mussels Mitigation Options for Industries, Toronto, Ontario, Canada, Feb. 1991.
- Martin I.D., Baker M.A., Mackie G.L. 1990. Comparative efficacies of sodium hypochlorite and registered biocides for controlling the Zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Bivalve, Heterodonta). *Zebra Mussels: The Great Lakes Experience*, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
- Morton B.S., Au C.S., Lam W.W. 1976. Control of *Limnoperna fortunei*. *Jour. Inst. Water Eng. & Sci.*, 30:147.
- O'Neill C.F. 1995. Use of oxidizing biocides, coatings, and high tech alternatives. Proceedings of the Lower Mississippi Valley Zebra Mussel Information and Monitoring Workshop, Louisiana Sea Grant College Program, Louisiana State University.
- Pearson H.E. 1962. Field investigation on control of Asiatic clams. Internal Memorandum of the Metropolitan Water District of Southern California, La Verne, CA.
- Petrille J.C., Werner M.W. 1993. A combined treatment approach using a non-oxidizing molluscicide and heat to control zebra mussels. EPRI Third International Zebra Mussel Conference, Toronto, Ontario, Canada.

- Ramsay G.G., Hainey Tackett J., Morris D.W. 1988. Effect of low level continuous chlorination on *Corbicula fluminea*. *Environm. Toxicol. Chem.*, 7:1.
- Ricciardi A. 1998. Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): another fouling threat to freshwater systems. *Biofouling* 13:97.
- Van Benschoten J.E., Jensen J.N., Lewis D., Brady T.J. 1993. Chemical oxidants for controlling zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): a synthesis of recent laboratory and field studies. *Zebra Mussels: biology, impacts and control* (T.F. Nalepa & D.W. Schloesser, editors), Lewis Publ., Boca Raton, Florida.
- Waller D.L., Rach J.J., Cope W.G., Marking L.L. 1993. Toxicity of candidate molluscicides to zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and selected nontarget organisms. *Jour. Great Lakes Res.*, 19:695.

Epígrafes de Figuras y Tablas

Fig. 1. Esquema general del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (primera experiencia).

Fig. 2. Configuración del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (primera experiencia).

Fig. 3. Configuración del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (primera experiencia).

Fig. 4. Resultados de la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (primera experiencia).

Fig. 5. Esquema geeral del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (segunda y tercera experiencias).

Fig. 6. Configuración del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (segunda y tercera experiencias).

Fig. 7. Resultados de la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (tercera experiencia).

Fig. 8. Fluctuaciones semanales en la temperatura del agua y en las cantidaes de huevos y larvas de *L. fortunei* y de otros organismos zooplantónicos en el embalse de Salto Grande.

Fig. 9. Fluctuaciones mensuales en la cantidad de larvas de *L. fortunei* en el agua en diferentes sitios de la cuenca del Plata.

Fig. 10. Distribución de *Limnoperna fortunei* a lo largo del embalse Salto Grande en septiembre de 2003.

Fig.11. Resultados de ensayos de toxicidad del cloro (como hipoclorito de sodio) para ejemplares adultos de *Limnoperna fortunei* a tres temperaturas diferentes.

Fig. 12. Resultados de ensayos de toxicidad de un moluscicida específico, el amonio cuaternario conocido comercialmente como ClamTrol CT2 (actualmente el msimo producto se denomina Spectrus CT1300) para ejemplares adultos de *Limnoperna fortunei* a tres temperaturas diferentes.

Tabla 1. Detalle de los recuentos de huevos y larvas de *L. fortunei* llevados a cabo sobre las muestras obtenidas los días 27 y 28 de febrero de 2004 para la evaluación de las densidades de adultos desovantes sobre la base de la estimación de la producción de huevos (primera experiencia). Cantidad de individuos desovantes confinados: 1364.

Tabla 2. Detalle de los recuentos de huevos y larvas de *L. fortunei* llevados a cabo sobre las muestras obtenidas los días 8 y 9 de noviembre de 2004 para la evaluación de las densidades de adultos desovantes sobre la base de la estimación de la producción de huevos (segunda experiencia). Cantidad de individuos desovantes confinados: 1036.

Tabla 3. Detalle de los recuentos de huevos y larvas de *L. fortunei* llevados a cabo sobre las muestras obtenidas entre los días 14 y 18 de febrero de 2005 para la evaluación de las densidades de adultos desovantes sobre la base de la estimación de la producción de huevos (tercera experiencia). Cantidad de individuos desovantes confinados: 1853.

Tabla 4. Recuentos de larvas de *L. fortunei* en agua del embalse Salto Grande. Con fines comparativos se incluyen también las densidades de cladóceros y copépodos de las mismas muestras.

Tabla 5. Comparación de la toxicidad del cloro y de varios moluscicidas no oxidantes para *Limnoperna fortunei* (datos de Cataldo et al., 2003) y para otros dos moluscos bivalvos que generan problemas de macrofouling en instalaciones industriales: *Dreissena polymorpha* y *Corbicula fluminea*. Para cada línea de la tabla se detallan las condiciones experimentales y los correspondientes resultados (mortalidad porcentual o dosis letal 50) reportados en la publiucación citada y hallados para *L. fortunei* por Cataldo et al. (2003) (separados por una barra). Las concentraciones se refieren a ingrediente activo de cada producto.

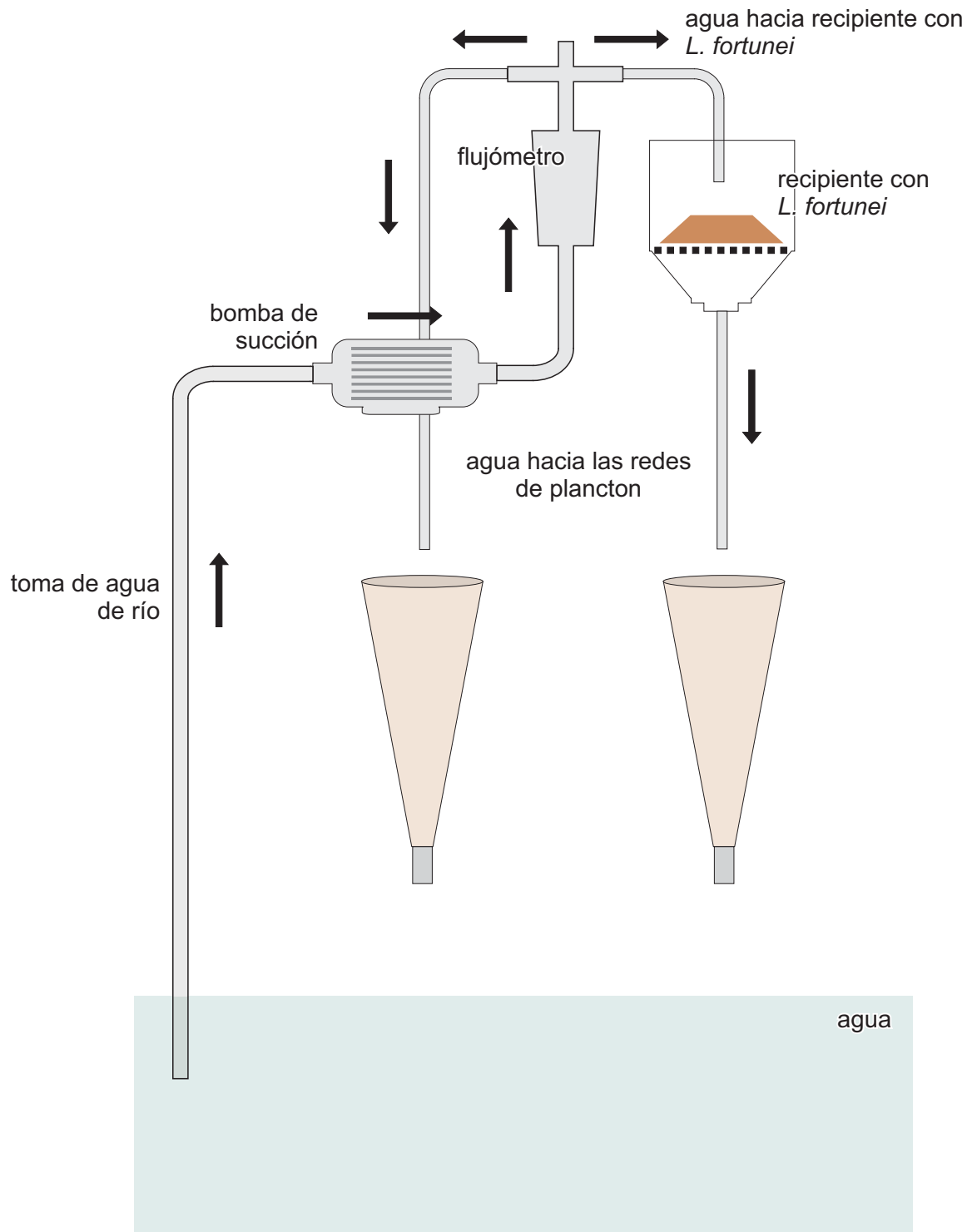


Fig. 1. Esquema general del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (primera experiencia).

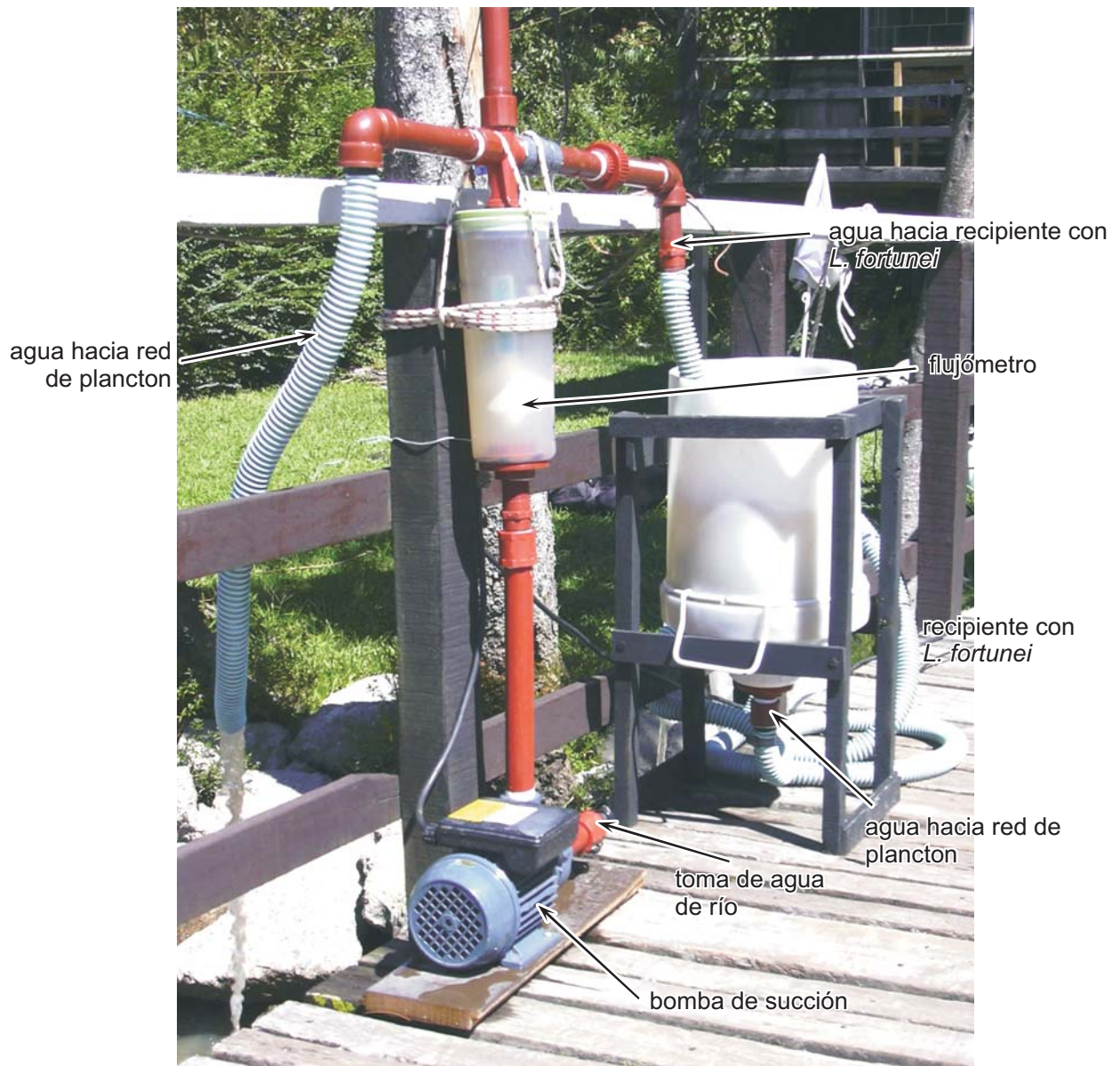


Fig. 2. Configuración del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (primera experiencia).



Fig. 3. Configuración del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (primera experiencia).

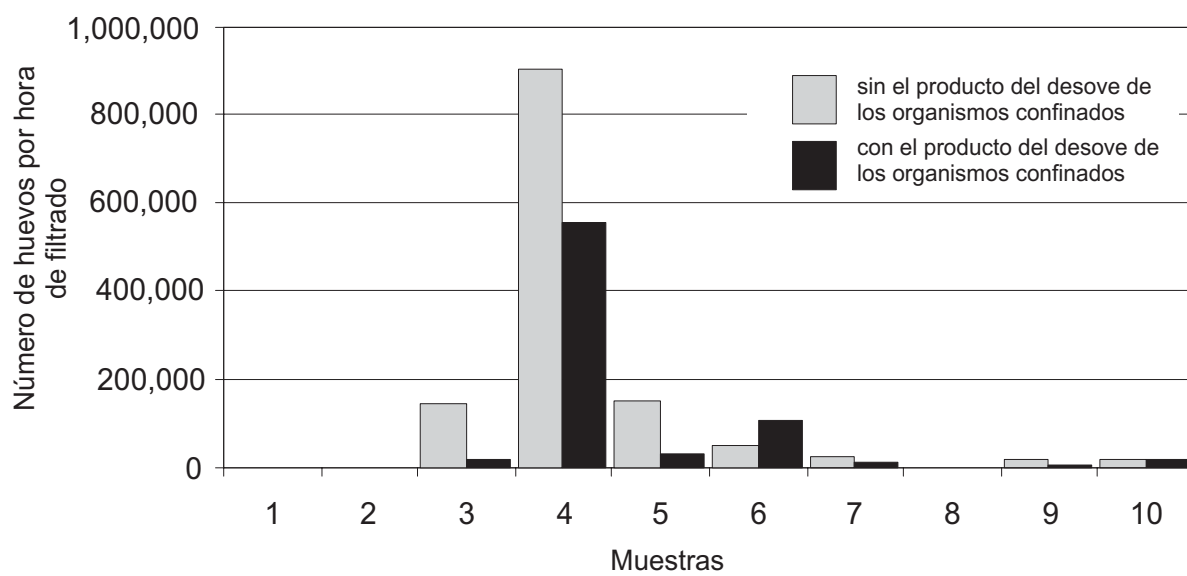


Fig. 4. Resultados de la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (primera experiencia).

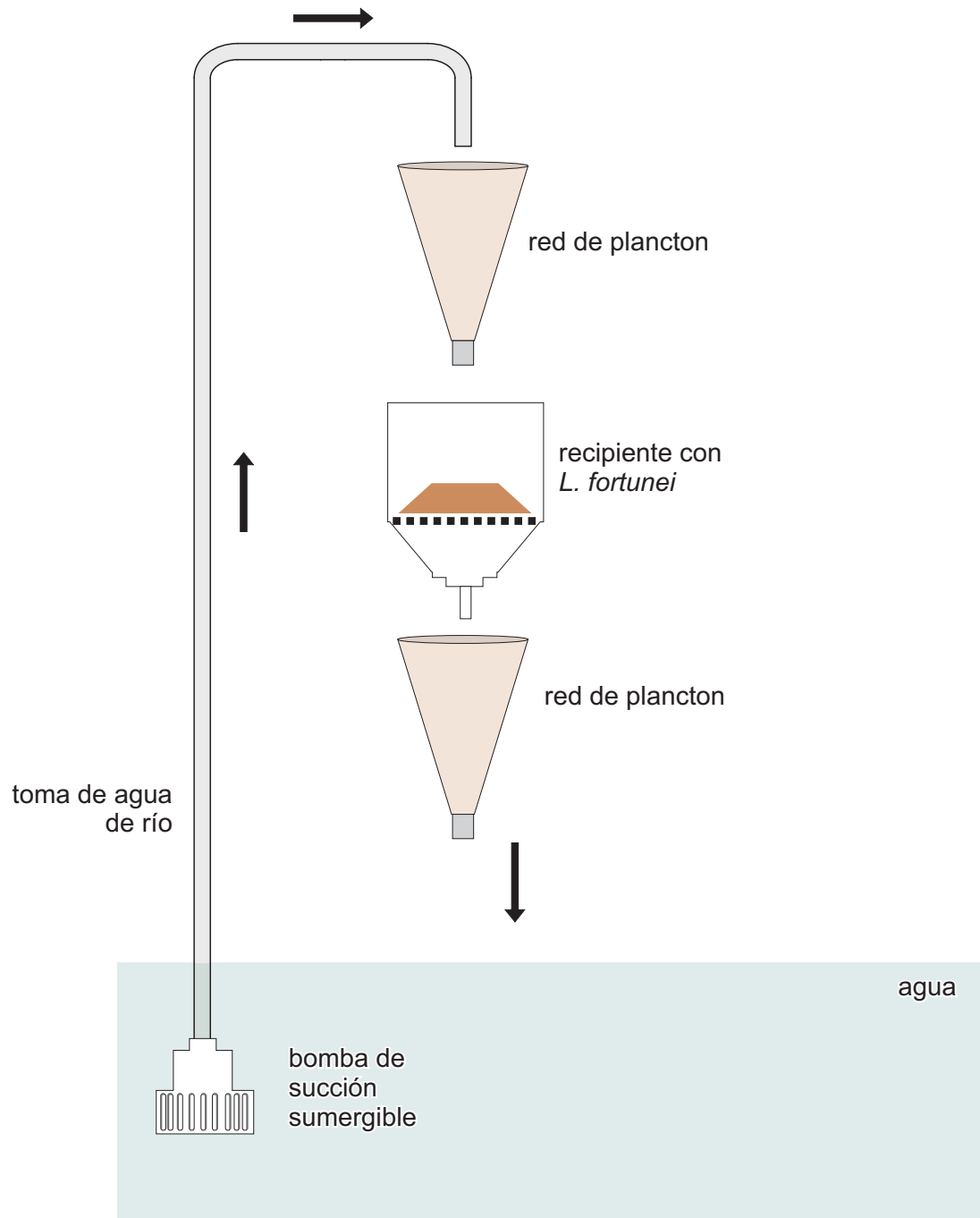


Fig. 5. Esquema general del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (segunda y tercera experiencias).

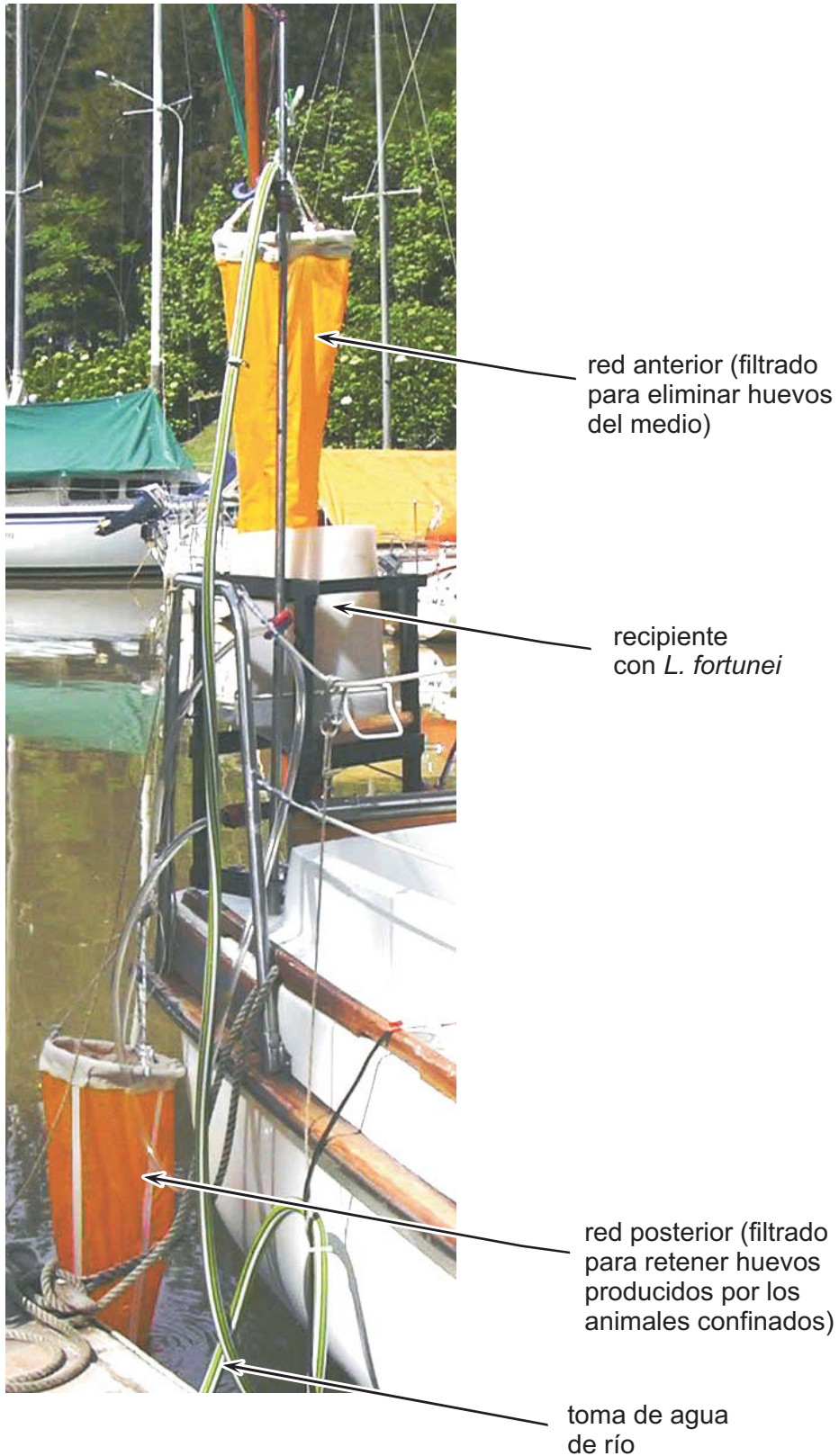


Fig. 6. Configuración del dispositivo para la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (segunda y tercera experiencias).

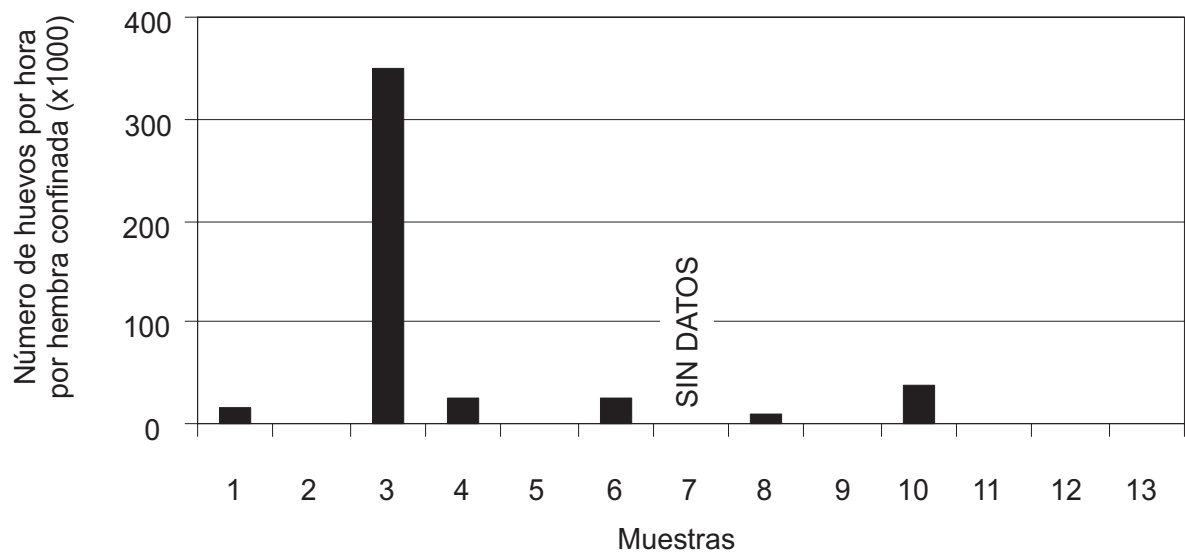


Fig. 7. Resultados de la evaluación de la producción de huevos por parte de *L. fortunei* (tercera experiencia).

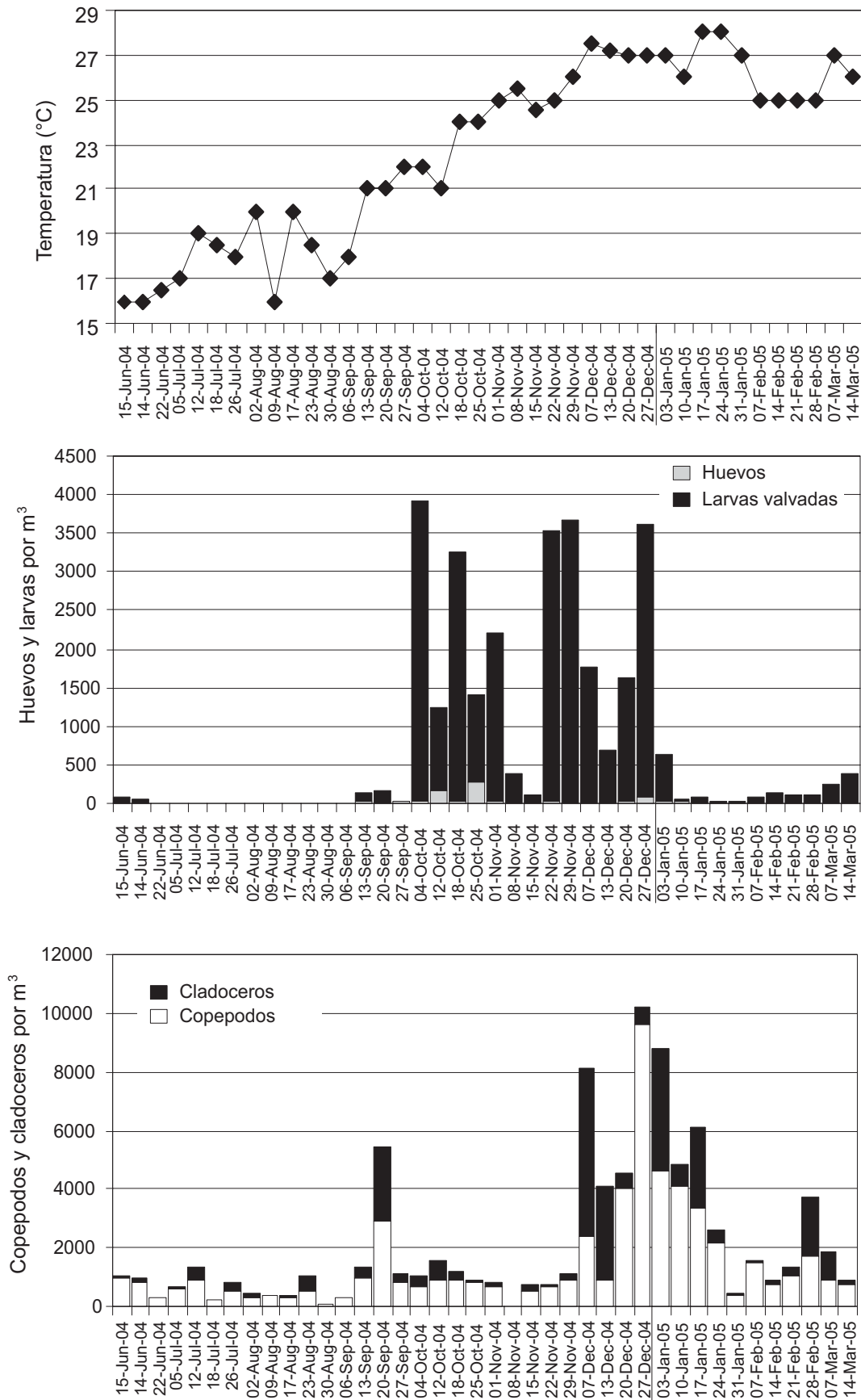


Fig. 8. Fluctuaciones semanales en la temperatura del agua y en las cantidades de huevos y larvas de *L. fortunei* y de otros organismos zoopláctónicos en el embalse de Salto Grande.

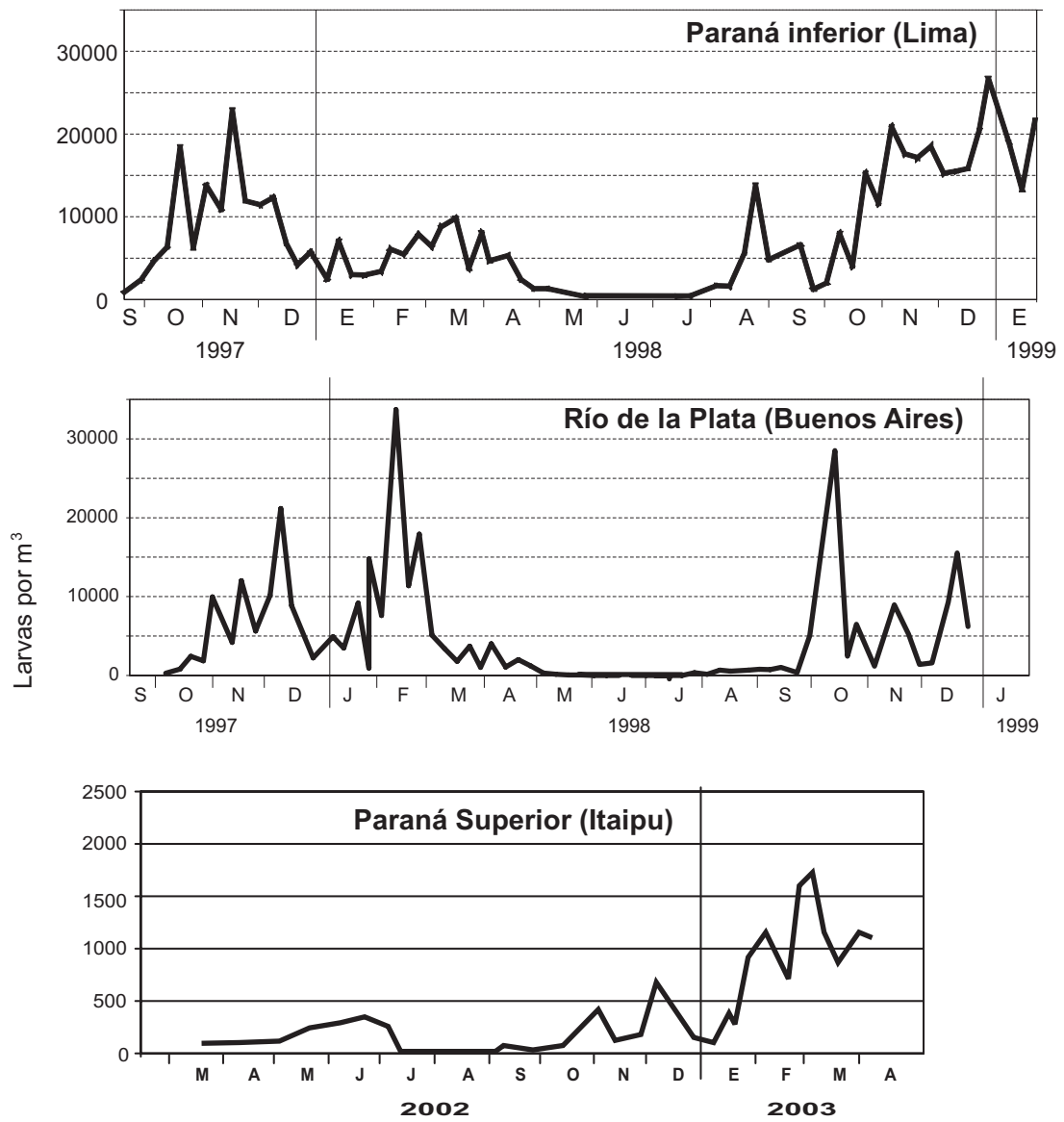


Fig. 9. Fluctuaciones mensuales en la cantidad de larvas de *L. fortunei* en el agua en diferentes sitios de la cuenca del Plata.



- ☆ *L. fortunei* ausente
- ★ *L. fortunei* presente, ~1 ind. m⁻²
- ★ *L. fortunei* presente, >50,000 ind. m⁻²

Fig. 10. Distribución de *Limnoperna fortunei* a lo largo del embalse Salto Grande en septiembre de 2003.

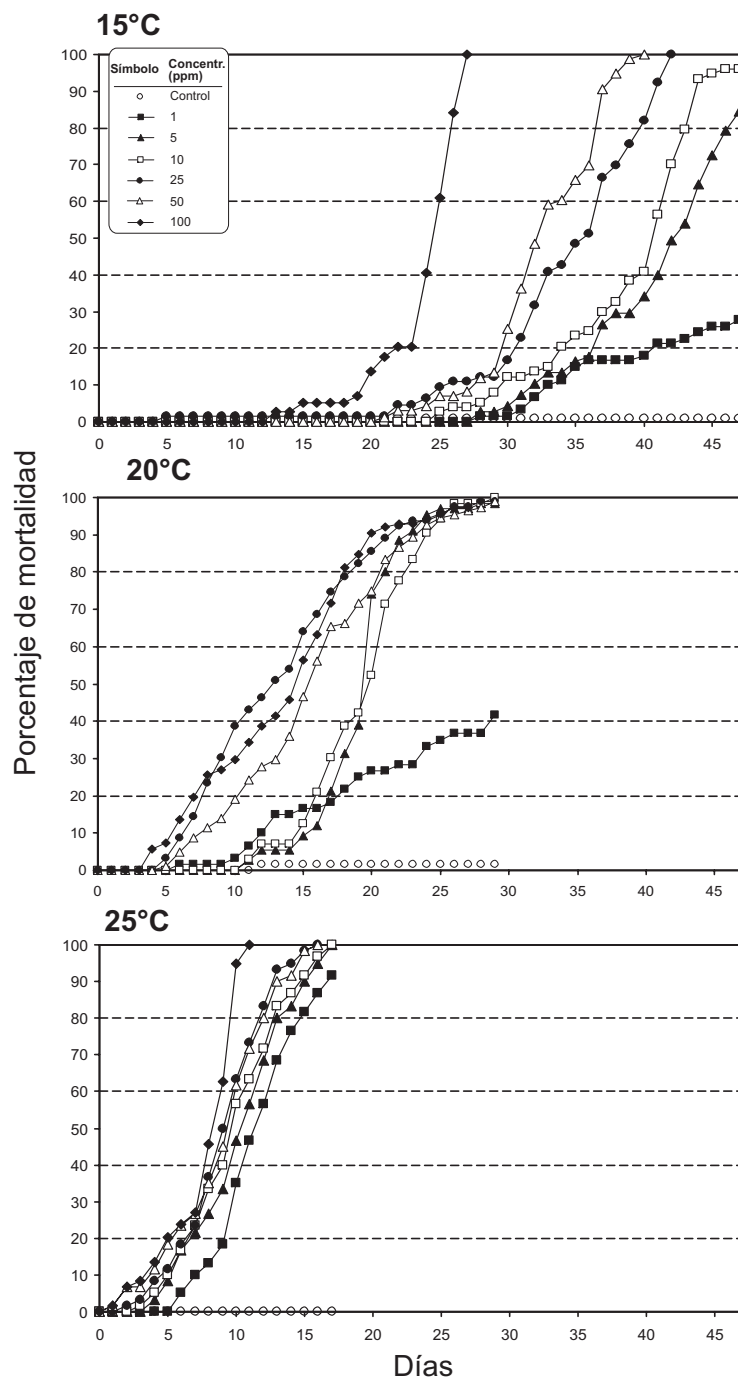


Fig.11. Resultados de ensayos de toxicidad del cloro (como hipoclorito de sodio) para ejemplares adultos de *Limnoperna fortunei* a tres temperaturas diferentes.

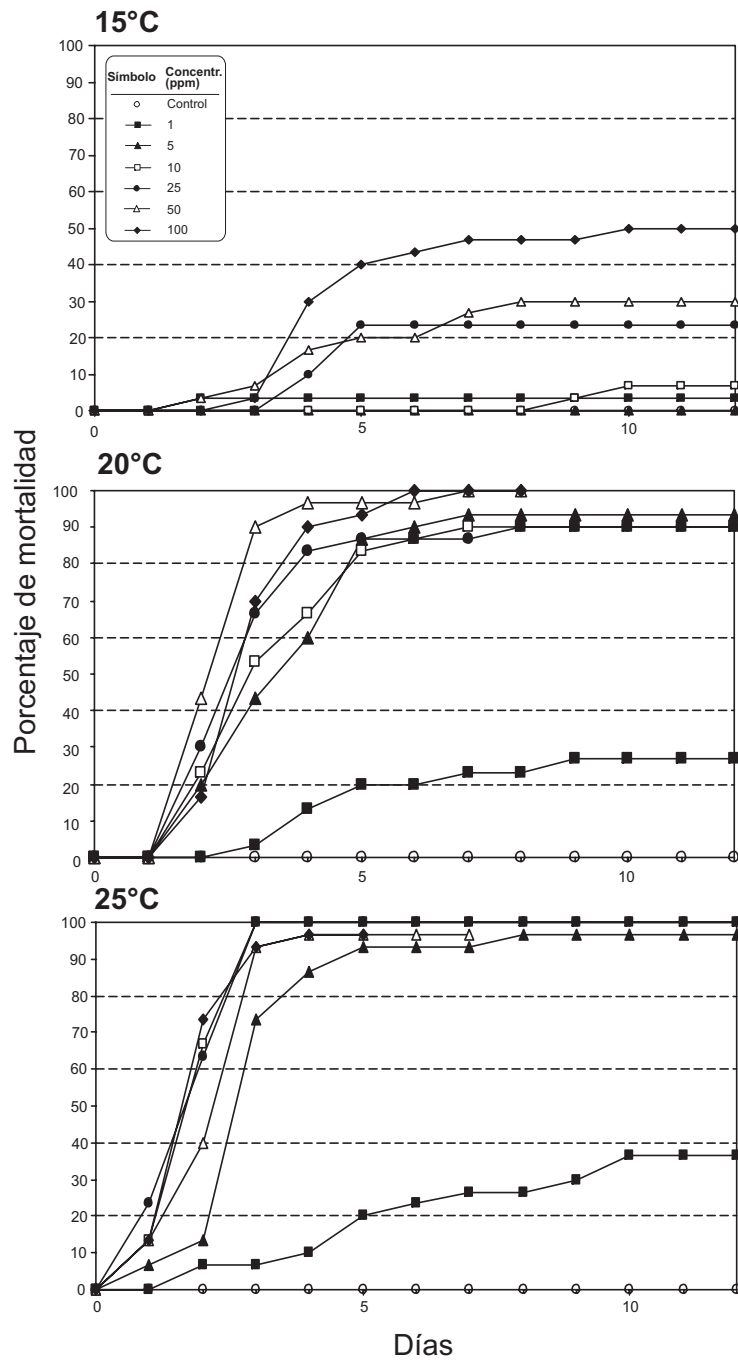


Fig. 12. Resultados de ensayos de toxicidad de un moluscicida específico, el amonio cuaternario conocido comercialmente como ClamTrol CT2 (actualmente el mismo producto se denomina Spectrus CT1300) para ejemplares adultos de *Limnoperna fortunei* a tres temperaturas diferentes.

Muestra No.	Fecha	Comienzo filtrado (hs)	Fin filtrado (hs)	Tiempo total de filtrado (minutos)	Agua de rio Huevos /hora de filtrado	Agua de rio+Ind. confinados Huevos /hora de filtrado	Larvas /m3 (media de ambas muestras)
1	27-Feb-04	19:33	20:03	30	1280	544	6,257
2	27-Feb-04	21:30	22:00	30	544	384	5,806
3	27-Feb-04	23:30	0:00	30	156160	19840	15,684
4	28-Feb-04	1:31	2:01	30	876800	638720	84,800
5	28-Feb-04	3:30	4:00	30	171520	31360	22,521
6	28-Feb-04	5:30	6:00	30	54272	116224	34,724
7	28-Feb-04	7:30	8:00	30	24320	16768	37,483
8	28-Feb-04	9:30	10:00	30	2944	1152	18,414
9	28-Feb-04	11:30	12:00	30	28032	2816	20,121
10	28-Feb-04	13:30	13:53	23	17530	10852	18,780

Tabla 1. Detalle de los recuentos de huevos y larvas de *L. fortunei* llevados a cabo sobre las muestras obtenidas los días 27 y 28 de febrero de 2004 para la evaluación de las densidades de adultos desovantes sobre la base de la estimación de la producción de huevos (primera experiencia). Cantidad de individuos desovantes confinados: 1364.

Muestra No.	Fecha	Comienzo filtrado (hs)	Fin filtrado (hs)	Tiempo total de filtrado (minutos)	Huevos /hora	Larvas tempranas /hora	Larvas charnela recta/hora	Juveniles y adultos /hora
1	8-Nov-04	15:00	18:00	180	0	0	427	69
2	8-Nov-04	18:00	21:00	180	0	0	75	11
3	8-Nov-04	21:00	24:00	180	0	0	123	11
4	9-Nov-04	00:00	03:00	180	0	0	32	59
5	9-Nov-04	03:00	06:00	180	0	0	0	0
6	9-Nov-04	06:00	09:00	180	0	0	16	0
7	9-Nov-04	09:00	12:00	180	0	0	101	11
8	9-Nov-04	12:00	14:30	150	0	0	896	256

Tabla 2. Detalle de los recuentos de huevos y larvas de *L. fortunei* llevados a cabo sobre las muestras obtenidas los días 8 y 9 de noviembre de 2004 para la evaluación de las densidades de adultos desovantes sobre la base de la estimación de la producción de huevos (segunda experiencia). Cantidad de individuos desovantes confinados: 1036.

Muestra No.	Fecha	Comienzo filtrado (hs)	Fin filtrado (hs)	Tiempo total de filtrado (minutos)	Huevos /hora /hembra (x1000)	Larvas tempranas /hora	Larvas charnela recta/hora	Juveniles y adultos /hora
1	14-Feb-05	14:40	17:05	145	14.3	13	20	73
2	14-Feb-05	17:15	19:20	125	0.0	0	8	154
3	14-Feb-05	19:40	21:15	95	349.0	606	30	71
4	15-Feb-05	08:15	12:30	915	26.0	100	3	6
5	15-Feb-05	12:30	16:30	240	0.0	0	8	72
6	15-Feb-05	16:30	19:05	155	26.7	37	25	31
7	15-16-Feb-05	17:00	14:00	1010	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
8	16-Feb-05	14:25	16:10	105	9.9	9	46	622
9	16-Feb-05	16:30	18:40	130	0.0	0	0	148
10	16-17-Feb-05	10:30	13:00	1080	38.4	71	0	3
11	17-Feb-05	13:00	16:00	180	0.0	0	21	107
12	17-Feb-05	16:15	19:15	180	0.0	0	0	213
13	17-18-Feb-05	09:40	10:00	885	0.0	0	0	11

Tabla 3. Detalle de los recuentos de huevos y larvas de *L. fortunei* llevados a cabo sobre las muestras obtenidas entre los días 14 y 18 de febrero de 2005 para la evaluación de las densidades de adultos desovantes sobre la base de la estimación de la producción de huevos (tercera experiencia). Cantidad de individuos desovantes confinados: 1853.

Fecha	Unidad	Huevos/m ³	Larvas no valvadas/m ³	Larvas valvadas/m ³	Copepodos /m ³	Cladoceros /m ³
15-Jun-04	U8	6	0	65	954	101
14-Jun-04	U11	10	0	45	792	167
22-Jun-04	U11	4	0	8	274	20
05-Jul-04	U11	4	0	2	600	96
12-Jul-04	U11	0	0	0	860	500
18-Jul-04	U11	1	0	0	190	35
26-Jul-04	U4	4	0	0	540	280
02-Aug-04	U4	4	0	0	314	130
09-Aug-04	U4	0	0	2	340	40
17-Aug-04	U4	4	0	0	324	64
23-Aug-04	U4	8	0	2	544	496
30-Aug-04	U4	2	0	0	82	14
06-Sep-04	U4	0	0	0	290	8
13-Sep-04	U2	40	0	92	960	392
20-Sep-04	U4	0	0	152	2904	2544
27-Sep-04	U4	8	0	16	808	336
04-Oct-04	U4	40	0	3888	656	384
12-Oct-04	U4	160	16	1080	880	696
18-Oct-04	U4	16	0	3240	920	240
25-Oct-04	U4	272	0	1124	800	60
01-Nov-04	U2	36	4	2160	640	208
08-Nov-04	U4	4	0	380	0	0
15-Nov-04	U4	0	0	120	540	180
22-Nov-04	U4	0	16	3520	640	128
29-Nov-04	U4	0	0	3680	880	256
07-Dec-04	U4	0	0	1760	2400	5760
13-Dec-04	U4	0	0	680	880	3200
20-Dec-04	U4	0	16	1600	4000	560
27-Dec-04	U4	96	0	3520	9600	640
03-Jan-05	U4	8	8	608	4640	4160
10-Jan-05	U4	0	24	24	4120	696
17-Jan-05	U4	0	0	80	3360	2720
24-Jan-05	U4	0	0	24	2144	464
31-Jan-05	U4	0	0	20	340	80
07-Feb-05	U4	0	0	80	1520	48
14-Feb-05	U4	0	0	140	760	128
21-Feb-05	U4	0	0	100	1040	280
28-Feb-05	U4	0	0	104	1728	2000
07-Mar-05	U4	0	0	240	920	920
14-Mar-05	u4	0	0	400	760	144

Tabla 4. Recuentos de larvas de *L. fortunei* en agua del embalse Salto Grande. Con fines comparativos se incluyen también las densidades de cladóceros y copépodos de las mismas muestras.

Tóxico	Especie	Concentración (ppm)	Tiempo de exposic. (días)	Tiempo de post-exposic. (días)	Temp. °C (°F)	Resultados (% mortalidad o dosis letal 50)	Fuente
Cloro	<i>C. fluminea</i>	0.29/1.00	28/28	---	23/20 (73.4/68)	66.7/37%	Belanger et al. (1991)
Cloro	<i>C. fluminea</i>	0.34/1.00	28/28	---	15.4/15 (59.7/59)	13/2%	Belanger et al. (1991)
Cloro	<i>C. fluminea</i>	1.00/1.00	8/8	---	23/20 (73.4/68)	100/2%	Bernhard (1986)
Cloro	<i>C. fluminea</i>	1.00/1.00	12/12	---	18/20 (64.4/68)	100/10%	Bernhard (1986)
Cloro	<i>C. fluminea</i>	1.00/1.00	8/8	---	23/25 (73.4/77)	100/13%	Bernhard (1986)
Cloro	<i>C. fluminea</i>	1.00/1.00	6/6	---	29/25 (84.2/77)	100/5%	Bernhard (1986)
Cloro	<i>C. fluminea</i>	1.0-1.5/1.0	19/17	---	24-26/25 (75.2-78.8/77)	98/92%	Pearson (1962)
Cloro	<i>C. fluminea</i>	0.5-0.75/1.0	12/12	---	26-28/25 (78.8-82.4/77)	100/57%	Pearson (1962)
Cloro	<i>C. fluminea</i>	0.2/1.0	13/13	---	25/25 (77/77)	100/68%	Ramsay (1988)
Cloro	<i>D. polymorpha</i>	5/3/05	27/27	---	0-4/15 (32-39.2/59)	30/0%	Barton (1993)
Cloro	<i>D. polymorpha</i>	0.5/1.0	21/21	---	12-15/15 (53.6-59/59)	100/0%	Chagnard (1995)
Cloro	<i>D. polymorpha</i>	0.5/1.0	10/10	---	20/20 (68/68)	100/3%	Chagnard (1995)
Cloro	<i>D. polymorpha</i>	1.0/1.0	27/27	---	9-15/15 (48.2-59/59)	100/0%	De Girolamo et al. (1991)
Cloro	<i>D. polymorpha</i>	1.0/1.0	14-15/15	---	12-15/15 (53.6-59/59)	95/0%	Klerks y Fraleigh (1991)
Cloro	<i>D. polymorpha</i>	1.0/1.0	13/13	---	20-22/20 (68-71.6/68)	100/14%	Martin et al. (1990)
Cloro	<i>D. polymorpha</i>	5.0/5.0	7/7	---	20-22/20 (68-71.6/68)	100/0%	Martin et al. (1990)
Cloro	<i>D. polymorpha</i>	0.5/1.0	8-9/9	---	18-21/20 (64.4-69.8/68)	100/2%	Van Benschoten et al. (1993)
Cloro	<i>L. fortunei</i>	1.0/1.0	31/29	---	~20/20 (~68/68)	100/42%	Morton et al. (1976)
H130/H130M	<i>D. polymorpha</i>	---	1/2	?/10	28/25 (82.4/77)	DL ₅₀ : 0.46/0.40 ppm	Fisher y Bernard (1991)
H130/H130M	<i>D. polymorpha</i>	---	2/2	?/10	28/25 (82.4/77)	DL ₅₀ : 0.30/0.40 ppm	Fisher y Bernard (1991)
H130/H130M	<i>D. polymorpha</i>	---	1/2	?/10	24/25 (75.2/77)	DL ₅₀ : 0.55/0.40 ppm	Fisher y Bernard (1991)
H130/H130M	<i>D. polymorpha</i>	---	2/2	?/10	24/25 (75.2/77)	DL ₅₀ : 0.41/0.40 ppm	Fisher y Bernard (1991)
H130/H130M	<i>D. polymorpha</i>	---	2/2	?/10	17/15 (62.6/59)	DL ₅₀ : 0.38-0.59/1.5 ppm	Fisher et al. (1994)
H130M	<i>D. polymorpha</i>	1.0/1.0	1/2	1/10	>12/15 (>53.6/59)	100/24%	Commy y Matthews (1994)
ClamTrol CT1/CT2	<i>D. polymorpha</i>	---	---	---	17/15 (62.6/59)	DL ₅₀ : 0.013/30.5 ppm	Fisher et al. (1994)
ClamTrol CT1/CT2	<i>D. polymorpha</i>	1.92/1.0	0.5/2	Several/10	10/15 (50/59)	55/3%	Petrille y Werner (1993)
ClamTrol CT1/CT2	<i>D. polymorpha</i>	1.92/2.5	0.5/2	Several/10	10/15 (50/59)	55/0%	Petrille y Werner (1993)
ClamTrol CT1/CT2	<i>D. polymorpha</i>	1.92/1.0	0.5/2	Several/10	20/20 (68/68)	96/27%	Petrille y Werner (1993)
ClamTrol CT1/CT2	<i>D. polymorpha</i>	1.92/2.5	0.5/2	Several/10	20/20 (68/68)	96/93%	Petrille y Werner (1993)
ClamTrol CT1/CT2	<i>D. polymorpha</i>	---	2/2	2/10	17/15 (62.6/59)	DL ₅₀ : 0.14-0.34/30.5 ppm	Waller et al. (1993)
ClamTrol CT1/CT2	<i>D. polymorpha</i>	---	2/2	2/10	17/20 (62.6/68)	DL ₅₀ : 0.14-0.34/1.3 ppm	Waller et al. (1993)
Bayluscide	<i>D. polymorpha</i>	---	2/2	2/6	17/15 (62.6/59)	DL ₅₀ : 0.015-0.02/0.8 ppm	Waller et al. (1993)

Tabla 5. Comparación de la toxicidad del cloro y de varios moluscicidas no oxidantes para *Limnoperna fortunei* (datos de Cataldo et al., 2003) y para otros dos moluscos bivalvos que generan problemas de macrofouling en instalaciones industriales: *Dreissena polymorpha* y *Corbicula fluminea*. Para cada línea de la tabla se detallan las condiciones experimentales y los correspondientes resultados (mortalidad porcentual o dosis letal 50) reportados en la publicación citada y hallados para *L. fortunei* por Cataldo et al. (2003) (separados por una barra). Las concentraciones se refieren a ingrediente activo de cada producto.