

CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DEL EMBALSE DEL RÍO TERCERO POR EFECTO DE LA INVASIÓN DE *Limnoperna fortunei* (Bivalvia: Mytilidae)

A. MARINÉLARENA^{1,2}, J. DONADELLI^{1,3} & M. HECEM

¹ Instituto de Limnología "R. Ringuelet"

² CIC Buenos Aires.

³ CONICET

e-mail: alemar@ilpla.edu.ar

ABSTRACT. Since its introduction in South America around 1990, the freshwater Asian mussel *Limnoperna fortunei* has been shown to strongly interact with several components of the local biota, sometimes producing significant changes at the ecosystem-wide scale. The "golden mussel" is present prior to 2000 in Río Tercero reservoir, Córdoba, Argentina, most probably introduced overland by a fouled recreational or fishing boat from the Paraná River. Since 2003 massive growth on submerged solid structures (piles, moorings, boat hulls) was strongly noticeable. Data collected regularly since 1996 showed changes in several water-column properties after the invasion. From 2004 on, water transparency increased, and suspended matter, chlorophyll a, and primary production decreased significantly, with stronger changes occurring in the area with highest mussel densities. On the basis of diver collected bottom samples taken in a 2006 survey, it has been estimated that the 47 km² reservoir hosts around 45 billion mussels, distributed mainly on solid surfaces, in waters less than 10m depth. At these densities, a volume equivalent to that of this water body can potentially be filtered by the bivalves every 2-3 days. The present survey addresses the question whether *Limnoperna* impact on the ecosystem is measurable.

Key words: Limnology; Invasive bivalves; Ecological impact; Reservoirs; *Limnoperna fortunei*.

Palabras clave: Limnología; Organismos invasores; Impacto ecológico; Embalses; *Limnoperna fortunei*.

INTRODUCCIÓN

El Embalse del río Tercero (32° 11' S; 64° 25' O) está ubicado en las Sierras Chicas, provincia de Córdoba, República Argentina. Fue construido en 1934 con fines de retención de crecientes, aprovechamiento hidroeléctrico y turismo. Es un embalse mediano que, a nivel de vertedero, tiene un área de 47 Km², un volumen de 480 Hm³ y profundidades máxima y media de 40 m y 12,5 m respectivamente. El vaso está conformado por dos cubetas, una al oeste más playa y extensa, que recibe los principales tributarios y otra al este, más pequeña y profunda donde está el dique. Ambas están separadas por una escotadura (Fig. 1).

En 1983 se puso en operación la Central Nuclear Embalse (CNE, 600 MV/h), construida en la escotadura, y que utiliza el agua del embalse en su sistema de enfriamiento. La CNE toma agua de 15m de profundidad (33 m³/s), la hace circular por su sistema de enfriamiento y la devuelve, a través de un canal de 6 Km, al cauce de uno de los tributarios, el río Quillín.

Desde el año 1977 el Instituto de Limnología "Dr. R. Ringuelet" (ILPLA), UNLP - CONICET, realiza estudios de las características físicas, químicas y biológicas del embalse, principalmente orientados a detectar cambios en el régimen térmico y trófico

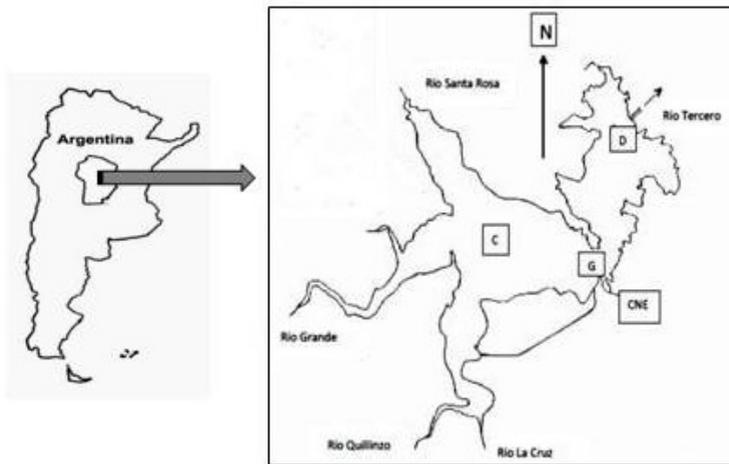


Figura 1. Ubicación del Embalse del Río Tercero, de sus principales tributarios y de las estaciones de muestreo Confluencia (C), Garganta (G) y Dique (D).

del lago, que pudieran ocurrir por el uso del agua que hace la CNE.

En el año 2000 se detectó la presencia en el lago del bivalvo *Limnoperna fortunei*, el mejillón dorado, un molusco oriundo del sudeste asiático. Este es un organismo invasor que ingresó en 1990 a la Argentina a través del Río de la Plata, probablemente con el agua de lastre de buques cargueros (Pastorino *et al.*, 1993; Ricciardi, 1998; Boltovskoy *et al.*, 2006). Presenta tasas de reproducción, desarrollo y crecimiento muy elevadas (Boltovskoy y Cataldo, 1999; Cataldo y Boltovskoy, 2000; Cataldo *et al.*, 2005) y también de filtración y pastoreo (Sylvester *et al.*, 2005). Desde entonces colonizó la cuenca del Plata remontando el río Paraná e invadiendo las costas de Uruguay, Brasil y Paraguay (Darrigran y Damborenea, 2006). *L. fortunei* crece sobre superficies duras sumergidas, a las que se fija con un viso y desarrolla poblaciones muy numerosas formando comunidades de varias capas de organismos superpuestas. Los efectos perjudiciales de la presencia de *L. fortunei* sobre la actividad humana son muy importantes. La colonización y obturación

de tomas de agua, tamices, filtros de agua, intercambiadores de calor y condensadores de vapor son problemas habituales en plantas industriales y centrales de energía ubicadas en zonas con presencia de mejillón dorado (Cataldo *et al.*, 2003). Esto implica tareas y costos adicionales para el control de dichos moluscos.

Desde el punto de vista ecológico, el ingreso de este organismo también es una presencia nociva pues altera el equilibrio existente en el ecosistema. En su desarrollo masivo libre de enemigos naturales, desplaza a organismos que tienen hábitats y nichos ecológicos similares. Generan condiciones adecuadas para que se desarrollen poblaciones de otros organismos bentónicos a los que brindan refugio y alimento y juntos constituyen un nuevo recurso alimentario para muchas especies de peces de la comunidad (Montalto *et al.*, 1999; Paolucci *et al.*, 2007; Sylvester *et al.*, 2007). Debido a su forma de alimentación por filtración, circulan grandes cantidades de agua a través de sus branquias, que retienen los organismos planctónicos. De tal forma cambian las condiciones ópticas del agua, reducen la oferta

alimentaria de los organismos planctófagos y alteran la estructura del plancton en la que dominan las especies con capacidad de escapar a la presión de filtración.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios producidos por el desarrollo de la población de *L. fortunei* sobre las condiciones físicas y químicas de la columna de agua del embalse.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como parte de las tareas del ILPLA, desde 1996 se desarrolla un programa de muestreos bimestrales, en los que se miden parámetros físicos, químicos y biológicos en tres estaciones del lago, la estación Dique (D) ubicada en el lóbulo Este, la estación Confluencia (C) en el lóbulo Oeste y la estación Garganta (G) en la escotadura.

En cada sitio se mide la penetración de la luz mediante la lectura del disco de Secchi y la disponibilidad de luz para la fotosíntesis (PAR, 400-700 nm) con un radiómetro LICOR 185-B. Se determina la profundidad de compensación (1% de PAR superficial) y se toman diez muestras a profundidades equidistantes, cinco en la zona oscura y cinco en la zona iluminada, con una bomba eléctrica sumergible. En cada profundidad se determina la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH y la conductividad eléctrica con una sonda multiparamétrica (HANNA 9828) y de cada estrato (fótico y afótico) se toman muestras integradas para determinar las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo), pigmentos fotosintéticos, producción primaria, seston total, diversidad específica, biomasa de las comunidades de bacterias, fitoplancton y zooplancton.

En este trabajo se analizaron y discutieron los resultados de algunos de esos parámetros: concentración de pigmentos fotosintéticos (filtración por filtros de fibra de vidrio, extracción con acetona 90% y espectrofotometría a 665 y 750 nm, Loren-

zen, 1967), material particulado en suspensión (seston) (filtración por filtros de fibra de vidrio, secado en estufa a 105 °C durante 24 hs y posterior pesado, APHA, 1985), producción primaria (técnica de oxígeno disuelto en botellas claras y oscuras, incubadas de 10 am a 2 pm, a cinco profundidades: 100, 60, 25, 10 y 1% de PAR en superficie, titulación por iodimetría) y recuentos de fitoplancton (sedimentación y recuento de células con microscopio invertido (Lund *et al.*, 1958).

A raíz del registro por primera vez de *L. fortunei* en el embalse, en 2006 se realizó un muestreo específico diseñado para estimar su abundancia y distribución. Se tomaron muestras en 109 sitios ubicados sobre 25 transectas perpendiculares a la costa que cubrieron todas las profundidades y tipos de costa. En cada lugar, mediante la tarea de buzos autónomos, se recolectaron todos los organismos incluidos en un área de fondo delimitada por un marco metálico de 0,25 m² (50 x 50 cm), arrojado aleatoriamente desde la superficie. Los especímenes fueron retirados junto con el sustrato al que estaban adheridos y en caso de ser ejemplares grandes, fueron extraídos bajo el agua con herramientas adecuadas. En cada lugar se determinó el tipo de sustrato, se registró la profundidad con una ecosonda y se tomaron las coordenadas geográficas para ubicar cada punto de muestreo en un mapa del embalse.

RESULTADOS

Entre 1996 y 2007 la transparencia del agua del Embalse se incrementó en las tres estaciones estudiadas. En la Fig. 2 se presentan las profundidades de lectura del disco de Secchi y en la Fig. 3 las profundidades de penetración del 1% de la luz (PAR) incidente en cada estación. La estación C (lóbulo oeste, donde ingresan los afluentes) fue la más turbia y la estación D la más transparente, con valores intermedios en G.

Los valores se mantuvieron relativamente estables entre 1996 y 2001, con lecturas de 1,5 - 2 m de disco de Secchi y 5 - 6 m de 1% de PAR en la estación C y 2,5 - 3 m de Secchi y 7 - 8 m de 1% de PAR en D. A partir de 2002 y hasta fines de 2006 el aumento de la transparencia fue mucho más evidente llegando a lecturas del disco de Secchi de 2,5 m en C, de 3,5 m en G y hasta 5 m en D, con una penetración del 1% de la luz PAR que superó los 8 m en C, los 10 m en G y los 12 m en D.

Las concentraciones de seston mostraron un comportamiento inverso al de la transparencia, con valores relativamente estables hasta fines de 2000 y luego una tendencia declinante, especialmente después de 2004 (Fig. 4). Los valores medios de 1996 - 2001 fueron claramente mayores que los mismos

valores para el periodo 2002 - 2007, disminuyendo en promedio 1,5 mg.L⁻¹ en las tres estaciones, de 6,6 a 4,3 mg.L⁻¹ en C, de 4,3 a 3,6 en G, y de 4,2 a 2,8 en D.

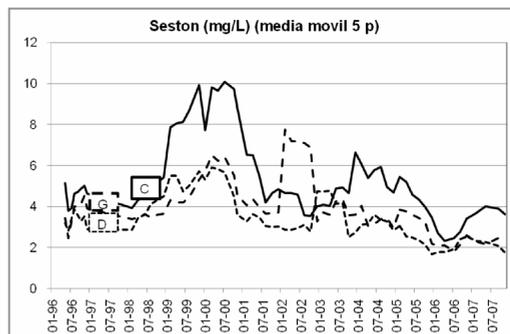


Figura 4. Variación en la concentración de material particulado en suspensión (seston total), en las estaciones C, G y D.

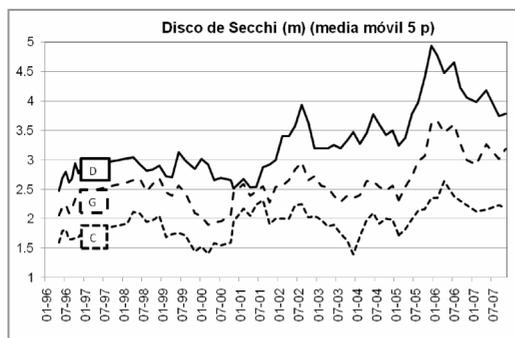


Figura 2. Variación de la profundidad de lectura del disco de Secchi (m), en las estaciones C, G y D.

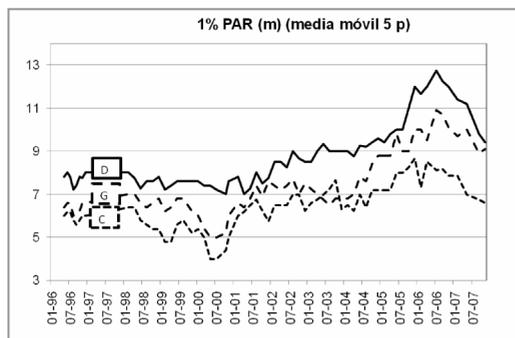


Figura 3. Variación de la profundidad de penetración del 1% de la luz disponible para fotosíntesis (PAR) respecto de la medición en superficie, en las estaciones C, G y D.

Un comportamiento similar se observó en las tasas de productividad primaria bruta (PPB), pero a partir de finales de 2003. El promedio de 1996 - 2003 fue de 33,9 mgC.m⁻³.h⁻¹ PPB mientras que en el periodo 2004 - 2007 fue de 17,3 mgC.m⁻³.h⁻¹ PPB. En esos mismos periodos las concentraciones de clorofila *a* mostraron una disminución de 6,6 a 4,3 mg Clor *a*.m⁻³ (Fig. 5).

La densidad de organismos fitoplanctónicos no mostró una tendencia definida. Hasta fines de 2001 los recuentos arrojaron valores del orden de 10⁶ ind.L⁻¹. Si bien en el periodo 2002 - 2003 las densidades promedio fueron de 1,2 - 1,4 x 10⁶ ind.L⁻¹,

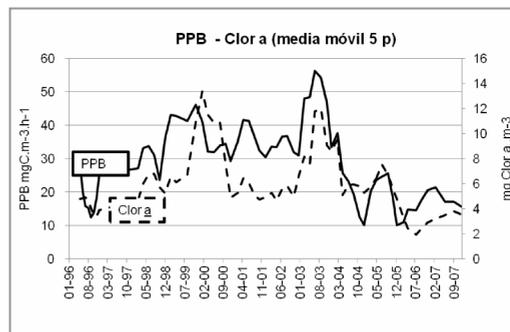


Figura 5. Variación de las tasas de productividad primaria bruta (PPB) y concentraciones de clorofila *a*, en las estaciones C, G y D.

luego volvieron a sus valores históricos (Mariñelarena *et al.*, 2007) (Fig. 6). A partir de 2003 se detectó un reemplazo de las especies dominantes. Entre febrero de 1999 y diciembre de 2002 se hicieron 22 muestreos, en los que *Cryptomonas pusilla* fue el alga dominante en 7 (32%), alternando con *Aulacoseira alpigena*, *Aulacoseira granulata*, *Actinocyclus normanii*, *Ceratium hirundinella*, *Cyclotella meneghiniana* y *Microcystis aeruginosa*. Entre febrero de 2003 y noviembre de 2007 se hicieron 27 muestreos en los cuales *C. pusilla* fue dominante en 20 de ellos (74%).

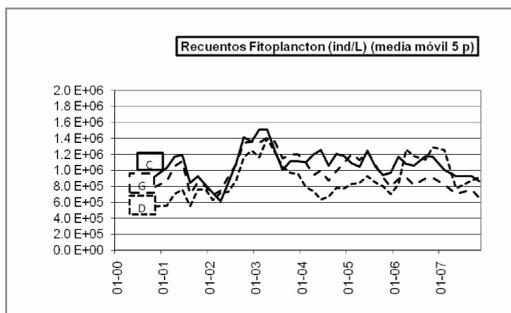


Figura 6. Variación en los recuentos de algas fitoplanctónicas en las estaciones C, G y D.

El estudio poblacional realizado en 2006 mostró que *L. fortunei* había colonizado todo el embalse, con una distribución no homogénea, fijándose casi exclusivamente sobre sustratos duros (rocas, tosca), donde se midieron concentraciones medias de 4867 ind. m⁻², contra una media de 339 ind. m⁻² en las zonas limosas (Boltovskoy *et al.* 2009).

En las zonas profundas del lago (>10 m) predominaron los sedimentos finos y se registraron muy bajas densidades de *L. fortunei*. Casi todas las costas del lóbulo oeste también mostraron un fondo cubierto por sedimentos limosos (zona de sedimentación). Los sustratos duros se encontraron mayoritariamente en la zona litoral de la escotadura y del lóbulo este. Se calculó una media de 1323 ind.m⁻² en el lóbulo

oeste, mientras que en el lóbulo este se estimó el doble de organismos por unidad de área (2761 ind.m⁻²).

El 70% de los ejemplares colectados se encontraron en un área que representa el 20% del fondo del lago. El 98% de las zonas más colonizadas estaban ubicadas a menos de 10 m de profundidad.

Se calculó que todo el embalse contiene una abundancia superior a 4,5 x 10¹⁰ individuos, que representan una biomasa de 27.558 toneladas de peso seco, incluyendo las valvas (Boltovskoy *et al.*, 2009).

DISCUSIÓN

Los mejillones y almejas invasores son bien conocidos por su capacidad para modificar las características de los ambientes a los que ingresan. Su alto potencial reproductivo les permite desarrollar grandes poblaciones en pocos ciclos anuales. Su etapa larval planctónica relativamente larga, de 10 - 20 días de vida libre (Cataldo *et al.*, 2005), favorece su diseminación por todo el sistema. Su hábito alimentario filtrador determina que, una vez establecida una población importante, las condiciones del ambiente colonizado se vean alteradas por la reducción del material particulado en suspensión lo que modifica el ambiente lumínico de la comunidad. Principalmente aumenta la transparencia del agua lo que incrementa el espesor del estrato productivo en el cuerpo de agua. Parte del material particulado filtrado es el plancton, por lo que el aumento de transparencia se asocia con una disminución en la densidad fitoplanctónica, de las concentraciones de clorofila *a*, y de las tasas de productividad primaria. Todos esos efectos se manifestaron claramente en el Embalse del Río Tercero.

Los valores promedio de transparencia medidos en el periodo 1996 - 2001 se incrementaron notablemente respecto de los medidos en 2002 - 2007. La profundidad

de lectura del disco de Secchi aumentó entre 0,5 y 1 m en la estación C y 2 - 2,5 m en la estación D. Los promedios de profundidad alcanzada por el 1% de la luz PAR también mostraron incrementos importantes del 29% en C, 31% G y 31% en D, estación donde se registraron lecturas de hasta 12 m.

La reducción del material particulado en suspensión en la columna de agua, en forma inversa a la penetración de la luz, mostró en los mismos periodos, disminuciones promedio del orden de 34% en C, 17% en G y 33% en D. Esa disminución del seston, (Fig. 4), fue paulatina, con algunas variaciones estacionales y comenzó a evidenciarse sobre algunos parámetros bióticos como la PPB recién hacia fines de 2003. En el periodo 2004 - 2007 las tasas promedio de productividad primaria volumétrica ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) fueron un 49% inferiores a las del periodo 1996 - 2003, llegando al punto en que la diferencia entre las concentraciones de oxígeno disuelto inicial y final fueron apenas detectables con el método de medición utilizado (titrimetría).

El incremento de la transparencia implica una extensión en profundidad del estrato iluminado, lo que podría explicar la disminución de las tasas volumétricas. No obstante las tasas de productividad primaria integrada, expresada por unidad de área ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$), también disminuyeron un 44% en los mismos periodos. Esto fue acompañado por una disminución de las concentraciones de clorofila *a*, aunque de menor magnitud (32%). La concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofilas) por unidad de biomasa no es constante y puede variar hasta un orden de magnitud entre diferentes grupos de algas (Margalef, 1983), de manera que si varían los componentes de la comunidad, las proporciones de clorofila, biomasa y productividad pueden verse también alteradas. Como se explicó más arriba

la comunidad del plancton mostró cambios en su composición específica. Durante 1999 - 2002 *C. pusilla* fue la especie dominante en el 32% de los muestreos, alternando con otras 5 ó 6 especies. En el periodo 2003 - 2007 la dominancia de *C. pusilla* ascendió al 74% de los muestreos. Considerando que esta es un alga pequeña, de gran movilidad mediada por flagelos esta dominancia podría ser una consecuencia de su mayor capacidad de escape a la presión de filtrado de *L. fortunei* frente a sus competidores en la dominancia de la comunidad planctónica, que en general son diatomeas (*A. alpigena*, *A. granulata*, *A. normanii*, *C. meneghiniana*); el dinoflagelado *C. hirundinella*, de gran tamaño o *M. aeruginosa*, una cianofita de células pequeñas pero que forman colonias voluminosas.

En el muestreo de 2006 se determinó que en el embalse había unos 45×10^9 mejillones (Boltovskoy *et al.*, 2009), lo que corresponde a unas 1700 toneladas de peso seco de *L. fortunei*. Considerando un volumen de 480 Hm^3 a cota de vertedero y utilizando un dato conservador de tasa de filtración de $5 \text{ ml/mg peso seco}$ (Sylvester *et al.*, 2005), la población estimada podría filtrar un volumen de agua similar al del lago lleno cada 2 o 3 días. Si bien esto es una estimación teórica, permitiría explicar los cambios observados en los parámetros analizados en el presente trabajo.

El estudio poblacional de *L. fortunei* se realizó en forma puntual en la fecha mencionada y luego no se realizaron otros relevamientos sobre la evolución de la población de mejillones en el embalse. El programa de monitoreo de la calidad del agua continúa con los muestreos bimestrales y los resultados de los últimos años muestran algunos signos de reversión en los valores de las variables físico-químicas y biológicas señaladas en este trabajo y en el desarrollo de las poblaciones de bivalvos que se observan

sobre las costas descubiertas durante las bajantes de primavera. Sería recomendable repetir algún estudio para analizar el estado actual de desarrollo de *L. fortunei* en el embalse, que permita comparar los resultados con los de 2006 y evaluar los procesos y factores que hayan intervenido para controlar o limitar su desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA (American Public Health Association). 1985. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. 15th Ed. Washington DC.
- Boltovskoy, D. y D. Cataldo. 1999. Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc in the lower Paraná River (Argentina). *Biofouling*, 14: 255-263.
- Boltovskoy, D., N. Correa, D. Cataldo y F. Sylvester. 2006. Dispersion and impact of invasive freshwater bivalves: *Limnoperna fortunei* in the Río de la Plata watershed and beyond. *Biological Invasions*, 8: 947-963.
- Boltovskoy, D., A. Karatayev, L. Burlakova, D. Cataldo, V. Karatayev, F. Sylvester y A. Mariñelarena. 2009. Significant ecosystem-wide effects of the swiftly spreading invasive freshwater bivalve *Limnoperna fortunei*. *Hydrobiologia*, 636: 271-284.
- Cataldo, D. y D. Boltovskoy. 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., D. Boltovskoy y M. Pose, 2003. Toxicity of chlorine and three non-oxidizing molluscicides to the invasive pest mussel *Limnoperna fortunei*. *Journal of the American Waterworks Association (AWWA)*, 95: 66-78.
- Cataldo, D., D. Boltovskoy, J. L. Hermosa y C. Canzi, 2005. Temperature-dependent larval development rates of *Limnoperna fortunei* (Mollusca, Bivalvia). *Journal of Molluscan Studies*, 71: 41-46.
- Darrigran, G. y M.C. Damborenea. 2006. Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano. EDULP, La Plata. Argentina. 220 pp.
- Lorenzen, C.I. 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments, spectrophotometric equations. *Limnology Oceanography*, 12: 343-346.
- Lund, J.W.G., C. Kipling y E.D. Le Cren. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia*, 11: 143-170.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona.
- Mariñelarena, A., M.A. Casco, C. Claps, M. Di Siervi, J. Donadelli, M. Hechem, M.E. Mac Donagh y M. Ardohain. 2007. Estudio Limnológico del Embalse del Río Tercero, (Córdoba). Informe Final. Central Nuclear Embalse.
- Montalto, L., O.B. Oliveros, I. de Ezcurra Drago y L.D. Demonte, 1999. Peces del Río Paraná medio predadores de una especie invasora: *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae). *Revista de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Litoral*, 3: 85-101.
- Paolucci, E.M., D.H. Cataldo, C.M. Fuentes y D. Boltovskoy, 2007. Larvae of the invasive species, *Limnoperna fortunei* (Bivalvia), in the diet of fish larvae in the Paraná River. *Hydrobiologia*, 589: 219-233.
- Pastorino, G., G. Darrigran, S. Martin y L. Lunaschi, 1993. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1957) (Mytilidae) nuevo bivalvo invasor en aguas del Río de la Plata. *Neotropica*, 39: 101.

- Ricciardi, A., 1998. Global range expansion of the Asian mussel *Limnoperna fortunei* (Mytilidae): another fouling threat to freshwater systems. *Biofouling*, 13: 97-106.
- Sylvester, F., J. Dorado, D. Boltovskoy, A. Juárez y D. Cataldo, 2005. Filtration rates of the invasive pest bivalve *Limnoperna fortunei* as a function of size and temperature. *Hydrobiologia*, 534: 71-80.
- Sylvester, F., D. Boltovskoy y D. Cataldo, 2007. Fast response of freshwater consumers to a new trophic resource: predation on the recently introduced Asian bivalve *Limnoperna fortunei* in the lower Paraná River, South America. *Austral Ecology*, 32: 403-415.