

ESTUDIOS PARA LA MITIGACIÓN DEL MACROFOULING OCASIONADO POR ESPECIES INVASORAS ACUÁTICAS EN ÁREAS INDUSTRIALES Y DE SERVICIO EN URUGUAY

Brugnoli, E.¹, Russo, R.², Mandiá, M.³, P. Muniz¹

1.- Oceanografía y Ecología Marina, Facultad de Ciencias; 2.- Gerencia de Medio Ambiente, Seguridad y Calidad, ANCAP;
3.- Gerencia de Generación Hidráulica, UTE

RESUMEN

En América del Sur, el mejillón dorado *Limnoperna fortunei* y el poliqueto formador de arrecifes *Ficopomatus enigmaticus*, han ocasionado importantes problemas de macrofouling en diversas industrias ocasionando la obstrucción de sistemas de refrigeración y/o la ruptura sensores hidráulicos. Para mitigar esta problemática se sugiere prevenir el ingreso de estos organismos a los sistemas acuáticos y controlar su población una vez ingresada, ya que su erradicación es muy costosa. Para la determinación de estrategias de control poblacional, son necesarios estudios básicos de la biología de estas especies que permitan actuar en los momentos de mayor vulnerabilidad poblacional a las medidas de control aplicadas. El presente trabajo sintetiza los resultados obtenidos durante proyectos de investigación básica y aplicada desarrollados durante 2005-2010 para la mitigación del macrofouling en instalaciones de dos empresas nacionales afectadas (UTE y ANCAP). Finalmente se indican fortalezas y debilidades detectadas en el país para enfrentar esta nueva problemática ambiental.

INTRODUCCIÓN

Las especies exóticas son organismos no autóctonos que pueden estar libres o cautivas, fuera del sitio de dispersión natural y que presentan la capacidad de sobrevivir y reproducirse en el nuevo ambiente. Una especie exótica introducida en un determinado ecosistema, puede presentar diferentes comportamientos poblacionales: extinguirse en corto tiempo, establecerse por un período de tiempo, permanecer en las zonas de introducción sin provocar cambios en el medio, en fase de retraso (lag-time) antes de convertirse en invasora. En general, se ha encontrado que el proceso de invasión biológica comprende diversas fases: introducción, establecimiento, naturalización y rápida dispersión fuera de los rangos normales (Williamsson 1996). Las especies invasoras son organismos exóticos que liberados intencional o accidentalmente fuera de su área de distribución geográfica, se propagan sin control, se sostienen por si mismas en hábitat naturales o artificiales; ocasionan disturbios ambientales como modificaciones en la composición, estructura y procesos de los ecosistemas y pueden generar gastos en los países afectados, así como problemas en la salud humana y animal (Morton 1977, Pimentel *et al.* 2000, UICN 2000). Luego de la destrucción de hábitats, las invasiones biológicas en ecosistemas terrestres y acuáticos son consideradas como la segunda causa de pérdida de biodiversidad en el planeta (D'Antonio *et al.* 2001). Por otro lado, los servicios que los ecosistemas brindan al ser humano no siempre son reconocidos, sin embargo son fundamentales

para el sustento y el desarrollo de la humanidad, y éstos pueden ser afectados por las invasiones biológicas.

Según los registros de la Base de datos de Invasiones Biológicas para Uruguay (InBUy), se reportan 64 especies con estatus poblacional invasor en al menos una localidad, incluyendo organismos terrestres (plantas vasculares, vertebrados e invertebrados) y acuáticos (invertebrados y vertebrados) (Masciadri *et al.* 2010). Al igual que otras regiones del mundo, en Uruguay estos organismos fueron introducidos accidental o intencionalmente, ocasionando impactos negativos en ecosistemas naturales y en sistemas manejados (Balero & Gándara 2003, Ríos 2005, 2006, Brugnoli *et al.* 2006, Nebel & Porcile 2006, Laufer *et al.* 2007, Lanfranconi *et al.* 2009, Masciadri *et al.* 2010, Brugnoli *et al.* 2011a).

En ecosistemas acuáticos, los organismos exóticos pueden habitar la columna de agua o en su superficie, utilizarla como medio de dispersión o invadir el suelo saturado y la interfase agua-tierra. Estas especies pueden ocasionar problemas sanitarios (transmisión de enfermedades), alterar condiciones hidrológicas naturales cambiando flujos y tasas de sedimentación, problemas en los usos consuntivos y no consuntivos de los sistemas acuáticos invadidos y obstrucción de sistemas y/o sensores hidráulicos mediante el denominado macrofouling (Howard 1999, UICN 2000, Brugnoli & Clemente 2002, Brugnoli & Boccardi 2005, Brugnoli *et al.* 2006).

El macrofouling se define como el asentamiento de organismos acuáticos mayores a 50 μm en sustratos artificiales. Entre estos organismos se destacan los mejillones, ostras, balanos y poliquetos que ocasionan problemas de obturación en sistemas de refrigeración y/o sensores hidráulicos de diferentes industrias (refinerías de petróleo, hidroeléctricas, industrias de la alimentación, centrales termoeléctricas). Los sistemas de refrigeración están protegidos por rejillas con un tamaño de poro mayor a 1 cm, evitando principalmente el ingreso de larvas de peces u organismos invertebrados mayores, pero no el ingreso de estadios larvales de invertebrados con tamaños del orden de micras (30-1000 μm). Estas larvas, ingresan a los sistemas de refrigeración, posteriormente se asientan y desarrollan las poblaciones bentónicas que crecen, aumentan en tamaño y número ocasionando la disminución del haz de la tubería hasta la obstrucción de la misma, incluso pueden ocasionar una disminución en la capacidad de refrigeración del sistema.

A nivel mundial, normalmente estos inconvenientes ocurren en zonas costeras y en los últimos 10 años el macrofouling se ha incrementado en toda América, debido principalmente a la invasión de moluscos de agua dulce y salobre, como *Dreissena polymorpha* en América del Norte y *Limnoperna fortunei* en América del Sur (Darrigran 2002). Ambos moluscos presentan

un comportamiento epifaunal bisado, con desarrollo larval y rápido crecimiento poblacional que ocasionó importantes problemáticas en diversas industrias del continente americano (Darrigran 2002, Karatayev *et al.* 2007). Específicamente, la cuenca del Plata actualmente está siendo afectada por *Limnoperna fortunei* (mejillón dorado) generando obstrucción de filtros, inutilización de sensores hidráulicos, daños en los sistemas de refrigeración, en las bombas de captación o disminución en el diámetro de las tuberías de conducción del agua, generando interferencia en diferentes actividades humanas (Morton 1977, Darrigran 2002). En Uruguay, hasta la fecha este organismo afectó plantas potabilizadoras de agua, instalaciones de represas hidroeléctricas, puertos y frigoríficos que utilizan el agua como insumo (Brugnoli *et al.* 2006). Otra clase de macrofouling es generado por organismos que presentan estructuras calcificadas como el poliqueto formador de arrecifes *Ficopomatus enigmaticus* que crecen en el interior de las tuberías y al morir se acumulan en el interior, generando una disminución en la velocidad del agua. Esta problemática se ha identificado en el sistema de refrigeración de la refinería ANCAP La Teja (Muniz *et al.* 2005, Brugnoli *et al.* 2006, Brugnoli *et al.* 2011a, Brugnoli *et al.* 2011b).

Para una gestión ambientalmente saludable que permita mitigar esta problemática, se sugiere prevenir el ingreso a los sistemas acuáticos y controlar su población una vez ingresada al sistema, ya que su erradicación es muy costosa (UICN 2000) (Figura 1). Se recomienda iniciar estudios tendientes a abordar el problema desde una perspectiva integral que incluya una visión operativa, ambiental y ecológica. Desde el punto de vista operativo se sugiere identificar los organismos causantes de macrofouling, principales sitios de asentamiento y etapas del año que presentan un incremento de los volúmenes de agua ingresados al sistema de refrigeración, así como las características del sistema de circulación. Ambientalmente se recomienda considerar acciones físicas, mecánicas y químicas que permitan un control poblacional de la especie, donde estas acciones deben considerar un impacto mínimo sobre el ambiente (Howard 1999). El control poblacional corresponde a la aplicación de estrategias de manejo que modifiquen las variables poblacionales de la especie (tasa de crecimiento, inmigración, emigración) con el objetivo de reducir, mantener o incrementar sus abundancias en un ambiente. Específicamente, toda medida de control de especies invasoras, debería ser aplicada en el o los momentos del ciclo de vida en que ocasione el máximo impacto en la población. La aplicación de una determinada estrategia de control, necesariamente deberá contar con un monitoreo del ambiente y su efecto sobre las otras especies que habitan el ecosistema. Dada la complejidad de interacciones que existen en los sistemas naturales y productivos, los métodos de control deben estar basados en el conocimiento científico. Asimismo es necesario que sean supervisados, monitoreados, y también es preciso en muchos casos, considerar prácticas de restauración de los

sistemas afectados. Aunque la erradicación de una invasión biológica es dificultosa y muy costosa, es posible y necesaria.

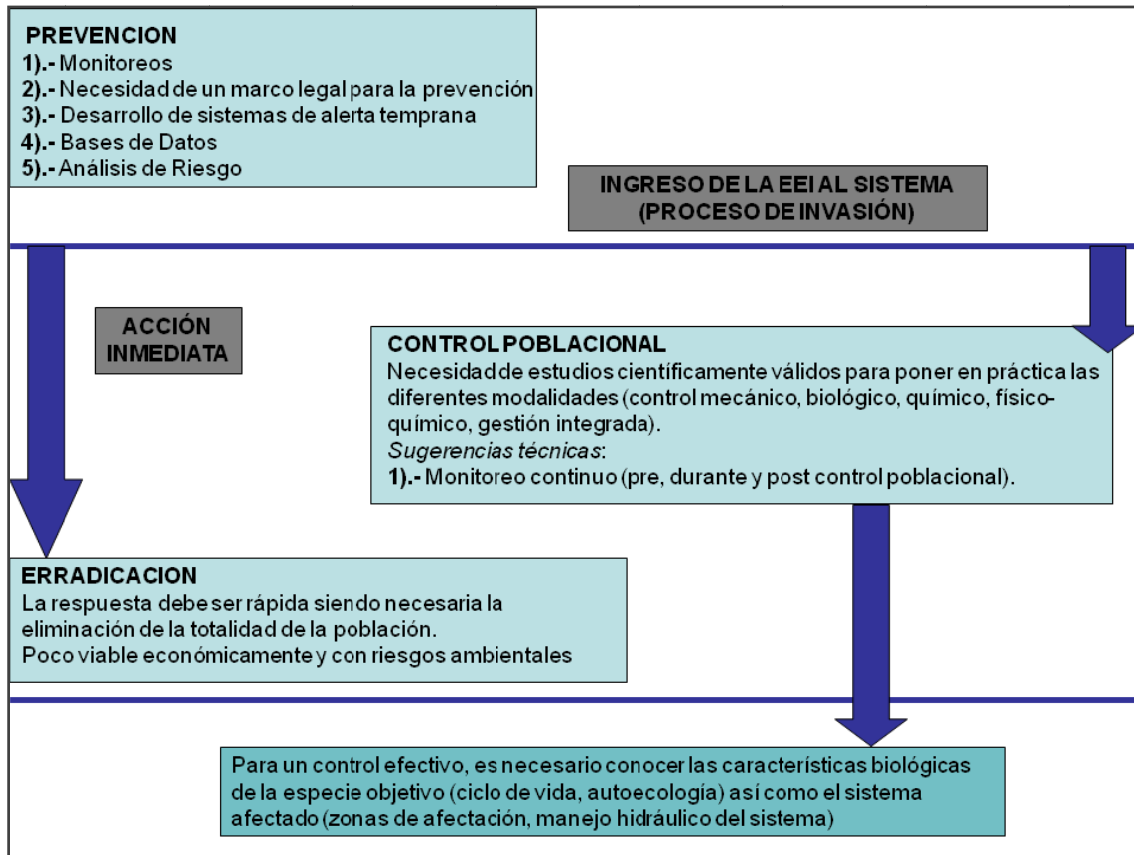


Figura 1. Alternativas de gestión ambientalmente saludable de especies exóticas invasoras. Modificado de Brugnoli *et al.* 2009.

El presente trabajo resume los resultados obtenidos durante proyectos de investigación básica y aplicada para la mitigación del macrofouling en instalaciones de empresas afectadas en Uruguay. Los estudios se realizaron entre 2005-2010 por la Facultad de Ciencias (Limnología, Oceanografía y Ecología Marina) con empresas de Uruguay afectadas por macrofouling en los sistemas de refrigeración e instalaciones de represas del sistema de embalses del Río Negro (UTE), así como en la refinería La Teja (ANCAP). Finalmente se indican fortalezas y debilidades detectadas en el país para enfrentar esta problemática ambiental.

DESARROLLO

1. Estudio para el control de moluscos en los Embalses del Río Negro (Octubre 2005-Diciembre 2006) (UTE-Limnología, Facultad de Ciencias).

La primera evidencia de biofouling en el Río Negro se registró en la Central Constitución en el sistema de enfriamiento de las turbinas en diciembre de 1999 (Figura 2). La misma estaba evidenciada por la presencia de colonias de bivalvos filtradores de agua dulce: *Corbicula flumínea* y *Limnoperna fortunei* (Clemente & Brugnoli 2002). Es de destacar que la limpieza anterior del sistema de enfriamiento se había realizado un año antes y no se había detectado presencia de estos bivalvos.

A partir de este momento UTE comienza a realizar un seguimiento en la presencia de *Limnoperna fortunei* en las diferentes Centrales Hidroeléctricas y sus embalses del Río Negro. En este contexto se planteó realizar el estudio de referencia con la Facultad de Ciencias.

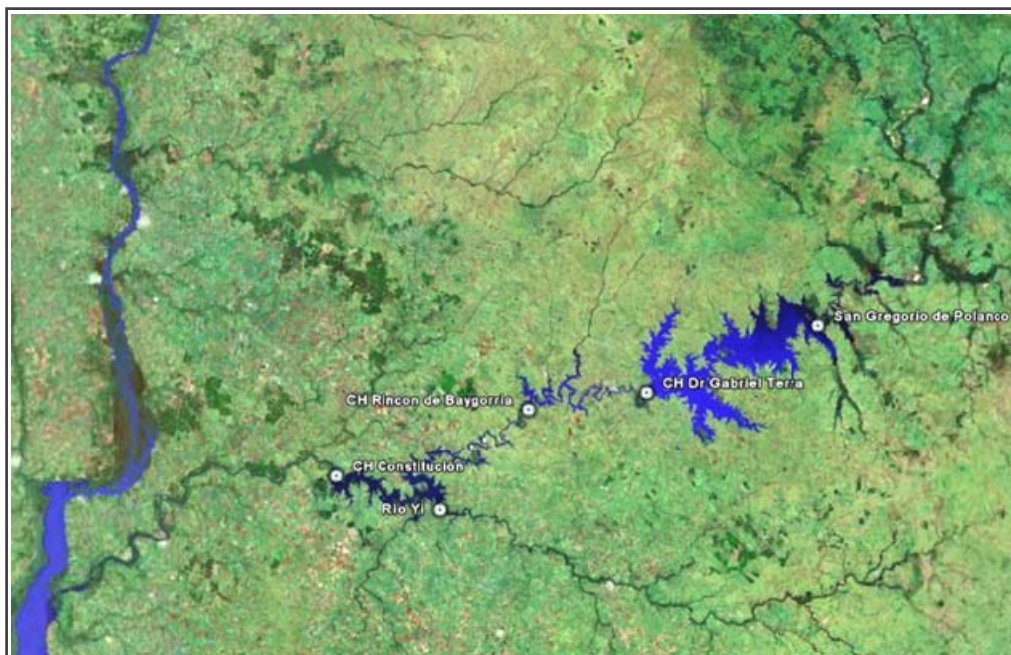


Figura 2. Presencia de *Limnoperna fortunei* en el sistema de Embalses del Río Negro hasta 2011.

Los **objetivos** propuestos para el presente proyecto fueron:

- Determinar el período de los máximos reproductivos y de asentamiento larval
- Determinar la estructura de la comunidad bentónica
- Determinar la fluctuación anual de los parámetros de calidad de aguas asociados a las variaciones larvales en el sistema de Embalses del Río Negro.

En estudios anteriores realizados por UTE se determinaron como principales problemas ocasionados por el mejillón dorado, la oclusión de filtros, tuberías y estructuras civiles; el aumento de corrosión de superficies debido a los asentamientos y la contaminación de agua por mortandad masiva (Figura 3).



Figura 3. Estructuras hidráulicas colonizadas por *Limnoperna fortunei* en los Embalses del Río Negro.

Se realizaron muestreos en diferentes épocas del año, (verano, otoño, primavera e invierno). Las muestras fueron colectadas en cinco estaciones de muestreo, correspondiendo tres estaciones al embalse Palmar (Palmar aguas abajo, Palmar aguas arriba y Río Yí) y dos estaciones en los embalse (una en Baygorria y otra en Bonete). Se determinaron los parámetros de calidad de agua *in situ* de, temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, profundidad de disco Secchi profundidad de la columna de agua. Se realizaron análisis fisicoquímicos determinándose el contenido de sólidos suspendidos totales, concentraciones de nitrato, nitrógeno total, fosfato, fósforo total y silicato reactivo. Igualmente se determinó la composición del fitoplancton y zooplancton mediante arrastre superficial y vertical respectivamente. Posteriormente se cuantificaron las abundancias de ambos componentes y identificación taxonómica. Los organismos se determinaron a nivel de especie de acuerdo con claves taxonómicas para la región.

Para el estudio sobre asentamiento larval y máximos reproductivos de *Limnoperna fortunei* se realizaron experimentos de asentamiento larval con paneles de incrustación suspendidos en una estación situada en la cabecera del embalse Palmar (Figura 4).



Figura 4. Paneles de incrustación y zona de incubación con boyas para la disposición de sustratos durante para el estudio de los patrones de asentamiento de *Limnoperna fortunei* en Embalses Palmar.

Los **resultados** observados mostraron que las abundancias de la comunidad zooplanctónica en el sistema de embalses del Río Negro, presentan una variación estacional, asociada a variables ambientales (temperatura) y manejo del sistema (tiempo de residencia). La temperatura es una de las variables con mayor efecto sobre las comunidades biológicas, permitiendo explicar su variación estacional en términos de abundancia. El tiempo de residencia vinculado con las variables de manejo del embalse, igualmente podrían explicar la variación de las abundancias observadas. El zooplancton mostró un comportamiento estacional en sus abundancias, con mínimos durante los meses de otoño e invierno, máximos en meses de verano y composiciones de la comunidad zooplanctónica similares durante los meses de verano, pero diferentes a invierno y primavera. (Brugnoli *et al.* 2011a).

La emisión de larvas de *Limnoperna fortunei* al sistema ocurre a partir del mes de setiembre (temperaturas mayores a 16°C) hasta fines de abril, con una aparente variabilidad interanual.

De acuerdo con la presencia/ausencia de larvas de *Limnoperna fortunei*, el sistema de embalses del Río Negro puede ser clasificado en sistemas invadidos (embalses Palmar y Baygorria) y sistema no invadido (embalse Rincón del Bonete) hasta el año del presente proyecto. Actualmente (Figura 2), el embalse Rincón del Bonete ha sido invadido por esta especie. Para cada uno de los mencionados embalses, igualmente se recomienda desarrollar y ejecutar diferentes estrategias de control poblacional.

En lo que se refiere a las abundancias de *Limnoperna fortunei* en sustratos se encontró una variación espacio - temporal en los sustratos suspendidos en el embalse Palmar. Las abundancias de los organismos asentados de *Limnoperna fortunei* en los sustratos suspendidos en el embalse Palmar, presentaron una variación espacio - temporal. Los mínimos se observaron durante los meses iniciales de la incubación en los sustratos de superficie y los máximos se encontraron al finalizar el estudio en los sustratos de ambas profundidades (Figura 5).



Figura 5. Paneles de incrustación al inicio (izquierda) y al finalizar (derecha), el período de incubación en Embalses Palmar.

A partir de estos resultados se continuó con los monitoreos de control y se participó en un proyecto de pasantía sobre esta temática financiada por la Dirección de Ciencia y Tecnología (DICYT, Ministerio de Educación y Cultura) en el marco del Programa de Jóvenes Investigadores en el Sector Productivo (PJISP).

2. “Estudio sobre variaciones temporales de estadios larvales de *Limnoperna fortunei* en un sistema invadido (Embalse Palmar, Río Negro) 2007-2008”. UTE- Programa de Jóvenes investigadores en el Sector Productivo-Área de Innovación, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (DICYT-MEC).

El **objetivo** de la presente pasantía fue analizar las variaciones temporales de los estadios larvales del mejillón dorado (*Limnoperna fortunei*) en la cabecera del Embalse Palmar, para determinar en qué momentos del año hay aparición de nuevas larvas (Figura 6) y así poder maximizar la eficiencia de los métodos de control aplicados para mitigar el macrofouling producido por esta especie. Fue desarrollado por María Jesús Dabezies (LATU), como tutor participó Ernesto Brugnoli (Oceanografía y Ecología Marina) y Magdalena Mandiá como contraparte por UTE.

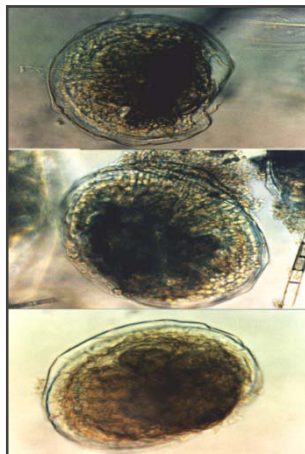


Figura 6. Estadios larvales de *Limnoperna fortunei* colectados en el Embalse Palmar. Fotos Ernesto Brugnoli

Se realizaron un total de 7 muestreos que incluyeron determinación de variables de calidad de agua y abundancias zooplanctónicas (Brugnoli *et al.* 2011a).

Los principales **resultados** mostraron que las abundancias zooplanctónicas presentaron un comportamiento estacional, con máximos durante los meses de primavera y mínimos durante invierno. Las variables ambientales que mayormente explicarían el comportamiento observado en las abundancias zooplanctónicas fueron la temperatura, transparencia del agua y el tiempo de residencia. El grupo dominante en número de taxa fueron los Rotíferos y en abundancia las larvas del mejillón dorado.

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en las densidades de larvas de *Limnoperna fortunei* en los distintos estratos estudiados el mayor promedio de organismos se encontró en la capa eufótica, entre la superficie y los 3 metros.

Este estudio no permitió encontrar un patrón definido en cuanto a la distribución estacional y espacial de los distintos estadios larvales de *Limnoperna fortunei*. Sin embargo, los patrones de estacionalidad del zooplancton coinciden con los estudios previos desarrollados en el sistema. En especial dentro de la represa de Palmar la mayor cantidad de larvas se encontrarían en las tomas de agua (cámara espiral), debido a una mayor estabilidad en las condiciones ambientales.

Consideraciones para el manejo

Finalmente, y considerando la evolución en el comportamiento que ha presentado esta especie así como que la misma se encuentra ya habitando el sistema del Río Negro, se cree que su erradicación es imposible, concluyéndose que es un problema con el cual se deberá convivir. Para ello se han implementado medidas de control a dos niveles: Central y embales, a los efectos de conocer mejor su adaptabilidad al medio

En lo referente a la Central se continúa con medidas de control a través de pruebas con pintura antifouling y limpieza mecánica de las estructuras; en cuanto al embalse se continúa con los estudios tanto sobre la biología de este mejillón como del sustrato en cual realiza su asentamiento y colonización.

3. Diagnóstico y estrategias de control de las especies generadoras de macrofouling en el reservorio de abastecimiento de agua para Refrigeración de la Refinería ANCAP-La Teja (CSIC Sector Productivo-ANCAP) (2009-2010). (Facultad de Ciencias-Oceanología-Medio Ambiente ANCAP).

En el reservorio refinería ANCAP-La Teja y el sistema de refrigeración asociado, estudios previos reportan especies incrustantes de poliquetos y moluscos que generan macrofouling en las estructuras hidráulicas. El desarrollo de investigación básica y el diseño de estrategias de control poblacional en este sistema, son necesarios para generar información que minimice el impacto ambiental y económico causado por estos organismos. En este escenario el sistema de agua industrial y anti incendio es afectado por un número importante de especies de origen fluvio marino que ingresan al sistema hídrico, adhiriéndose a las paredes de las tuberías y celdas de las bombas, formando un sustrato de capas conocido como macrofouling (Figura 7).

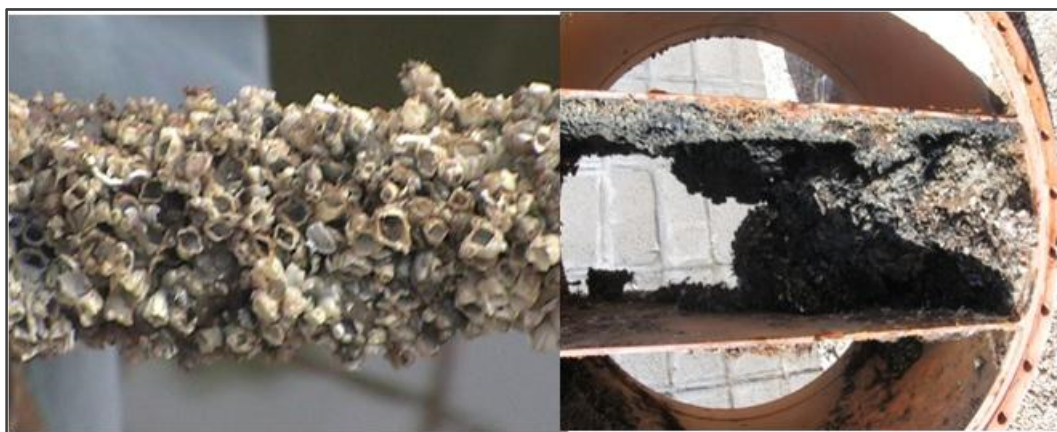


Figura 7. Sistema de refrigeración Refinería La Teja-ANCAP, afectado por organismos incrustantes.

En este contexto en el marco de los proyectos de vinculación Sector Productivo CSIC-ANCAP, se desarrolló el proyecto “Diagnóstico y estrategias de control de las especies generadoras de macrofouling en el reservorio de abastecimiento de agua para refrigeración de la Refinería ANCAP-La Teja”.

Los **objetivos** del presente proyecto fueron: 1).- Identificar en el reservorio, las especies macrobentónicas y estadios de especies planctónicas que ocasionan macrofouling en los sistemas de refrigeración; 2).- Analizar la variación temporal del asentamiento en sustratos metálicos artificiales de organismos incrustantes, 3).- Determinar parámetros poblacionales de especies generadoras de macrofouling (*Ficopomatus enigmaticus*) y 4).- Discutir con técnicos de ANCAP la factibilidad de aplicar estrategias de control poblacional obtenidas a partir de una revisión bibliográfica y contrastada con resultados del presente estudio.

El proyecto se desarrolló durante 15 meses entre 2009 y 2010, dónde se realizaron 13 visitas a la refinería La Teja que incluyeron colocación de los paneles de incrustación (Figura 8), inspección mensual de los paneles de incrustación en el reservorio o visitas al sistema de refrigeración para la colecta de muestras de organismos incrustados en los paneles y en las paredes del sistema. Nueve de las visitas (agosto, octubre, noviembre, diciembre 2009, febrero, marzo, abril, junio y julio 2010), se realizaron para la colecta de muestras de agua y biológicas de los paneles de incrustación suspendidos en el reservorio. Dos visitas (noviembre y febrero) se realizaron durante tareas de mantenimiento y limpieza de la pileta principal y sistema de captación de agua, así como para la colocación de 5 paneles de incrustación tratados previamente con pintura antifouling (Hempasill 77500). En el laboratorio de Oceanología (Facultad de Ciencias), se determinaron parámetros morfométricos del reservorio refinería ANCAP-La Teja, se identificaron y cuantificaron las muestras del componente bentónico y planctónico y se determinaron parámetros poblacionales de *F. enigmaticus* mediante la cuantificación del largo total.



Figura 8. Vista de Reservorio ANCAP-La Teja y sitios de ubicación de paneles de incrustación.

Resultados

Caracterización del reservorio refinería La Teja

El reservorio de la refinería ANCAP-La Teja, presenta un área total de 88.372 m², largo máximo 675 m y ancho máximo de 167 m, perímetro de 1180 m y una profundidad máxima de 11,95 m en el centro de la región más externa del sistema. La profundidad relativa es de 3.56 % cercano al valor reportado para sistemas profundos. El desarrollo de la línea costera es 2.24 indicando una forma alargada del sistema. La intensidad del intercambio de agua de mar depende de la amplitud de marea y corrientes, de la intensidad, dirección del viento y régimen de lluvias. La variación vertical de la temperatura del agua mostró un comportamiento estacional con máximos en superficie durante febrero y mínimos en julio; la variación vertical de la temperatura presentó a lo largo del estudio, temperaturas homogéneas, escasa variación vertical y presencia de inversión térmica. La salinidad presentó diferencias marcadas entre superficie y fondo; los menores valores se observaron en junio 2010 y los máximos en octubre.

Durante el período de estudio el sistema mostró una mezcla vertical homogénea o estratificación salina, presentando salinidades intermedias (superficie-3 m) y una masa salobre en zonas profundas del sistema (3-5 m) (Figura 9). El oxígeno disuelto presentó perfiles de tipo clinógrado; las concentraciones mínimas se presentaron en octubre y junio, mientras que el máximo en agosto. Se observó eventos de hipoxia ($< 2.5 \text{ mg L}^{-1}$) en una capa de la columna de agua ubicada entre 4-5 m, con la presencia de una variación temporal en este comportamiento. La elevada carga de materia orgánica en los sedimentos del sitio a estudio, podría explicar los bajos valores de oxígeno encontrados en zonas profundas del sistema. El pH mostró valores levemente alcalinos a neutros, durante el período de estudio, con un mínimo en junio 2010 y máximo en agosto. El comportamiento del pH y lo observado en las restantes variables físico-químico de la columna de agua, sugiere que la profundidad del sistema y las variables climatológicas condicionarían su comportamiento a lo largo del período de estudio. La comunidad zooplanctónica presentó una mayor abundancia y biodiversidad durante noviembre 2009 y febrero 2010, para los organismos del holoplancton y meroplancton. Este comportamiento estaría asociado a ciclos naturales de reproducción del zooplancton, con máximas abundancias durante primavera y fines de verano. Abril 2010, resultó ser el mes con menor abundancia y biodiversidad. Como organismos que ocasionan macrofouling en sus estadios bentónicos, se destacan nauplios de cirrípedos y larvas de *Ficopomatus enigmaticus*, con máximos estacionales en primavera (octubre y noviembre) y fin de verano (febrero). Los sedimentos se caracterizan por una dominancia de las fracciones finas y un contenido de materia orgánica con elevados valores y valores extremos durante abril. Los elevados valores reportados de materia orgánica (12-20%), son típicos de sistemas antropizados como zonas portuarias y bahías donde la circulación del agua es baja y la menor energía hidrodinámica provoca una mayor acumulación de material en el fondo. La comunidad bentónica de sustratos inconsolidados presentó baja riqueza y abundancia con especies típicas de ambientes estuarinos, registradas previamente en la región; corresponden a especies típicas de ambientes eutrofizados, perturbados antrópicamente, ricos en materia orgánica y adaptadas a condiciones ambientales estresantes.

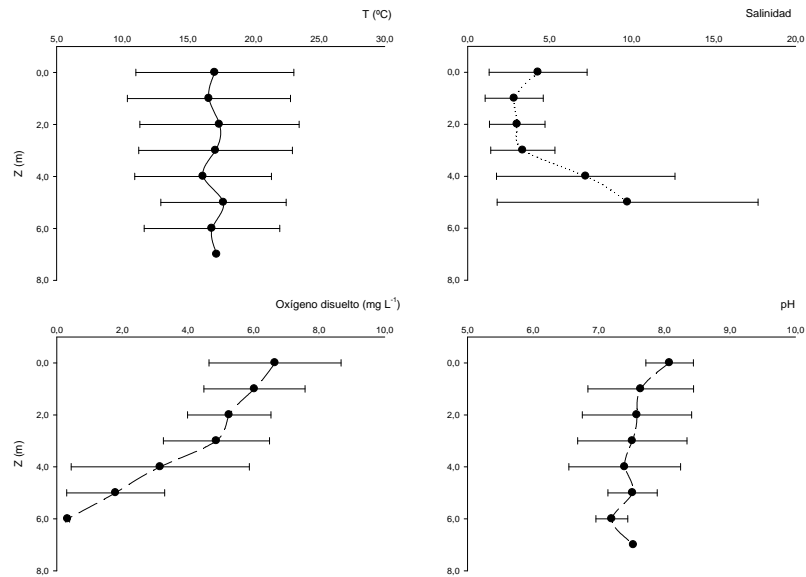


Figura 9. Variación vertical anual (promedios \pm SD) de la temperatura, salinidad, Oxígeno disuelto y pH en el sitio de estudio.

Paneles de incrustación

En los paneles de incrustación suspendidos en el reservorio refinera La Teja, se identificaron como organismos generadores de macrofouling a *Ficopomatus enigmaticus* y *Balanus improvisus*; la máxima densidad de *F. enigmaticus* se registró durante febrero (15957 individuos) y la mínima en octubre (498 ejemplares), se encontró una relación inversa entre las abundancia total de *B. improvisus* y *F. enigmaticus*, explicado por competencia por el espacio. Además se observó la presencia del cangrejo *Cyrtograpsus angulatus* y los poliqueto *Alitta succinea*, *Heteromastus similis*, y *Laeonereis acuta*. Estos organismos se ven favorecidos por la acumulación de sedimento y la estructura dimensional generada por los tubos calcáreos de de *Ficopomatus*.

Los estudios de estructura de tallas de *F. enigmaticus* en los paneles de incrustación, mostraron máximos de abundancia de organismos de pequeño tamaño (< 5 mm) asentados durante octubre y noviembre 2009. Estos resultados conjuntamente con los máximos larvales de poliquetos encontrados durante octubre en la comunidad zooplanctónica, reflejarían máximos de asentamiento larval de esta especie durante los meses de inicio de primavera. El estudio sobre el asentamiento y estructura de talla de *F. enigmaticus* indican la presencia de los primeros organismos asentados de *Ficopomatus* a los dos meses de colocados los paneles en el reservorio. Al tercer mes (octubre- noviembre), ocurre una rápida colonización del sustrato alcanzando las máximas densidades, coincidiendo con la primera liberación larval, donde la mayoría de los ejemplares presentan un $L_t < 5$ mm. Para el quinto mes se mantienen las altas densidades, pero se da un rápido crecimiento, donde la mayoría de los individuos presentan un $L_t = 10-15$ mm. Para los meses subsiguientes la alta competencia por el espacio determina una disminución

abrupta de la población de *Ficopomatus*, mientras que aumenta la proporción de balanos, acaparando entre ambas especies la totalidad del espacio de sustrato disponible. Esto determina que para el segundo evento masivo de liberación larval, aproximadamente al séptimo mes del estudio (febrero), no se registra un nuevo evento masivo de asentamiento. Durante este periodo la talla media de los poliquetos se mantiene relativamente constante. A partir de decimo mes se observa nuevamente un leve aumento en la tasa de crecimiento de los poliquetos, donde la mayoría de los poliquetos poseen un $L_t = 20-25$ mm.

Ensayos para el control del macrofouling

Se realizaron ensayo con pinturas antifouling que incluyeron la colocación de paneles de incrustación (de iguales características que los suspendidos en el reservorio refinería ANCAP-La Teja) tratados con pintura Hempasil 77500, en el sistema de captación de agua para el sistema de refrigeración y en el reservorio refinería ANCAP-La Teja (Figura 10). Los paneles se instalaron en octubre 2010, 3 en la pileta de captación y 2 en las líneas de paneles del reservorio (uno por línea); se revisaron durante diciembre 2009, febrero, marzo, abril, junio 2010 y se retiraron en julio 2010. Adicionalmente, en dos oportunidades se visitó la toma de agua durante actividades de limpieza y mantenimiento para la colecta de muestras de *Ficopomatus enigmaticus*. Para los diferentes meses del estudio, *F. enigmaticus* nunca fue encontrado asentado sobre los sustratos de la pileta de captación de agua. Sin embargo, se observaron balanos que se asentaron aunque con muy poca resistencia. Los sustratos suspendidos en el reservorio presentaron *F. enigmaticus* durante los tres meses consecutivos, únicamente en las aristas de los vértices de los sustratos, generando “bochones” o masas cilíndricas de tubos, mientras que no se detectó la presencia de *Balanus* sp. Durante las tareas de mantenimiento se identificaron organismos bentónicos asociados a las estructuras *F.enigmaticus* como los poliquetos *Alitta succinea*, *Laeonereis acuta*, *Nephtys fluviatilis*, el decapado *Cyrtograpsus angulatus*, gasterópodos (*Heleobia* sp.), algas, huevos de *C. angulatus* y nematodos; los organismos de *F. enigmaticus* en la pileta de captación de agua, presentaron mayores tasas de crecimiento que las observadas en los paneles del reservorio, sugiriendo condiciones propias en la toma de agua que ofrecerían ventaja a estos poliquetos, incrementando su tasa de crecimiento.



Figura10. Paneles de incrustación en la pileta de captación de agua para el sistema de refrigeración de la refinera La Teja. Izquierda: junio 2010, derecha, julio 2010. Ausencia de macrofouling sobre estructuras pintadas con Hempasil 77500.

Conclusiones

El sistema a estudio presentó un comportamiento térmico y salino condicionado por su morfometría, condiciones meteorológicas y la dinámica de los aportes de agua al sistema.

El ambiente bentónico mostró en su sedimento elevados contenidos de materia orgánica, y una comunidad bentónica empobrecida; estos indicadores igualmente reflejan la presencia de un deterioro ambiental del sistema bentónico.

La comunidad de organismos incrustantes está dominada por poliquetos (*Ficopomatus enigmaticus*) y crustáceos (*Balanus improvisus*) causantes de macrofouling generado por las condiciones ecológicas propicias para el desarrollo de dichas especies.

Recomendaciones técnicas

De las opciones para el tratamiento del biofouling en el sistema de refrigeración de la refinera ANCAP-La Teja, el uso de químicos (cloro) en determinadas épocas del año como así también el uso de pinturas antifouling siliconadas (Hempasil 77500), se recomiendan como los métodos más efectivos y convenientes, tanto en términos ecológicos como económicos, facilitando la limpieza y mantenimiento de las instalaciones. Otra posible estrategia para el control de *Ficopomatus enigmaticus*, podría ser el uso de una especie de pez presente en el sitio de estudio que modifique las abundancias de esta especie.

Se sugieren actividades específicas (ej: pintar áreas específicas en sistema de captación) para iniciar experiencias en el uso de esta técnica; se recomienda la realización de una estrategia

integrada de control, mediante el uso de químicos, remoción mecánica y uso de pinturas antifouling siliconadas como medida de manejo para iniciar el tratamiento del problema causado por el biofouling (especialmente *Ficopomatus enigmaticus*) en el sistema de refrigeración de la refinería ANCAP-La Teja. Para la implementación de la mencionada estrategia se recomienda considerar los ciclos biológicos de las especies de macrofouling, evaluar los costos económicos y ambientales de la aplicación de las estrategias químicas, así como la realización de monitoreos una vez aplicada las pinturas siliconadas sobre las superficies afectadas.

CONSIDERACIONES FINALES

A partir de los estudios desarrollados se identificaron fortalezas y debilidades para enfrentar la problemática ambiental del macrofouling en Uruguay.

Fortalezas

- Existencia de antecedentes de vinculación UdelaR-Sector Productivo que permite la realización a futuro de asociaciones entre sectores académicos y productivos para focalizar la solución de un problema identificado por el sector productivo.
- Fortalecimiento de vínculos entre el sector productivo nacional (ej. UTE, ANCAP) y empresas nacionales (ej: HEMPEL S.A), que aportaron productos innovadores y ambientalmente saludables para el control de organismos (ej: pintura antiincrustante siliconadas para ensayos con macrofouling por parte de *Ficopomatus enigmaticus*)
- Estos vínculos generan antecedentes para posterior acceso a financiamiento de proyectos de innovación que permitan el ensayo de alternativas de control ambientalmente saludables para mitigar el macrofouling.

Debilidades

- Falta de información y sensibilización de actores políticos referentes al efecto negativo de las especies exóticas invasoras a nivel ecosistémico y económico.
- Ausencia de estudios aplicados en diferentes áreas del conocimiento (ej.: química, ingeniería), que generen medidas de control poblacional, ambientalmente saludables.
- Ausencia de control efectivo de agua de lastre, dado que ha sido reconocido como principal vía de entrada de especies exóticas acuáticas.

AGRADECIMIENTOS

A las empresas que financiaron (ANCAP, UTE) o colaboraron (HEMPEL S.A.) en los estudios. Al SNI (ANII), CSIC- UdelaR con su programa “Proyectos CSIC-ANCAP”, al Programa Jóvenes investigadores en el Sector Productivo-Área de Innovación, Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (DICYT-MEC) y al LATU. A los funcionarios de las Centrales Hidroeléctricas

del Sistema de Embalses del Río Negro (UTE) y de la Refinería La Teja (ANCAP), por su constante apoyo y colaboración en las diferentes tareas de campo.

REFERENCIAS

- BALERO, R. & GÁNDARA J.M. 2003. Respuesta de *Ulex europaeus* L. a la quema controlada. Tesis 3163. Facultad de Agronomía, Montevideo. 60 p.
- BRUGNOLI, E., CLEMENTE, J., Riestra, G., BOCCARDI, L. & BORTHAGARAY, A. 2006. Especies acuáticas exóticas en Uruguay: situación, problemática y gestión. In: Bases para la conservación y manejo de la costa uruguaya (R. Menafra, L. Rodríguez, F. Scarabino & D. Conde, eds.). Graphis, Montevideo, p. 351-362
- BRUGNOLI, E., MASCIADRI, S. & MUNIZ, P. 2009. Base de datos de especies exóticas e invasoras en Uruguay, un instrumento para la gestión ambiental y costera. ECOPLATA, Montevideo.
- BRUGNOLI, E., DABEZIES, M. J., CLEMENTE, J. M. & P. MUNIZ. 2011. *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857), en el sistema de embalses del Río Negro, Uruguay. *Oecologia Australis*. 15(3): 576-592
- BRUGNOLI, E., LANFRANCONI, A., RUSSO, R. & MUNIZ, P. 2011. Annual Cycle of *Ficopomatus enigmaticus* in an artificial water body used for industrial purposes 2nd World Conference on Biological Invasions and Ecosystem Functioning. November 21-24. Mar del Plata, Argentina.
- BRUGNOLI E. & BOCCARDI L. 2005. Especies invasoras: Nuevos indicadores de viejos problemas ambientales. *Ambientales* 29: 44-51.
- CLEMENTE JM & E BRUGNOLI E, 2002. Note: Record of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia: Mytilidae) in continental waters of Uruguay (Río Negro and Río Yí). *Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay* 13: 29-33.
- D'ANTONIO, C.M., MEYERSON, L.A. & DENSLOW, J. 2001. Exotic species and conservation. In: Conservation biology: research priorities for the next decade (M.E. Soule & G.H. Orains, eds.). Island Press, Washington, p. 55-80.
- DARRIGRAN, G. 2002 Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions* 4:145-156.
- HOWARD G 1999. Especies invasoras y humedales. Ramsar COP7 DOC. 24. 8 p.
- KARATAYEV, A.Y., PADILLA, D., MINCHIN, D., BOLTOVSKOY, D. & BURLAKOVA, L.B. 2007. Changes in global economies and trade: the potential spread of exotic freshwater bivalves. *Biol. Inv.* 9: 161-180.
- LANFRANCONI, A., HUTTON, M., BRUGNOLI, E. & MUNIZ, P. 2009. New record of the alien mollusc *Rapana venosa* (Valenciennes 1846) in the Uruguayan coastal zone of Río de la Plata. *Pan Am. J. of Aquat. Sci.* 4(2): 216-221.
- LAUFER, G., CANAVERO, A., NUÑEZ, D. & MANEYRO, R. 2007. Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) invasion in Uruguay. Brief Communication. *Biol. Inv.* doi10.1007/s10530-007-9178-x.
- MASCIADRI, S., BRUGNOLI, E. & P. MUNIZ. 2010. InBUy, Database of Invasive and Alien Species (IAS) in Uruguay-InBUy: a useful tool to face up this threat on the biodiversity. *Biota Neotrópica* 10(4): 205-214.
- MORTON, B 1977 Freshwater fouling bivalves. Proceedings of the First International *Corbicula* Symposium. Texas University, 14 pp.
- MUNIZ, P., CLEMENTE, J. & BRUGNOLI, E. 2005. Benthic invasive pests in Uruguay: a new problem or an old one recently perceived? *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1014-1018.
- NEBEL, J.P. & PORCILE, J.F. 2006. Contaminación del Bosque nativo por especies arbóreas y arbustivas exóticas. 27 p. <http://www.mgap.gub.uy/> Forestal. Accessed 15 feb 2007.
- PIMENTEL, D., LANCH, L., ZÚÑIGA, R. & MORRISON, D. 2000. Environmental and economic cost of nonindigenous species in the United States. *BioSci.* 50: 53-65.
- RÍOS, A. 2005. Campaña para el control de la margarita de Piria. <http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/ad/2005/>. Accessed 15 May 2009.
- RÍOS, A. 2006. Control de malezas en cultivo de Invierno. *INIA La Estanzuela* 7: 23-26.
- UICN, 2000. Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss Caused by Alien Invasive Species. International Union for the Conservation of Nature, Gland, Switzerland.
- WILLIAMSSONS, M. 1996 Biological Invasions. Champan & Hall, London