

III. DISTRIBUCIÓN Y DESCRIPTORES POBLACIONALES DE MOLUSCOS INVASORES

INTRODUCCIÓN

Las especies exóticas invasoras son aquellas que se distribuyen fuera de su rango natural biogeográfico. Pueden afectar la biodiversidad autóctona, ocasionar perjuicios económicos o efectos negativos a la salud humana. Específicamente los organismos invasores acuáticos reportados hasta la fecha para Uruguay ocasionaron perjuicios económicos a empresas usuarias de los recursos hídricos generando gastos no previstos y efectos potencialmente negativos sobre la biodiversidad autóctona (Brugnoli *et al.* 2005, 2006), aunque aún no verificados. En la cuenca del río Santa Lucía se reportan cuatro especies exóticas invasoras: el poliqueto *Ficopomatus enigmaticus* y los bivalvos *Limnoperna fortunei*, *Corbicula fluminea* (Brugnoli *et al.*, 2005, Langone 2005, Rodríguez 2007), los últimos con una amplia distribución y *C. largillierti*.

Corbicula fluminea tiene una capacidad mayor de dispersión y colonización que *C. largillierti* (Brugnoli *et al.* 2006). Ambas especies infaunales son originarias de ríos y arroyos del sudeste asiático. En Uruguay, los mayores estudios referidos a ambas especies se relacionan con *C. fluminea*, la cual es una especie de agua dulce que vive preferentemente en ambientes lóticos tolerando un máximo de salinidad de 13 ups. Se reproduce dos veces al año, es hermafrodita e incuba los huevos fertilizados en el interior de sus demibranquias (Mansur *et al.* 2004). Fue citada por primera vez para nuestro país en las costas del río Uruguay (Olazarri 1986) y desde entonces se observa una rápida y continua colonización de ríos, arroyos y lagunas. Presenta una distribución desde el kilómetro 0 al 90 del río Uruguay (Defeo *et al.* 1990) y tramos importantes de sus principales afluentes (río San Salvador hasta el km 25 y Río Negro hasta la represa de Palmar inclusive, Olazarri 1986). En 1991 se la encuentra en Playa Penino (desembocadura del río Santa Lucía; F. Scarabino *obs. pers.*), en 1999 se detecta en el río Santa Lucía y Laguna Merín (Rodríguez & Palacios 2001). Rodríguez (2007) la reporta en las cuencas alta, media y baja del río Santa Lucía.

Limnoperna fortunei (Dunker, 1857), es un mitílido exótico presente en la región Neotropical, conocido comúnmente como mejillón dorado. Originario de sistemas de agua dulce del sureste de China, presenta determinadas características biológicas y ecológicas que permiten catalogarla como especie invasora (Darrigran 2002). Introducida accidentalmente en la región en 1991 por medio de las aguas de lastre (Darrigran & Pastorino 1995), se lo encuentra en sistemas de agua dulce y/o salobres (Darrigran 2002, Brugnoli *et al.* 2005). En Uruguay fue registrada por primera vez en 1994 en zonas costeras del Río de la Plata (Scarabino & Verde 1995) encontrándose actualmente en cinco de las seis principales cuencas hidrográficas: Río de la Plata, Río Uruguay, Río Negro, Río Santa Lucía (Brugnoli *et al.* 2005) y Laguna Merín (Langone 2005). En la cuenca del Río Santa Lucía se le reporta en la cuenca baja y media, afectando tomas de agua, invadiendo sistemas lóticos y lénticos (Brugnoli *et al.* 2005, Langone 2005).

En Uruguay los estudios para estas especies son escasos y se han referido principalmente a análisis por separado de las mismas, dirigidos a analizar los patrones de distribución (Olazarri 1986, Brugnoli *et al.* 2005, 2006, 2007, Langone 2005) o como recurso pesquero para el caso de *C. fluminea* (Defeo *et al.* 1990). Recientemente Rodríguez (2007) analiza los patrones de distribución asociado a variables ambientales y parámetros poblacionales de *C. fluminea* en la cuenca del Río Santa Lucía, mientras que Brugnoli *et al.* (2008 a y b), estudian el ciclo anual y patrones de reclutamiento del mejillón dorado en el embalse Palmar, (Río Negro), generando información sobre ciclos biológicos y variables poblacionales de ambos organismos en diferentes cuencas hidrográficas de Uruguay.

El presente estudio está dirigido a determinar la actual distribución de *L. fortunei* y *C. fluminea* en la cuenca del Río Santa Lucía, cuantificar sus parámetros poblacionales (abundancia, estructura de tallas, biomasa) y su relación con variables ambientales. Esto permitirá evaluar la situación poblacional de ambas especies y detectar la presencia de variaciones espacio-temporales poblacionales, asociadas a condiciones ambientales (calidad de agua y condiciones físico-químicas del sedimento). También se evalúa la variación temporal de *L. fortunei* en sustratos artificiales suspendidos en sistemas invadidos y no invadidos de la cuenca del Río Santa Lucía. Estos estudios permitirán establecer una línea de base, así como el desarrollo de una metodología de trabajo para ser replicada en otras cuencas hidrográficas de Uruguay. Posteriores estudios comparativos entre

diferentes cuencas hidrográficas permitirán evaluar el estado de la invasión de esta clase de organismos en Uruguay.

METODOLOGÍA

1) Distribución espacial

La determinación de la distribución espacial de *L. fortunei* y *C. fluminea* en la cuenca del Río Santa Lucía se realizó durante diciembre de 2006. Para ambas especies se colectaron muestras en las 33 estaciones utilizadas para la evaluación ecológica de los cursos de agua. Adicionalmente, se realizaron visitas a 10 estaciones que presentaban registros previos de *L. fortunei* de acuerdo con Brugnoli *et al.* (2005) y Langone (2005).

La presencia / ausencia de ambas especies se determinó colectando 3 dragas por sitio para *C. fluminea* y revisando manualmente los sustratos (artificiales y naturales) presentes en el sitio durante 10 minutos para *L. fortunei*. Las estaciones fueron georreferenciadas utilizando un GPS o cartografía del Servicio Geográfico Militar o mediante el Google Earth®. Los puntos con presencia de las especies fueron incluidos en un mapa de la cuenca del R. Santa Lucía.

2) Descriptores poblacionales y variables ambientales

2.1) Trabajo de campo

La determinación de los descriptores poblacionales de *L. fortunei* se realizó mediante la suspensión de sustratos metálicos en los embalses Canelón Grande y Paso Severino desde el 31 de julio de 2007 al 25 marzo de 2008. El embalse Paso Severino presentaba registros previos de la especie (Langone 2005), mientras que Canelón Grande hasta la fecha de suspensión de los sustratos no mostraba registros para la especie. Se suspendieron sustratos artificiales compuestos por 3 placas de acero inoxidable de 1 cm de espesor y 20 cm de lado con un área expuesta total de 0.24 m². Las placas se encuentran unidas y definen 3 planos perpendiculares entre si, de manera que las superficies estén orientadas en todas las direcciones posibles para su colonización por los organismos (fig. 1). Se suspendieron tres sustratos en Paso Severino y uno solo en Canelón Grande. Al finalizar la incubación (marzo 2008), los sustratos se rasparon y las muestras se fijaron en alcohol al 70 % para su posterior cuantificación en el laboratorio. En ambos sistemas durante julio y diciembre de 2007 y febrero y marzo de 2008 se determinó la temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, pH y transparencia del agua mediante sensores Horiba y disco de Secchi.

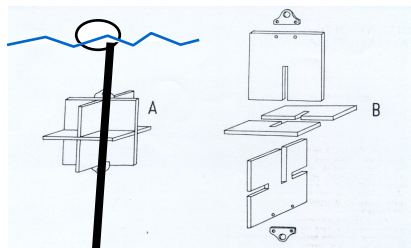


Figura 1. Diseño de sustratos utilizados para la determinación de parámetros poblacionales de *L. fortunei* (modificado de Morton 1977).

Para la determinación de los descriptores poblacionales de *C. fluminea* y las variables ambientales de los sistemas estudiados, durante diciembre 2006 se establecieron estaciones de muestreo situadas en la cuenca baja, media y superior del Río Santa Lucía (fig. 2). Las estaciones fueron monitoreadas en la zona litoral en marzo, julio y diciembre de 2007. Se colectaron muestras por triplicado con una draga van Veen (0.05 m²) para determinar abundancias, parámetros poblacionales, granulometría y contenido de materia orgánica de los sedimentos. También se determinaron igualmente las variables de calidad de agua. Las muestras fueron tamizadas en una malla de 500 µm y preservadas en alcohol 70 % para su posterior tratamiento en el laboratorio.



Figura 2. Estaciones de muestreo seleccionadas para el seguimiento de variables poblacionales de *C. fluminea* en la cuenca Río Santa Lucía. Imagen tomada de Google Earth®.

2.2) Análisis de laboratorio

Las muestras para granulometría fueron analizadas mediante el método de tamizado descrito por Sugio (1973). Para calcular el tamaño medio de grano y los porcentajes de las distintas fracciones granulométricas (Folk & Ward 1957) se utilizó el programa ACES. La determinación del contenido de materia orgánica se realizó por el método de secado (60 °C / 48 hs) e ignición (500 °C / 3 hs).

Los organismos de *L. fortunei* y *C. fluminea* provenientes de los sustratos y sedimentos, fueron cuantificados, medidos y pesados. La biomasa fue expresada como peso libre de ceniza y peso seco. Las variables biométricas (largo, ancho y espesor totales) de ambas especies fueron medidas con un calibre digital (0.01 mm). Para *L. fortunei* se determinó el peso libre de ceniza / individuo mediante la sustracción del peso libre de ceniza (mufla a 500°C durante 5 horas) al peso seco (48 hs. estufa a 60°C), mientras que para *C. fluminea* se determinó simplemente el peso seco / individuo ya que se detectaron roturas de valvas en el proceso de muflado de los organismos.

2.3) Análisis de datos

Para analizar las diferencias entre los embalses con y sin *L. fortunei* se realizaron análisis de escalado multidimensional (n-MDS) y Análisis de Componentes Principales (ACP) con oxígeno disuelto, pH, conductividad y transparencia del disco de Secchi estandarizados y transformados (raíz cuarta) durante los meses de incubación de los sustratos.

Para ambas especies se determinaron las relaciones entre las variables biométricas (fig. 3 y 4). Al presentar estas variables coeficientes de ajuste $R^2 > 0.7$, se utilizó el largo total de la valva (Lt) como variable representativa del tamaño, ya que es la variable comúnmente utilizada para esta clase de estudios.

Para determinar las clases de tamaño dominantes en ambas especies, se realizaron histogramas de frecuencia de Lt. Se determinaron las curvas de mejor ajuste para Lt vs. peso libre de ceniza de *L. fortunei* y para Lt vs. peso seco de *C. fluminea*. Para *C. fluminea* se transformaron ambas variables para obtener una relación lineal.

Para explorar la variabilidad espacio-temporal en los parámetros poblacionales de *C. fluminea*, se consideraron la totalidad de los organismos encontrados en los diferentes muestreos. Mediante análisis de varianza y prueba a posteriori de Tukey con un nivel de significancia del 99%, se exploró la variabilidad temporal de las abundancias, largos totales de la valva y peso seco. Mediante técnicas multivariadas se exploró la ordenación espacial de las estaciones de acuerdo con condiciones físico-

químicas del sedimento (% de grava, arena, finos y materia orgánica), parámetros físico-químicos de la columna de agua (temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto) y parámetros poblacionales (abundancia promedio, largo promedio y peso seco total). Los datos se normalizaron y se realizaron ACP para las diferentes matrices. Igualmente se realizaron correlaciones (r de Pearson) entre los parámetros poblacionales (abundancia, peso seco) con las condiciones ambientales (sedimento, calidad de agua) para explorar asociaciones entre variables bióticas y abióticas. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Bioestat 4.0 y Primer 5.0, y los gráficos con Sigma Plot 10.

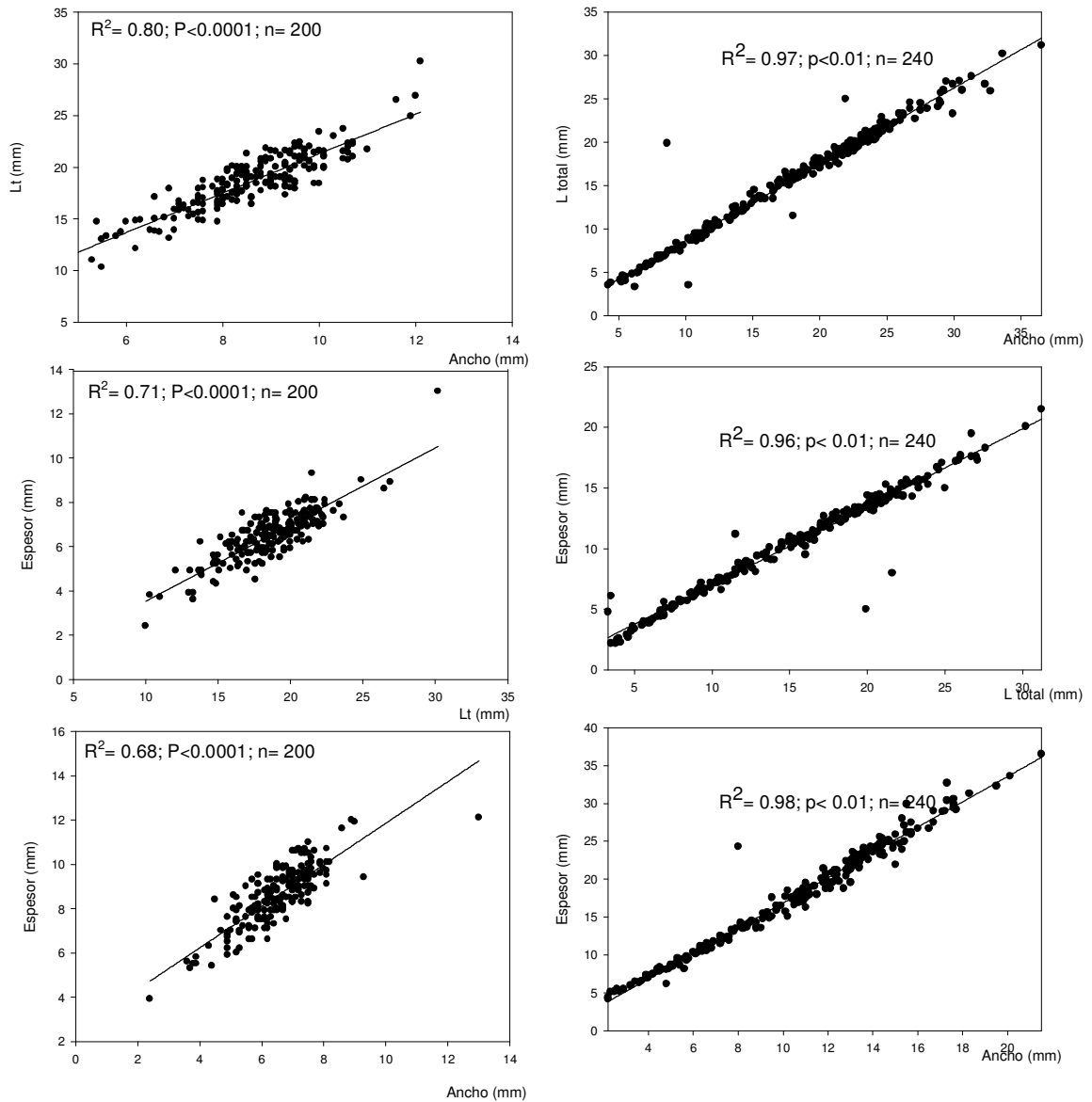


Figura 3 (izq.). Relaciones biométricas para *L. fortunei*. (julio 07-marzo 08, embalse Paso Severino).

Figura 4 (der.). Relaciones biométricas para *C. fluminea* (Marzo 07, Cuenca del Río Santa Lucía).

RESULTADOS y DISCUSIÓN

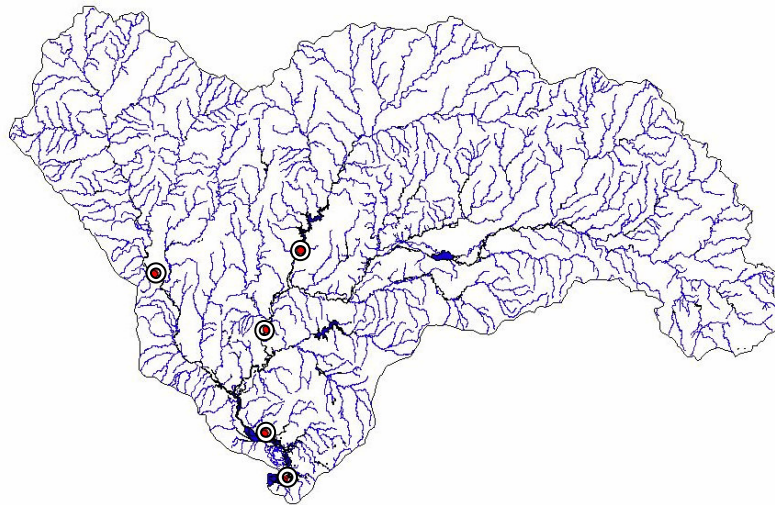


Figura 5. Sitios con presencia de *L. fortunei* en la cuenca del Río Santa Lucía, diciembre 2006 (Círculos).

1) Distribución espacial de *L. fortunei* y *C. fluminea*

En diciembre de 2006 se verificó la presencia de *L. fortunei* en los tramos medio e inferior de los ríos principales (fig. 5). En cambio, los registros de *C. fluminea* durante diciembre de 2006 y marzo de 2007 se distribuyeron en toda la cuenca, incluyendo varias nacientes y cursos menores (fig. 6).

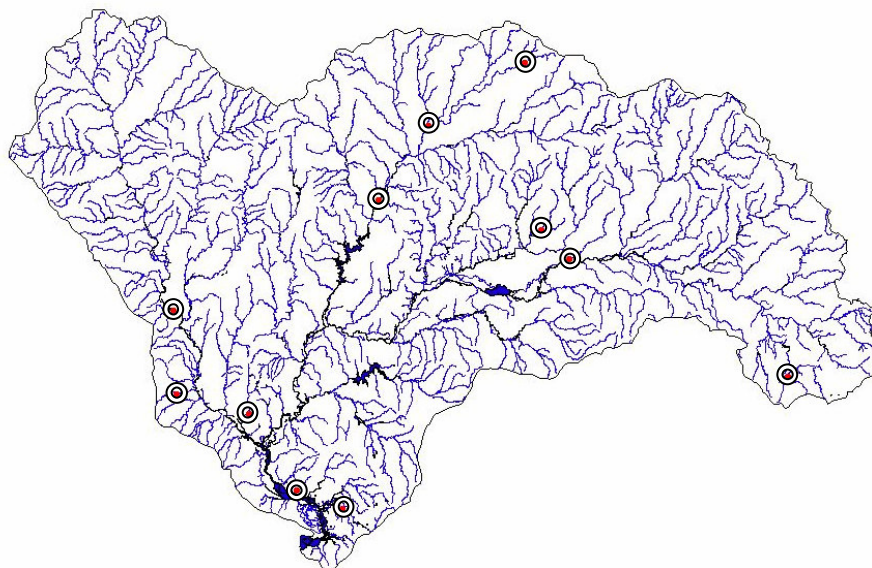


Figura 6. Presencia de *C. fluminea* en la cuenca del Río Santa Lucía, diciembre 2006, marzo 2007 (Círculos).

La distribución de *L. fortunei* muestra patrones similares a los observados previamente en la cuenca del Santa Lucía, con presencia de estos organismos en las cuencas media y baja (Brugnoli *et al.* 2005, Langone 2005). La cuenca alta no ha sido afectada por esta especie hasta marzo de 2008. Resalta su ausencia en las 33 estaciones de los cursos de orden bajo, en Canelón Grande, y en ríos cercanos a sitios invadidos (ej: Santa Lucía Chico aguas arriba del Embalse Paso Severino). En el río Santa Lucía Chico (Ciudad de Florida) y en el embalse Canelón Grande la ausencia se podría explicar por una baja presión de propágulos, debido a que ambos sistemas presentan escasa navegación local, potencial vector de transporte de este organismo en escalas locales (Karatayev *et al.* 2007). De acuerdo con estos autores, la invasión a escala local presentaría un retardo temporal con respecto a la

observada a nivel regional. Esto se relacionaría con las actividades humanas en las cuencas y los usos asociados a los recursos hídricos (navegación, riego, acuicultura, comercio). Este retardo temporal en la invasión del mejillón dorado en la cuenca del Río Santa Lucía estaría sucediendo actualmente y el sistema presentaría una velocidad de invasión menor a la reportada para la cuenca del Plata (250 km año⁻¹, Darrigran 2002).

En la cuenca del Río Santa Lucía, la presencia o ausencia de *L. fortunei* permite clasificar a los sistemas en acuáticos en no invadidos, factibles de ser invadidos y sistemas invadidos. La escala temporal de invasión en estos sistemas puede diferir de años a décadas de acuerdo con el potencial biótico del mejillón dorado, el uso de los sistemas hídricos y las estrategias de control poblacional a implementarse en la cuenca del río Santa Lucía.

Corbicula fluminea mostró una distribución más amplia que el mejillón dorado en la cuenca del Santa Lucía y se encontró en las zona alta, media y baja de la cuenca. Esta distribución amplia ha sido reportada recientemente por Rodríguez (2007). Pero, a diferencia de lo reportado para *Limnoperna* este organismo se encontró desde sistemas de bajo orden (3 y 4), hasta ríos con importante caudal como el Santa Lucía Chico, el Santa Lucía y el San José.

En esta clase de especies invasoras con presencia de estadios larvales como forma de propágulo y agente invasor, el transporte de larvas aguas arriba mayormente se ha asociado al transporte mediado (embarcaciones) que al realizado naturalmente (zoocoria) (Karatayev *et al.* 2007). De esta manera, el patrón de distribución diferencial encontrado para ambas especies, podría presentar dos explicaciones. La primera estaría relacionada con el tiempo de invasión de los organismos en la cuenca del Río Santa Lucía. Mientras que *Limnoperna* presenta registros en la cuenca del Santa Lucía desde 1996 (Brugnoli *et al.* 2005), *C. fluminea* se reporta desde 1986 para la zona (Olazarri 1986). Esta diferencia permite explicar la mayor distribución de la almeja asiática comparada con la del mejillón dorado.

La segunda explicación está relacionada principalmente con los mecanismos de invasión utilizados por *C. fluminea* asociado a las intervenciones humanas en la cuenca. De acuerdo con Belz (2006), se han observado individuos vivos pertenecientes a ambas especies en depósitos de arena extraída de ríos invadidos por estas especies. En el presente estudio, en las cercanías de los diferentes arroyos muestreados con presencia de *C. fluminea* se observó la presencia de construcciones viales (rutas, puentes, terraplenes) que pudieron haber utilizado arena proveniente de sistemas invadidos por la especie. Una vez arribados a estos sistemas, los organismos pueden acceder a los sistemas acuáticos y desarrollar poblaciones estables. Para verificar esta hipótesis sería necesario conocer los años en que se realizó la construcción de las infraestructuras mencionadas, la fuente de los materiales utilizados, la viabilidad temporal de los organismos en los mencionados depósitos de arena y su potencial biótico para establecerse en el sistema.

2) Parámetros poblacionales y variaciones espacio-temporales de *L. fortunei*

En marzo de 2008 se retiraron los sustratos instalados 8 meses antes en los embalses. En Canelón Grande no se detectaron organismos, mientras que en Paso Severino se encontraron organismos de *L. fortunei* adheridos a los sustratos. Como se discutió en la sección anterior, la diferencia en la presencia del mejillón en uno u otro sistema podría estar explicada por efecto de la presión de propágulos y la velocidad de invasión entre ambos sistemas. Sin embargo, no son de descartar las diferencias en las condiciones ecológicas.

El n-MDS, presenta un agrupamiento de las estaciones (fig. 7) de acuerdo con el sitio de estudio (Canelón Grande y Paso Severino), durante los meses de incubación (julio, diciembre, febrero y marzo). Por otro lado, los dos primeros ejes del ACP (fig. 8) explican el 70,7 % de la varianza. El eje 1 está relacionado con mayores valores de pH y conductividad, mientras que el eje 2 con mayores valores de oxígeno disuelto y menores valores de transparencia, determinada por la profundidad del disco de Secchi. El pH y la conductividad podrían condicionar la presencia de *Limnoperna* porque actúan sobre la formación de las valvas, mientras que la transparencia limita la alimentación. El mejillón dorado es suspensívoro y determinadas concentraciones de sólidos en suspensión podrían limitar la presencia de este organismo en sistemas lénticos como el embalse Canelón Grande.

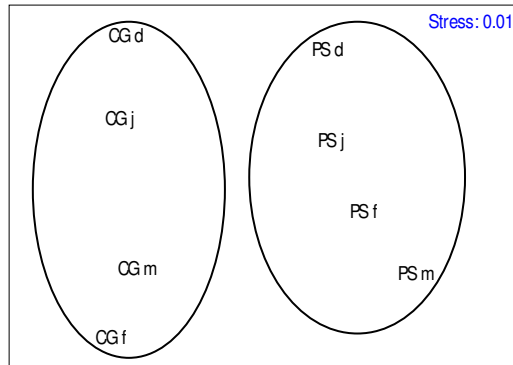


Figura 7. Escalado Multidimensional realizado con conductividad, pH, oxígeno disuelto y transparencia del disco de Secchi en los embalses Canelón Grande (CG) y Paso Severino (PS) durante julio (j) y diciembre (d) de 2007, febrero (f) y marzo (m) de 2008.

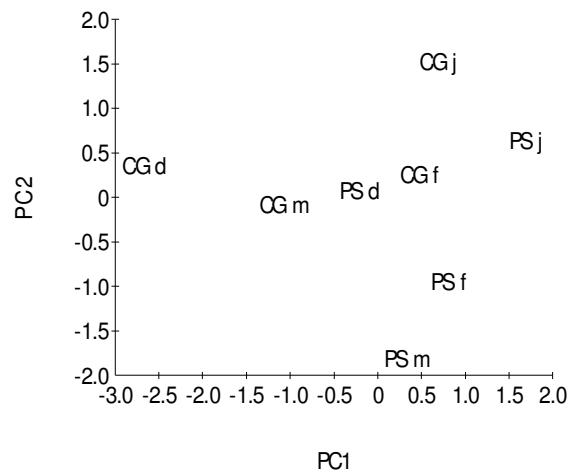


Figura 8. Análisis de componentes principales con conductividad, pH, oxígeno disuelto y profundidad de disco de Secchi de los embalses Canelón Grande y Paso Severino durante el período de incubación de sustratos (julio 2007-marzo 2008). Igual nomenclatura que en la figura 7.

En Paso Severino los organismos encontrados presentaron una abundancia promedio de $2271 \pm 960 \text{ org m}^{-2}$. Brugnoli *et al.* (2008 b). Las abundancias encontradas mostraron valores similares a los observados por Brugnoli *et al.* (2008 b) en el cercano embalse Palmar con sustratos similares. En esa ocasión, los experimentos duraron 12 meses y fueron en las zonas afótica y eufótica mientras que el presente estudio consideró 8 meses de incubación únicamente en la zona eufótica. Por otro lado, Cataldo & Boltovskoy (2000), así como Belz (2006), en experimentos utilizando paneles para la adherencia de estos organismos en sistemas hídricos de Argentina y Brasil respectivamente, encontraron abundancias uno o dos órdenes de magnitud superior a las encontradas en el presente estudio. Este comportamiento podría estar relacionado con características ecológicas de los sistemas invadidos, tiempo de invasión y/o potencial biótico de los organismos presentes en Paso Severino, Río Paraná (Argentina) e Itaipú (Brasil).

Los organismos adheridos a los sustratos suspendidos en Paso Severino mostraron un largo total promedio de $17,1 \pm 4,6 \text{ mm}$ y una moda de 19,2 mm (fig. 9). De acuerdo con Boltovskoy & Cataldo (1999), el largo para organismos de un año en el Río Paraná fue de 20 mm. El promedio observado en el presente estudio corresponde a organismos menores a un año y la moda observada es elevada para organismos de 9 meses de edad, en comparación con otros estudios para la región (Boltovskoy & Cataldo 1999) o cuencas hidrográficas de Uruguay (Brugnoli *et al.* 2008 b). Estos resultados sugerirían tasas de crecimiento en el embalse Paso Severino mayores que las encontradas en

otros sistemas (Cataldo & Boltovskoy 2000, Brugnoli *et al.* 2008). Esto coincide con lo encontrado por Langone (2005), quien indica que en la cuenca del Río Santa Lucía (embalse Aguas Corrientes), se encontró *Limnoperna fortunei* con el mayor largo máximo reportado para la cuenca del Plata (4,5 cm).

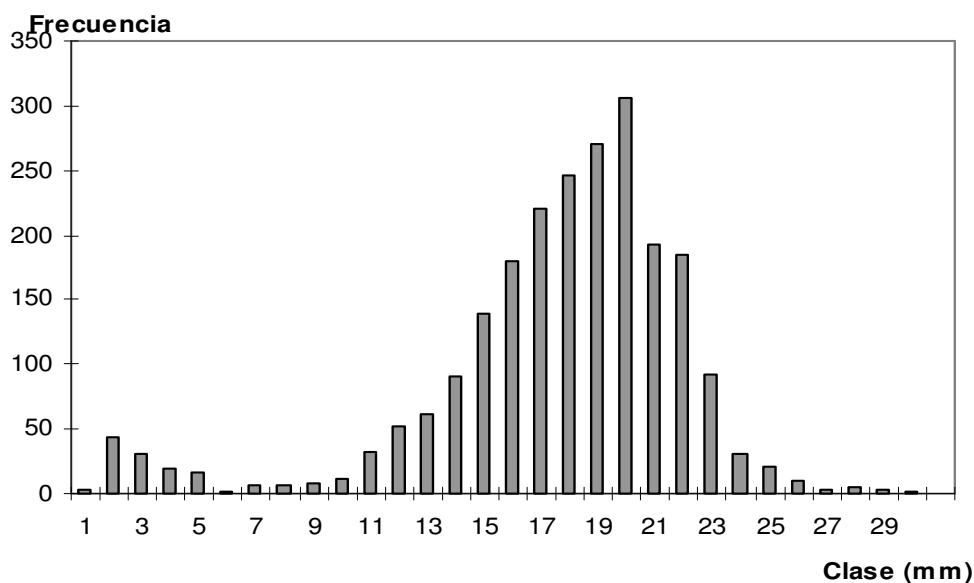


Figura 9. Histograma de frecuencia de tamaños de *L. fortunei* en sustratos del embalse Paso Severino (n= 2298; diciembre 2006 - marzo 2007).

La figura 9 muestra la presencia de dos grupos de talla del mejillón dorado (mayores y menores a 7 mm), representando dos grupos etarios de organismos (cohortes) asentados en los sustratos durante el periodo de incubación. En el embalse Paso Severino, la especie presentaría dos períodos de reclutamiento representado con dos cohortes anuales, siendo este comportamiento relacionado con la variación estacional de la temperatura del agua en el embalse. El comportamiento de la temperatura durante el período de incubación en ambos sistemas (julio 2007- marzo 2008, fig. 10) muestra mínimos valores durante julio (9°C) y máximos en los meses de verano (Febrero 26-27 °C). Otros estudios realizados en la cuenca del Plata encontraron el comportamiento reproductivo y asentamiento larval de *Limnoperna fortunei* asociado a la temperatura del agua (Cataldo & Boltovskoy 2000). Resultados similares fueron encontrados en el embalse Palmar (Brugnoli *et al.* 2008 b) con máximos de reclutamiento anual durante enero-febrero y setiembre-octubre. En el presente estudio los máximos de reclutamiento podrían estar presentes con organismos mayores a 7 mm asentados durante setiembre-octubre de 2007 y organismos menores a 7 mm, asentados durante el verano de 2008 (enero-febrero). Estas tendencias deberían ser verificadas mediante estudios con una periodicidad mensual para la colecta de sustratos a diferentes profundidades de exposición, y los resultados permitirían sugerir acciones de control poblacional durante las etapas del ciclo biológico en que presentan mayor vulnerabilidad.

La figura 11 muestra la relación encontrada entre la biomasa y el largo total de la valva de los organismos adheridos a los sustratos. Esta clase de curvas han sido desarrolladas para otras cuencas de Uruguay (Brugnoli, datos no publicados) y para el río Paraná (Silvestre 2006). El tipo de curva que mejor ajustó (regresión lineal con un coeficiente de ajuste del 67%), no coincidió con el encontrado por Silvestre (2006) quien encontró un ajuste a partir de una ecuación exponencial. Es de destacar que en el presente estudio no se consideraron organismos de tallas menores a 7 mm, como lo hace Silvestre (2006), que potencialmente ocasionan estas diferencias en el tipo de curvas ajustadas; por otro lado, la curva exponencial igualmente ajusta, aunque con un R² menor (52%) que el encontrado para la regresión lineal. A partir de esta determinación se podrá cuantificar la biomasa de la especie mediante la determinación del largo total de la valva. Estas mediciones son sencillas y permiten generar datos para ser utilizados en modelos tróficos. El mejillón dorado a partir de su introducción forma parte de un importante nivel de las cadenas tróficas como productor secundario tanto en sistemas bentónicos como planctónicos actuando como intermediario entre ambos (Silvestre 2006).

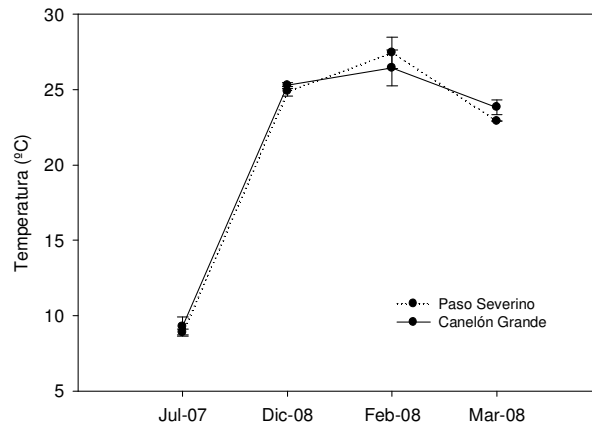


Figura 10. Variación de la temperatura promedio de la columna de agua en Paso Severino y Canelón Grande durante los meses de exposición de los sustratos.

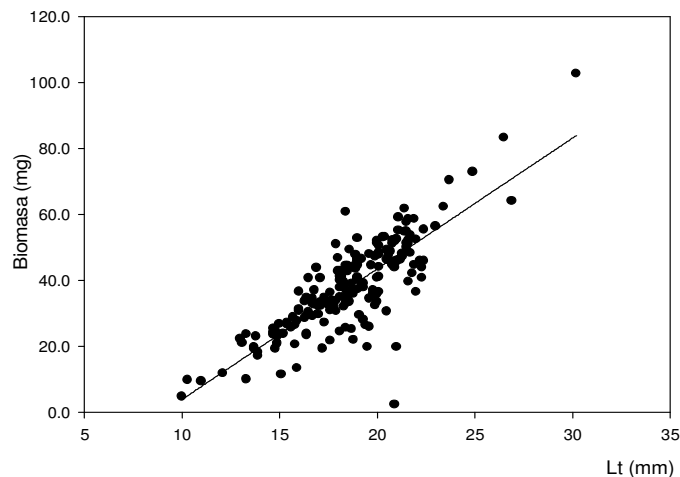


Figura 11. Relación entre biomasa y largo total de la valva de *L. fortunei* en sustratos del embalse Paso Severino (diciembre 2006 - marzo 2007).

3) Variabilidad temporal de *C. fluminea*

El análisis de varianza y la prueba a posteriori de Tukey realizado con largos totales de la valvas, mostraron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre marzo-julio, julio-noviembre y marzo-noviembre. Esto igualmente se refleja en los histogramas de frecuencias de los largos totales (fig. 12). A pesar de estas diferencias, marzo y noviembre presentaron promedios, modas similares y organismos de mayor tamaño que julio (tabla 1). Esto podría estar asociado a la temperatura del agua y períodos reproductivos de la especie.

Tabla 1. Estadísticos básicos de los largos totales de valvas de *C. fluminea* durante el estudio.

	Marzo	Julio	Noviembre
Mín	3.5	3.7	5.0
Max	31.2	29.5	29.3
Prom.	16.7	12.7	15.3
SD	6.2	5.4	4.5
Moda	19.4	7.6	14.9
N	195	139	81

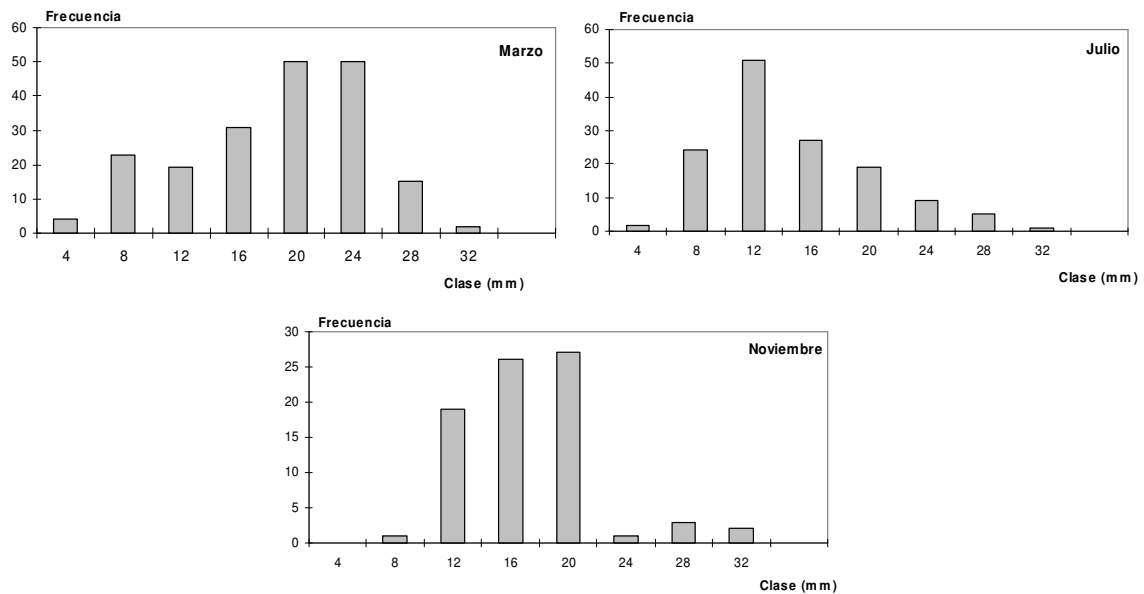


Figura 12. Histogramas de frecuencia de tamaño (mm) de individuos de *C. fluminea* durante marzo, julio y noviembre en la cuenca del río Santa Lucía.

La figura 13 muestra las curvas de ajuste entre el peso seco y el largo total de la valva con los datos transformados (Log base 10). Los coeficientes de determinación fueron mayores al 91%, mostrando ajustes a ecuaciones lineales durante los tres meses de muestreo. Esta clase de ecuación refleja un crecimiento de tipo alométrico de *C. fluminea* a lo largo del año donde el cociente de incrementos en términos del logaritmo del peso y el logaritmo del largo de la valva, permanece aproximadamente constante produciendo un incremento relativamente grande de una variable con respecto a la otra (Sokal & Rolf 1994). A partir de estas ecuaciones se podrá determinar la biomasa de la especie mediante la determinación del largo total de la valva.

Las abundancias, las biomásas mensuales por estación y las biomásas totales de los organismos no presentaron diferencias significativas entre los tres meses de estudio, lo que sin embargo puede estar relacionado con la baja periodicidad de muestreo desarrollado para el presente estudio. Para futuros estudios se sugiere incrementar la periodicidad de muestreo para obtener una mejor visión temporal de los descriptores poblacionales.

4) Variabilidad espacio-temporal

Los Análisis de Componentes Principales (ACP) realizados entre las variables de calidad de agua y las condiciones del sedimento, mostraron una ordenación en las estaciones que evidenciaron patrones espaciales y temporales de acuerdo con las variables consideradas. La figura 14 muestra el ACP considerando las condiciones físico-químicas del sedimento (porcentajes de grava, arena y finos, contenido de materia orgánica). Se encontró que los dos primeros ejes explicaron el 77 % de la variabilidad considerando el porcentaje de grava, arena y finos, y contenido de materia orgánica de los sedimentos. Se observan tres grupos de muestras: C1M que presentó los mayores porcentajes de sedimentos de tamaño de grano fino y contenidos medios de materia orgánica; otro grupo integrado por las muestras I1N, I0M, I0N, N3M, I6N, 03N y N3N que presentaron mayores porcentajes de grava y menor contenido de arena y materia orgánica. El restante grupo de estaciones se caracterizó por presentar menores porcentajes de grava, mayores contenidos de arena y materia orgánica.

Desde el punto de vista de las variables ambientales del sedimento, las estaciones no mostraron un comportamiento temporal, aunque se observa un comportamiento espacial. La estación C1 se encuentra en la zona baja de la cuenca, el segundo grupo, que está integrado por estaciones ubicadas en su mayoría en la cuenca media y alta, con mayores porcentajes de grava y menores contenidos de materia orgánica, mostró además una menor heterogeneidad temporal con estaciones de noviembre y marzo. El tercer grupo, está formado por estaciones ubicadas en la cuenca baja (LB, C1) y media (I4, I6), con mayor heterogeneidad temporal, con estaciones de los tres meses de muestreo.

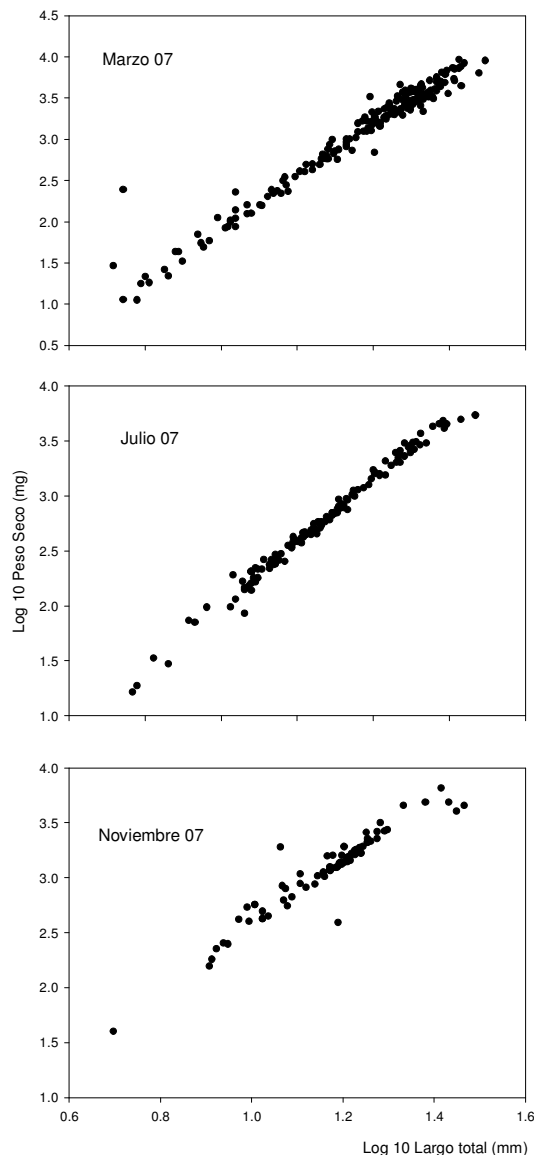


Figura 13. Relaciones entre peso seco y largo total de *C. fluminea*.

La figura 15 muestra el ACP considerando los parámetros de calidad de agua (temperatura, pH, conductividad y Od). Se encontró que los dos primeros ejes explicaron el 76,3 % de la variabilidad, donde el primer eje estuvo correlacionado con la temperatura y el oxígeno disuelto, mientras que el segundo con la conductividad. Se observan dos grupos de estaciones: las correspondientes al mes de julio (ej: LBJ, CIJ) y las pertenecientes a marzo y noviembre (ej: LBM, C1N) formando el grupo restante. Esta agrupación sugiere un comportamiento temporal en las condiciones físico-químicas del agua durante el período de estudio, donde las estaciones de julio presentaron menores temperaturas y mayores concentraciones de oxígeno disuelto. Por otro lado, el segundo eje ordenaría las estaciones de acuerdo con su mayor o menor conductividad, relacionado con la geología de la cuenca (ej: N3) y/o la intrusión de agua con mayor salinidad en estaciones de la cuenca baja del Río Santa Lucía (ej: C1 o LB).

La figuras 16 y 17 muestran el patrón de variabilidad espacio-temporal en los descriptores poblacionales de *C. fluminea* durante el período de estudio; el máximo de abundancia se observó en O1 durante julio e I6 en marzo (96 org m^{-2}). No se reportaron organismos de esta especie en I0 durante julio y noviembre, lo que igualmente sucedió en I4 y C1 durante noviembre. La biomasa (peso seco total), mostró los máximos durante marzo en I6 y O1 (250 g m^{-2} y 168 g m^{-2}). No se observaron

asociaciones significativas entre los variables ambientales de calidad de agua o condiciones físico-químicas del sedimento y los descriptores poblacionales determinados.

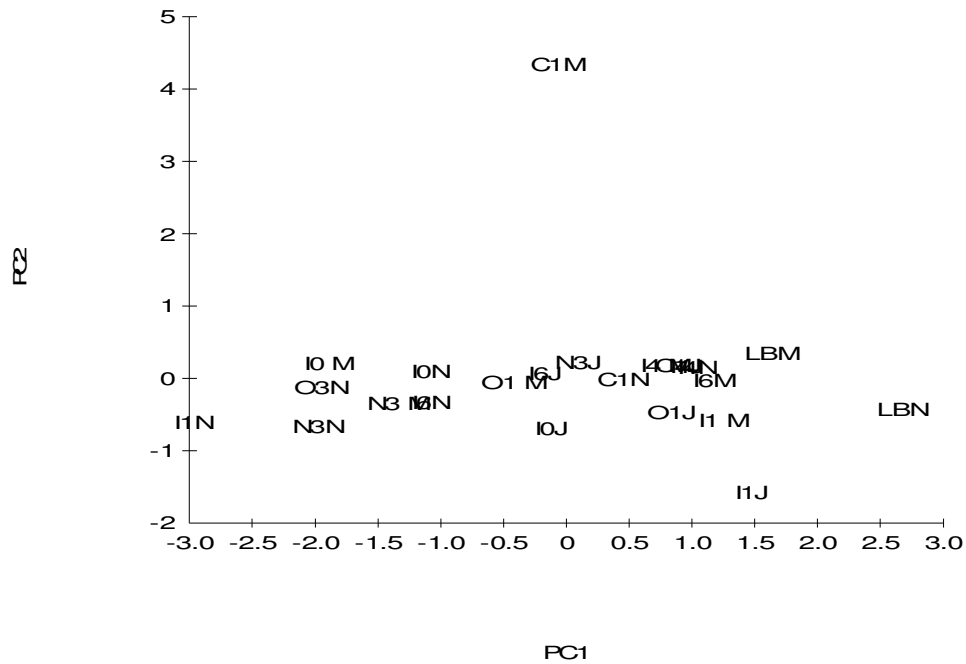


Figura 14. Análisis de componentes principales considerando condiciones físico-químicas del sedimento.

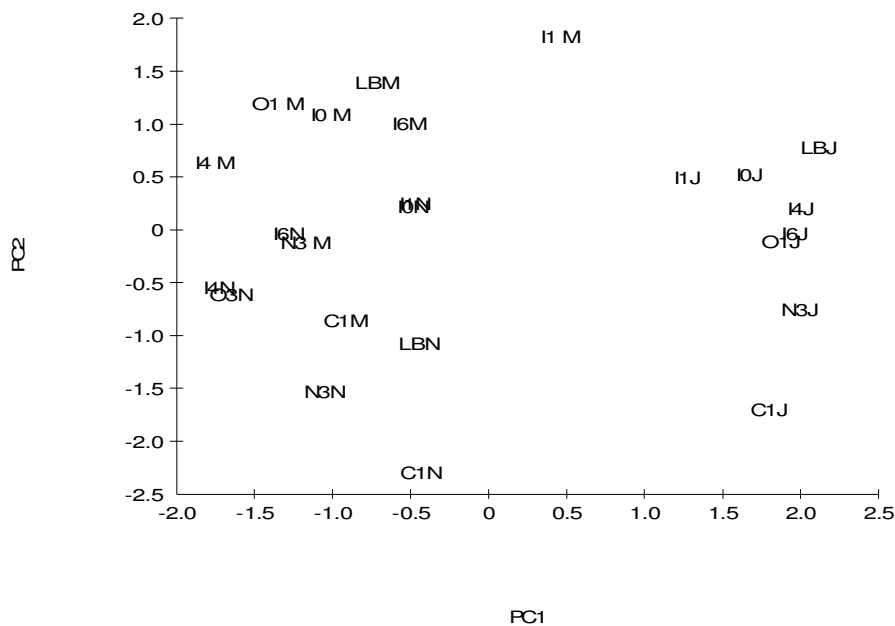


Figura 15. Análisis de componentes principales considerando parámetros de calidad de agua.

El ACP realizado con la biomasa, abundancia y largo de la valva mostró que los dos primeros ejes explicaron el 91,4 % de la variabilidad, donde el eje 1 estuvo asociado a la biomasa y abundancia, mientras que el eje dos se asoció al largo de la valva. Las estaciones con mayor abundancia (I6M y O1J), corresponden a sitios con mayor porcentaje de arena y menor contenido de grava de acuerdo con la fig. 14. Estos resultados coincidirían con Rodríguez (2007), quien encontró que la densidad poblacional de este organismo en la cuenca del Río Santa Lucía, estuvo determinada por factores

granulométricos, especialmente relacionado con porcentajes de arena y grava, con mayores abundancias al aumentar el porcentaje de arena y disminuyendo con el de grava.

De acuerdo con Rodríguez (2007) en estaciones con dominancia de la fracción gruesa (grava), los organismos, siendo mas pequeños presentarían un crecimiento más rápido. Las muestras I1M, I0M, N3M, N3J, I1J e I4N, presentaron los menores valores de largo total de la valva y en su mayoría corresponden a estaciones que presentaron los mayores porcentajes de grava (fig. 14). Las restantes estaciones se ubicaron de acuerdo con su abundancia, biomasa o largo, no encontrándose un patrón espacial o temporal definido.

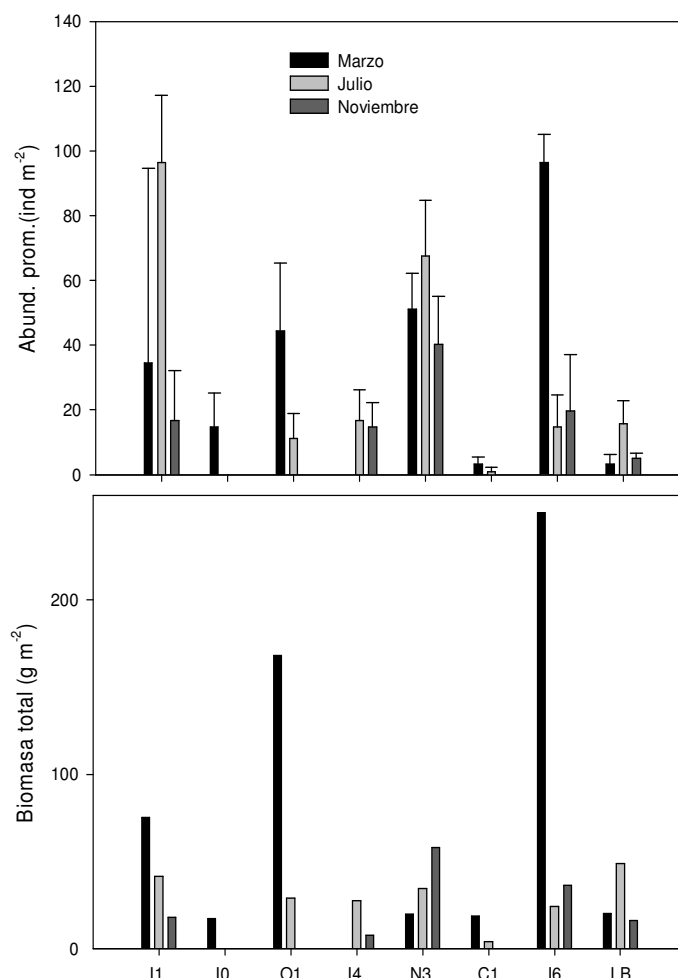


Figura 16. Variaciones temporales y espaciales de la abundancia y biomasa (peso seco) de *C. fluminea* durante el periodo de estudio.

Al igual que lo indicado en la sección anterior, la ausencia de una marcada variación espacio-temporal en los descriptores poblacionales y su asociación con variables ambientales, se podría relacionar con la periodicidad y tipo de muestreo. En el presente trabajo se consideraron únicamente tres meses del año, excluyendo meses donde podrían existir máximos reproductivos (ej: otoño o primavera) Se debería incrementar la periodicidad, considerando al menos un muestreo cada dos meses y por un período de un año para conocer con mayor exactitud los descriptores poblacionales incluyendo parámetros poblacionales (ej: crecimiento y mortalidad). Con respecto a los sitios de muestreo se debería incluir para futuros muestreos la colecta de organismos en áreas de banco y/o cauce. En otros estudios (Rodríguez 2007), se encontraron mayores abundancias de estos organismos en la zona del banco, lo que sugiere una agregación de los mismos hacia la zona central de los cauces estudiados. Igualmente en este estudio se sugiere acoplar la colecta de muestras biológicas, del sedimento y físico-químicos del agua, para identificar qué fracciones (grava, arena o finos) o variables ambientales explican la variabilidad de los descriptores poblacionales en los diferentes sitios del sistema a estudio (litoral, cauce, banco).

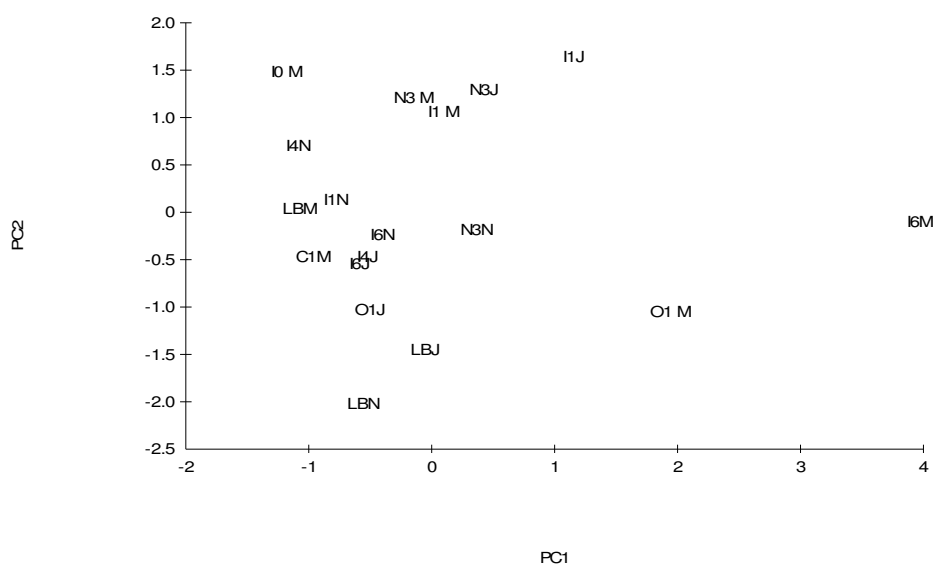


Figura 17. Análisis de componentes principales considerando los descriptores poblacionales de *C. fluminea* durante el periodo de estudio.

CONSIDERACIONES FINALES

Distribución espacial de *L. fortunei* y *C. fluminea*

- *Limnoperna fortunei* se registró hasta marzo del 2008 en las cuencas baja y media del la Cuenca hidrográfica del Río Santa Lucía.
- La presencia / ausencia de *L. fortunei* en los diferentes sistemas hídricos, permitiría clasificar a los sistemas en: no invadidos, factibles de ser invadidos y sistemas invadidos. La escala temporal de invasión en los diferentes cuerpos hídricos de esta cuenca, podría diferir de años a décadas de acuerdo con el potencial biótico del mejillón dorado, el uso de los sistemas hídricos (ej. navegación) y las estrategias de control poblacional a implementarse.
- *Corbicula fluminea* mostró una distribución más amplia que el mejillón dorado en la cuenca del Santa Lucía, encontrándose en las zona alta, media y baja de la cuenca. La almeja asiática se encontró en sistemas de bajo orden (3 y 4) y en cabeceras de diferentes microcuencas, ríos con importante caudal como el Santa Lucía Chico, el Santa Lucía, el San José y sistemas embalsados (Paso Severino).
- Los patrones y el proceso de invasión de esta especie podrían estar relacionados con su historia de invasión o con las intervenciones antrópicas (puentes, carreteras) realizadas en la cuenca, cuyo vector correspondería a los áridos (arena) infectados con la especie, utilizados para realizar construcciones en las cercanías de los sistemas hídricos.
- El conocimiento de los mecanismos, vectores de dispersión y el proceso de invasión de ambas especies en la cuenca del Río Santa Lucía, permitiría tomar medidas de prevención y control de la invasión de estos moluscos en los sistemas hídricos que la constituyen.

Parámetros poblacionales y variaciones espacio-temporales de *L. fortunei* y *C. fluminea*

L. fortunei

- El mejillón dorado se presentó en el embalse de Paso Severino y estuvo ausente en el embalse de Canelón Grande. Estas diferencias pueden deberse al proceso invasión mencionado (velocidad, presión de propágulos, vectores de invasión) o a diferencias en las condiciones ecológicas de ambos sistemas; Canelón Grande correspondería a un sistema turbio que potencialmente podría limitar la presencia de la especie.
- Los organismos encontrados en paso Severino presentaron una abundancia promedio de 2271 ± 960 org m⁻², un largo total promedio de 17.1 ± 4.6 mm, una moda de 19.2 mm, con la presencia de dos cohortes anuales durante el período de incubación. La presencia de ambos grupos etarios

estaría relacionado con la temperatura del sistema durante el período de incubación y los ciclos reproductivos de la especie.

- La relación encontrada entre la biomasa y el largo total de la valva correspondió a una regresión lineal con un coeficiente de ajuste del 67% (Biomasa (mg)= -35.66 + 3.966 Lt; n=198).

C. fluminea

Variabilidad temporal

- Los largos totales de las valvas mostraron diferencias significativas entre marzo-julio, julio-noviembre y marzo-noviembre. A pesar de estas diferencias, marzo y noviembre presentaron promedios, modas similares y organismos de mayor tamaño que julio. Estas diferencias potencialmente estarían relacionadas con la temperatura y los períodos reproductivos de la especie (ej: reclutamiento).
- Las curvas de ajuste entre el peso seco y el largo total de la valva presentaron coeficientes de determinación mayores al 91%, mostrando ajustes a ecuaciones lineales durante los tres meses de muestreo. A partir de estas ecuaciones se podrá determinar la biomasa de la especie mediante la determinación del largo total de la valva.
- En los descriptores poblacionales (abundancia y biomasa), no se encontraron diferencias significativas temporales, potencialmente asociado a la baja periodicidad del estudio (tres veces a lo largo del año).

Variabilidad espacio-temporal

- Los análisis multivariados realizados entre las variables de calidad de agua y condiciones del sedimento, mostraron una ordenación que evidencia patrones espaciales y temporales en las estaciones consideradas de acuerdo con las variables estudiadas.
- El máximo de abundancia se observó en O1 durante julio e I6 en marzo (96 org m⁻²). No se reportaron organismos de esta especie en I0 en julio y noviembre, lo que tampoco sucedió en I4 y C1 en noviembre. La biomasa (peso seco total), mostró los máximos durante marzo en I6 y O1 (250 g m⁻² y 168 g m⁻²). No se observaron asociaciones significativas entre los variables ambientales de calidad de agua o condiciones físico-químicas del sedimento y los descriptores poblacionales determinados.
- La ausencia de una marcada variación espacio-temporal en los descriptores poblacionales y su asociación con variables ambientales, se podría relacionar con la periodicidad y tipo de muestreo.
- Se sugiere incrementar la periodicidad del estudio considerando al menos un muestreo cada dos meses y por el lapso de un año para determinar diferentes descriptores poblacionales (ej: crecimiento y mortalidad).
- Para futuros muestreos se recomienda incluir para sitios la colecta de organismos en áreas de banco y/o cauce de los diferentes ríos/arroyos a estudiar considerando variables sedimentarias y parámetros físico-químicos del agua.

BIBLIOGRAFIA

- Belz, C.E. 2006. Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do rio Iguaçu, Paraná. Tesis PhD. Universidad Federal de Paraná. 102 p.
- Boltoskoy, D. & D. Cataldo. 1999. Population dynamics of *Limnoperna fortunei*, an invasive fouling mollusc, in the lower Paraná River (Argentina) Biofouling 14(3): 255-263.
- Brugnoli, E., Clemente, J., Boccardi, L., Borthagaray, A. & Scarabino, F. 2005. Update and prediction of golden mussel (*Limnoperna fortunei*): distribution in the principal hydrographic basin of Uruguay. Anais da Academia Brasileira de Ciências 77 (2): 235-244.
- Brugnoli, E., Clemente, J., Riestra, G., Boccardi, L. & A. Borthagaray. 2006. Especies acuáticas exóticas en Uruguay: situación, problemática y gestión. En: Menafrá, R., Rodríguez, L., Scarabino, F. & Conde, D. (Eds.). Bases para la conservación y manejo de la costa uruguaya. Vida Silvestre Uruguay. p. 351-362.
- Brugnoli E., Clemente J.Ma., Lanfranconi A., Hutton M. & P. Muniz. 2008a. Análisis del asentamiento de *Limnoperna fortunei* y la fauna bentónica asociada en sustratos artificiales

- (embalse Palmar, Río Negro, Uruguay). V Taller Internacional sobre Enfoques Regionales para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Plata. 11-14 de marzo, Itaipú. Brasil.
- Brugnoli E., Clemente J.Ma., Lanfranconi A., Hutton M. & P. Muniz. 2008b. Ciclo anual de una comunidad zooplanctónica invadida por *Limnoperna fortunei* (embalse Palmar, Río Negro, Uruguay). V Taller Internacional sobre Enfoques Regionales para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Plata. 11-14 de marzo, Itaipú. Brasil.
- Byer, S., E. Mills & P. Stewart. 1978. Comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. *Hydrobiologia*, 58(1):43- 47.
- Cataldo, D. and Boltoskoy, D. 2000. Yearly reproductive activity of *Limnoperna fortunei*, 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.
- Darrigran, G. 2002. Potential impact of filter-feeding invaders on temperate inland freshwater environments. *Biological Invasions* 4:145-156.
- Darrigran G & G Pastorino 1995 The recent introduction of asiatic bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. *The Veliger* 38: 183-187
- Defeo, O., Fabiano, G., Amestoy, F., Little, V., Acevedo, S., García, C. & L. Ares. 1990. Desarrollo de pesquerías artesanales de la almeja asiática *Corbicula fluminea* en el Uruguay. Informe INAPE. 32 pp.
- Folk, R. L. & Ward, W. C. 1957. Brazos River bar: a study of the significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.*,27: 3-26.
- Karatayev, A.Y., Padilla, D., Minchin, D. , Boltovskoy, D. & L.B. Burlakova. 2007. Changes in global economies and trade : the potential spread of exotic freshwater bivalves. *Biological Invasions* 9: 161-180.
- Langone, JA. 2005. Notas sobre el mejillón dorado *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857)(Bivalvia, Mytilidae) en Uruguay. Publicación extra Museo Nacional de Historia Natural y Antropología, Montevideo 1:1-18.
- Mansur, M. C., Tasso, C, Rossoni, F. & JÁ, Arenas. 2004. Uma retrospectiva e mapeamento da invasao de espécies de *Corbicula* (Mollusca, Bivalvia, Veneroidea, Corbiculidae) oriundas do Sudeste Asiático, na América do Sul. En Vianna & Correa (eds.). Agua de lastro e bioinvasao. pp 39-58. Interciencia, Río de Janeiro.
- Morton, B. 1977. The population dynamics of *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857)(Bivalvia: Mytilacea) in Plover Cove Reservoir, Hong Kong. *Malacologia* 16(1): 165-182.
- Olazarri, J. 1986. Almejas del género *Corbicula* en el río Uruguay y sus efluentes del margen izquierdo. Seminario "El río Uruguay y sus recurso pesqueros". CARU 21/10/87 pag. 65-67
- Rodríguez M. & Palacios R. 2001. Presencia y abundancia de la almeja invasora *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) en Ríos del Uruguay. *Actas VI Jornadas de Zoología del Uruguay*
- Rodríguez, M. 2007. Distribución y dinámica poblacional de la Almeja asiática (*Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbiculidae) en ríos de las zonas Centro-Sur y Este de Uruguay. Tesis de Maestría en Biología. Opción Ecología. PEDECIBA. 60 p.
- Scarabino F. & M. Verde. 1995. *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) en la costa uruguaya del Río de la Plata (Bivalvia: Mytilidae). *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica de Uruguay* 7(66/67): 374-375
- Silvestre, F. 2006. Biología alimentaria y ecología del molusco invasor *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) en el Paraná inferior y Río de la Plata. Tesis PhD. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 160 p.
- Sokal, RR & Rohlf FJ 1994. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research.* 3rd ed. WH Freeman & Co.
- Sugio, K. 1973. *Introdução à sedimentologia.* Edgard Blucher, São Paulo.