

ESTUDIOS HIDRO-ECOLÓGICOS EN EL RÍO PARANÁ MEDIO: MODELACIÓN DE CAMBIOS EN EL BENTOS DEBIDOS A CRECIENTES

E. G. Eberle, M. L. Amsler y M. C. M. Blettler

Instituto Nacional de Limnología (Laboratorio de Hidro-ecología)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe - Argentina
E-mail: elianaeberle@gmail.com, mamsler2003@yahoo.com.ar, martinbletter@hotmail.com

Introducción

Las investigaciones recientes (ca. 20 años) de índole hidro-ecológica (e.g. Knight y Harrison, 2013), han demostrado que las variaciones climáticas a gran escala pueden tener efectos ecosistémicos a largo plazo. Sin embargo, el conocimiento de las consecuencias de esos cambios sobre las diferentes comunidades, es aún escaso. La comprensión profunda de los mecanismos y variables que intervienen y vinculan ambiente y biota, es imprescindible si se pretenden mitigar los eventuales impactos negativos sobre esta última del cambio climático global.

Como ocurre en otros grandes sistemas fluviales, el régimen de caudales del río Paraná está modulado por los diferentes ciclos climáticos que se suceden en su extensa cuenca (Antico et al., 2016, entre otros). Se ha demostrado que esos ciclos son claves en la frecuencia y magnitud de los eventos de crecientes a largo plazo. Por lo tanto, el desarrollo de modelos predictivos referidos a la estructura de los ecosistemas acuáticos y la generación de herramientas para la gestión de sus recursos frente al cambio climático en grandes ríos como el Paraná, es necesario que contemplen tales hechos. Ello posibilitaría el logro de predicciones más confiables como se requiere, por ejemplo, en los modelos de ciclo de vida de múltiples etapas de la dinámica poblacional (Ohlberger et al., 2014) o para comprender adecuadamente los diversos procesos que pueden motorizar cambios en las comunidades y los ecosistemas. Cabe señalar, además, que si bien la investigación en la temática ha tendido a centrarse en las consecuencias del cambio climático sobre condiciones ecosistémicas medias, como las derivadas de un calentamiento gradual, existe una evidencia creciente de que los eventos climáticos extremos, no las tendencias, pueden causar cambios más dramáticos (Thompson et al., 2013).

Dentro de este marco, en este trabajo se presentan resultados preliminares de un modelo cuantitativo que vincula variables hidrológicas/hidráulicas y ecológicas en una sección transversal del cauce principal del río Paraná (Argentina). Los datos bióticos (invertebrados del fondo) y abióticos se midieron a lo largo de 16 años durante los cuales se produjeron crecientes de muy diversa magnitud, duración y frecuencia.

Metodología

La sección transversal del cauce principal en donde se realizaron las mediciones está ubicada en el tramo medio del río Paraná a 2,7 km aguas arriba de la ciudad de Paraná, Entre Ríos, Argentina. La variabilidad de niveles y caudales en ese tramo es el resultado fundamentalmente de: (i) oscilaciones anuales e intra-anales de lluvias estacionales sobre diferentes regiones de los sectores brasileño y paraguayo de la cuenca, y (ii) cambios interanuales e interdecenales vinculados a ciclos climáticos como El Niño / Oscilación del Sur, la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación del Pacífico Interdecenal (Antico et al., 2014).

El conjunto de datos en el período de estudio incluyó 5 crecientes (Figura 1). La información ecológica (densidades de invertebrados de fondo o fauna bentónica), se obtuvo en la sección mencionada entre 1975 y 2016, de forma discontinua. En total se contó con 16 años de datos ecológicos (99 muestras). Todas las muestras fueron recolectadas mediante una draga de cucharas marca Tamura® (superficie muestreada: 322 cm²),

siguiendo el mismo procedimiento y protocolo de muestreo. Por esta razón, no se requirieron métodos de estandarización en el tratamiento de esta información. En todos los casos junto con las muestras ecológicas se obtuvo una muestra adicional destinada a conocer la granulometría de los sedimentos del fondo.

Construcción del modelo

El procedimiento comenzó probando una serie de variables hidroclimáticas con el fin de cuantificar su variabilidad y grado de relación con la comunidad del bentos. Algunas de ellas se obtuvieron de mediciones directas en campo, otras provienen de fuentes públicas (p.ej., registros de caudales históricos; SERHNA) y cierto número se crearon con el fin de cuantificar las características y efectos de las crecientes.

El grado de predicción de las variables mencionadas sobre la densidad de invertebrados de fondo (ind m⁻²), se evaluó utilizando modelos lineales generalizados (GLM, Crawley, 2007):

- La selección de modelos se basó en procedimientos de teoría de la información (Burnham y Anderson, 2002) considerando diferentes combinaciones de variables predictivas.
- Se utilizó el criterio de información de Akaike e inferencia por modelos múltiples para la selección final de las variables predictivas.
- Se calcularon las estimaciones de los parámetros para determinar los intervalos de confianza del 95% utilizando varianzas incondicionales (Burnham y Anderson, 2002).
- Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software R, versión 3.0.2
- Para la selección del modelo, utilizamos el paquete MuMIn (Barton, 2013). Los resultados se presentan como media ± error estándar (SE).

Resultados

Los resultados revelaron que el modelo (Densidades ~ nbinom [MIDF]) fue el seleccionado por criterio de información de Akaike. MIDF,

$$MIDF = \frac{DQMAXF}{QMAXF} * RF$$

- QMAXF (m³s⁻¹): Máximo caudal de una creciente.
- RF (m³s⁻¹ /días): Gradiente de la rama ascendente de una creciente dada

$$RF = \frac{QMAXF - QINIF}{\Delta t}; QINIF = \text{Caudal inicial de una creciente.}$$

- DQMAXF (días): Número de días al QMAXF en una creciente dada

fue la variable seleccionada y por lo tanto, sería la que mejor explicaría la variabilidad de las densidades de los invertebrados del fondo. Esta variable integra diferentes aspectos hidrológicos/hidráulicos importantes para explicar los cambios en la ecología de los invertebrados de fondo y, potencialmente, de otras comunidades fluviales: i) el tiempo desde cada muestreo biótico hasta el caudal máximo de una inundación (QMAXF); este tiempo adquiere valores negativos en la rama ascendente de la creciente y positivos luego de QMAXF, esto es, en su rama descendente y período hasta el comienzo de la siguiente creciente y, ii) el gradiente de ascenso de la creciente.

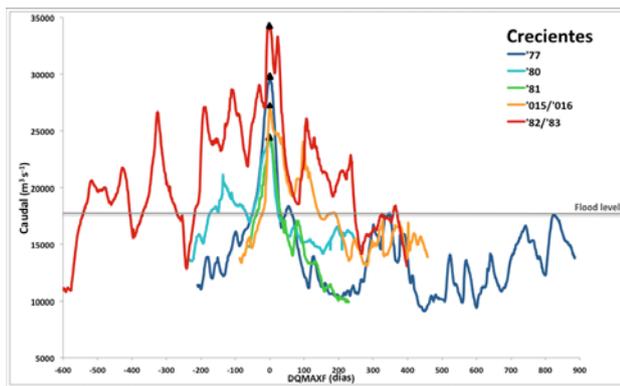


Figura 1.- Valores necesarios para el cálculo de MIDF a partir de hidrogramas diarios de las cinco crecientes ocurridas en el período de estudio (estación de aforos Túnel Subfluvial; SERHNA) expresados en función de DQMAXF. Período: 1976-2017.

Modelo seleccionado

Los valores de la densidad de invertebrados de fondo pronosticados por el modelo seleccionado con la variable MIDF y los límites del intervalo de confianza del 95%, se muestran en la Figura 2. Obsérvese que se predicen densidades mínimas de invertebrados de fondo (una reducción de 49 y 59% con respecto a la estimación media del parámetro) durante las ramas ascendentes de las crecientes hasta el QMAXF (MIDF = 0). Después de este período (valores positivos de MIDF), las densidades comienzan a aumentar exponencialmente. El incremento sería más marcado luego de $MIDF \approx 1$, valor que corresponde a los 100 días (3 meses aproximadamente), luego del pico de la creciente. Los intervalos de confianza aumentan alrededor de $MIDF=2$.

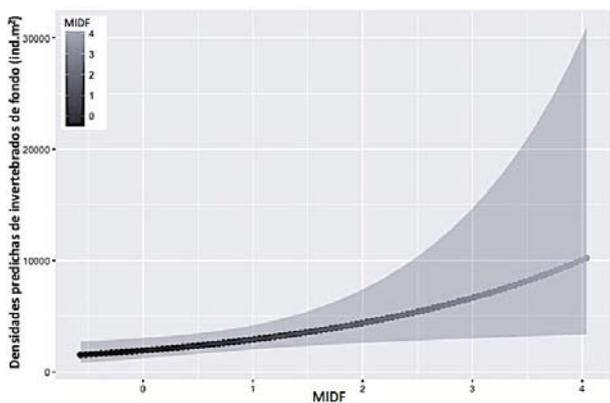


Figura 2.- Valores de densidad de invertebrados de fondo predichos por el modelo seleccionado con la variable MIDF. Las curvas se ajustan a partir de un modelo lineal generalizado con una distribución de error binomial negativa. Las zonas grises representan los límites del intervalo de confianza del 95% de los valores ajustados.

Discusión

Es sabido que la velocidad de subida de caudales en la rama ascendente de una creciente (RF en MIDF), se relaciona con la pendiente de la superficie de agua antes del caudal pico, normalmente más elevada que luego de éste. Dada la fuerte incidencia de la pendiente en el transporte de sedimentos de fondo, es esperable una alta perturbación del lecho del río, esto es, durante el período de la rama ascendente, el fondo está sometido a fuerzas hidráulicas intensas y erosivas. Ello generaría un ambiente desfavorable para los invertebrados del bentos dando como resultado densidades mínimas.

Luego del caudal pico ($MIDF > 0$), durante el período de la rama

descendente y hasta el comienzo de la próxima creciente, se produce una recuperación de las densidades de los invertebrados del fondo. Según el modelo ajustado (Figura 2), el aumento es de $\sim 300\%$ con respecto a las mínimas. En esta situación las pendientes menores luego del pico (QMAXF), disminuyen las fuerzas hidrodinámicas que accionan sobre el lecho produciendo una rápida disminución del transporte de fondo, incluso con niveles hidrométricos elevados (Lima et al., 1990), lo cual favorecería la recuperación mencionada de las densidades. Es posible que con la disminución de las fuerzas hidráulicas, pasada la creciente, comiencen a adquirir importancia otros factores (no contemplados en MIDF), como la temperatura del agua, o de índole ecológica (fisiología de los invertebrados, período de reproducción, competencia intra-específica, depredación), que afectan la variabilidad de las densidades. Ello se relacionaría con el incremento de la incertidumbre del modelo en períodos lejanos a las crecientes reflejado en el aumento de los intervalos de confianza del 95%.

Observaciones Finales

Se advierte que el perfeccionamiento de herramientas cuantitativas de índole hidro-ecológica como la presentada en este trabajo, aplicadas en el marco de escenarios futuros probables de cambios climáticos, permitiría mejorar los pronósticos sobre sus consecuencias en ecosistemas acuáticos. Se solidificaría con ello la base científica que requiere todo diseño de medidas preventivas por eventuales efectos negativos derivados de esos cambios.

Referencias bibliográficas

- Antico, A., Schlotthauer, G. y M. E. Torres (2014). Analysis of hydro-climatic variability and trends using a novel empirical mode decomposition: application to the Paraná River Basin. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, No. 119, pp. 1218–1233.
- Antico, A., Torres M. E. y H. F. Diaz (2016). Contributions of different time scales to extreme Paraná floods. *Climate Dynamics*, No. 46, pp. 3785–3792.
- Barton, K (2013). MuMIn: Multimodel Inference. <http://cran.rproject.org/web/packages/MuMIn/index.html>.
- Burnham, K.P. and D. R. Anderson (2002). Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. *New York, NY: Springer-Verlag*.
- Crawley, M. J. (2007). *The R Book*. West Sussex: John Wiley and Sons.
- Knight, J. and S. Harrison. (2013). The impacts of climate change on terrestrial Earth surface systems. *Nature*, No 3, pp. 24–29.
- Lima, D.R., Campana, N. A., Amsler, M. L., Schreider, M. I. y H. E. Gaudin (1990). “Desplazamiento de dunas y carga de fondo en un tramo del río Paraná”. *XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Montevideo, Uruguay.
- Ohlberger J., Rogers L.A. & Stenseth N.C. (2014) Stochasticity and determinism: how density-independent and density-dependent processes affect population variability. *PLoS ONE*, No 9, pp. e98940.
- SERHNA (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación). www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/rh-base.php
- Thompson R.M., Beardall J., Beringer J., Grace M. and P. Sardina (2013) Means and extremes: building variability into community-level climate change experiments. *Ecology Letters*, No 16, pp. 799–806.