

Agustina Cortelezzi - Ilda Entraigas
Fabián Grosman - Ignacio Masson
Editores

Encuentro de saberes para la gestión responsable de ecosistemas acuáticos pampeanos



Instituto de Hidrología de Llanuras
Dr. Eduardo Jorge Usunoff

INSTITUTO MULTIDISCIPLINARIO SOBRE
ECOSISTEMAS
Y DESARROLLO SUSTENTABLE



Encuentro de saberes para la gestión responsable de ecosistemas acuáticos pampeanos

**Agustina Cortelezzi - Ilda Entraigas
Fabián Grosman - Ignacio Masson**

Editores

2019



**X Congreso de Ecología y Manejo
de Ecosistemas
Acuáticos Pampeanos.
Azul, Buenos Aires, Argentina**



INSTITUTO MULTIDISCIPLINARIO SOBRE
ECOSISTEMAS
Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Encuentro de saberes para la gestión responsable de ecosistemas acuáticos pampeanos / Agustina Cortelezzi; Ilda Entraigas; Fabián Grosman; compilado por Agustina Cortelezzi; Ilda Entraigas; Fabián Grosman. - 1a ed. - Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2019.

LIBRO DIGITAL, PDF

ARCHIVO DIGITAL: DESCARGA Y ONLINE

ISBN 978-950-658-494-8

1. Ecosistema Acuático.
2. Desarrollo Rural de la Región Pampeana.
3. Ecología Acuática.
I. Entraigas, Ilda, comp. II. Grosman, Fabián, comp. III. Título.
CDD 577.6

Diseño y diagramación

Maribel Macchione
Joaquín Chiodi

Cortelezzi, A., I. Entraigas, F. Grosman e I. Masson (eds). 2019. Encuentro de saberes para la gestión responsable de ecosistemas acuáticos pampeanos. Azul, Argentina.

ISBN: 978-950-658-494-8

Primera edición noviembre de 2019.



¿Qué criterios y consideraciones debemos tener en cuenta cuando hablamos de cambio de régimen en los lagos someros?

María de los Ángeles González Sagrario¹, Simona Muzzasi², Francisco Elizalde Córdoba³, Manuela Mendiola⁴ y Andrea Lam²

¹ Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMYC), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, CONICET, J. B. Justo 2550, (7600) Mar del Plata, Argentina.

² National Research Council (CNR), Water Research Institute (IRSA), Largo Tonolli, 50, Verbania, Italia.

³ Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA, CONICET-UNJu), Instituto de Geología y Minería, Universidad Nacional de Jujuy, Av. Bolivia 1661, Y4600GNE, San Salvador de Jujuy, Argentina.

⁴ Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Paseo Victoria Ocampo N°1, B7602HSA Mar del Plata, Argentina.

Email: gonsagra@mdp.edu.ar

RESUMEN

Los lagos someros o lagunas, experimentan cambios de régimen. Sin embargo, para dar cuenta de ello diversos criterios y/o indicadores necesitan ser evaluados. Este trabajo tiene como objetivo mostrar las distintas herramientas que pueden considerarse a la hora de definir un cambio de régimen en un ecosistema. Para ello, se tomó como ejemplo un estudio paleolimnológico realizado en la Laguna Blanca Chica, (Olavarría) que incluye el análisis de múltiples indicadores pertenecientes a distintos niveles tróficos y el empleo de distintas herramientas estadísticas (*GAM*, *density curves*, *Early warning signals*). De este estudio se desprende que para poder establecer si un cambio de régimen ocurrió es necesario contar con una serie temporal de datos extendida en el tiempo, testear la ocurrencia de transiciones y caracterizar su dinámica considerando diversos niveles de la trama trófica del ecosistema.

Palabras claves: MÚLTIPLES RESPUESTAS - RESILIENCIA - PALEOLIMNOLOGÍA

Introducción

Los lagos, al igual que los ecosistemas marinos y terrestres, sufren cambios drásticos que pueden ser asociados a los modelos teóricos de eventos catastróficos como los cambios abruptos, de régimen y los múltiples estados estables (Carpenter, 2003; Petraitis, 2013). El cambio de régimen es un fenómeno que se da a escala ecosistémica e implica la reconfiguración del sistema, con cambios en sus respuestas funcionales, estructura y dinámica (Carpenter, 2003). Existen distintos modelos de cambio de régimen (CR): 1- lineales (umbral en el forzante), 2- no lineales (umbral en la respuesta de estado) y 3- transiciones discontinuas (críticas, también llamados múltiples estados estables) (Andersen et al., 2009). Distintos criterios han sido definidos para considerar la ocurrencia de un cambio de régimen. Según Petraitis (2013), debe aplicarse el criterio de Peterson, es decir los CR deben ser testeados experimentalmente en el mismo sitio en

que sucedieron (Peterson, 1984). Otros investigadores han propuesto que un CR puede considerarse como tal cuando el cambio sea abrupto, presente baja frecuencia y gran amplitud y se manifieste en múltiples indicadores pertenecientes a diversos niveles tróficos (Lees et al., 2006). A su vez, existen distintos tipos de señales que caracterizan los múltiples estados estables y otros tipos de CR tales como los indicadores de resiliencia (por ejemplo varianza y autocorrelación), modalidad, reversibilidad, respuestas no lineales, histéresis, *critical slowing down*, entre otros (Petraitis, 2013).

Debido a que no existe un único test para determinar la ocurrencia de CR, nuestro trabajo propone: 1- testear la ocurrencia de transiciones, 2- determinar su dinámica (lineal versus no lineal) y 3- analizar el comportamiento de señales tempranas de cambio de régimen (indicadores de resiliencia). Como caso de estudio, se analizó la respuesta de múltiples indicadores (pigmentos fotosintéticos, variables geoquímicas, diatomeas,

restos quitinosos de cladóceros, huevos de rotíferos, gasterópodos y escamas de peces) en un testigo sedimentario de la Lag. Blanca Chica (36° 50' 00.9''S; 60° 28' 00.9''O, Pdo. Olavarría, Buenos Aires, Argentina).

Materiales y Métodos

Área de Estudio

Blanca Chica es una laguna somera, polimíctica, eutrófica y turbia (Disco de Secchi: 0.2-0.3m, concentración de clorofila *a*: 90-500 mg m⁻³ y de fósforo total: 0.3-1.2 ppm), de aguas alcalinas (pH: 8-9.8) (Sanzano et al., 2014).

Análisis realizados

El modelo de edad-profundidad del testigo sedimentario se construyó basado en las determinaciones radioisotópicas de ²¹⁰Pb y ¹³⁷Cs y cronomarcadores específicos y la determinación de cada indicador se realizó de acuerdo a la metodología estándar descrita en González Sagrario et al. (2019).

Todos los análisis fueron realizados con el programa R versión 3.3.3 (2017-03-06) (R Core Team, 2017). En primer lugar, se identificaron las transiciones, luego se determinó su dinámica y por último se analizó el comportamiento de los indicadores de resiliencia:

1- Determinación de transiciones. Las transiciones fueron detectadas mediante el ajuste de Modelos Aditivos Generalizados (GAM) y la estimación de la primera derivada de la tendencia ajustada (Simpson, 2018) de la serie temporal de puntajes o *scores* de los análisis de ordenación (PCA o CA) realizados a cada indicador (representado por set de datos multivariado).

2- Dinámica (lineal / no lineal- discontinua) y modalidad. Se aplicó un kernel gaussiano para estimar las funciones de probabilidad de densidad (Scheffer et al., 2003; Wang et al., 2012) en la serie temporal de puntajes del análisis de ordenación.

3- Identificación de señales tempranas de alarma de cambio de régimen (EWS). Se analizaron los indicadores de resiliencia, desvío estándar y autocorrelación en la serie temporal de los análisis de ordenación. Estos indicadores se analizaron para distintas medidas de ventana (10,20,30,40,50) (Dakos et al., 2012).

Resultados

A partir del ajuste de GAM en la serie temporal (AD 1750-2015) de puntuaciones de los métodos de ordenación de cada indicador, se identificaron distintos momentos de transición (Tabla 1). Considerando las respuestas coincidentes se definieron dos períodos de transición: ca. 1860-

1900 y ca. 1930-1990. Para cada uno de estas transiciones se identificaron cambios en la estructura de los ensambles. En ambos casos, la dinámica fue no lineal o discontinua e indicadores pertenecientes a distintos niveles tróficos (nutrientes, productores primarios, consumidores primarios y secundarios) estuvieron involucrados en dichos cambios abruptos. Durante la primera transición no se identificó ninguna tendencia para el desvío estándar y la autocorrelación; sin embargo, durante la segunda transición se detectaron tendencias positivas para el desvío estándar para todos los indicadores y para todo el rango de ventanas seleccionadas (Tabla1).

Durante la primera transición, el sistema cambió drásticamente su estructura. Previo y durante la transición, dominaban los componentes litorales (semillas de plantas acuáticas, gasterópodos y cladóceros litorales); post-transición, el sistema cambió hacia la dominancia de organismos pelágicos (*Bosmina* *Leiderbosmina huaronensis*), la pérdida de la vegetación y de gasterópodos asociados a macrófitas. A su vez, la composición del ensamble de diatomeas cambió. Las especies indicadoras de aguas claras, como *Cyclotella meneghiniana*, *Thalassiosira cf. faurii* y diatomeas bentónicas, fueron reemplazadas por especies indicadoras de condiciones de mezcla y turbidez, como *Aulacoseira granulata*. Luego de la transición, esta situación se revierte, dominando nuevamente el ensamble *C. meneghiniana*.

La segunda transición ca. 1930-1990 estuvo caracterizada por el aumento de los nutrientes y los pigmentos fotosintéticos, especialmente los correspondientes a las cianobacterias. Las diatomeas indicadoras turbidez, como *Aulacoseira granulata* se volvieron dominantes y el ensamble de rotífero aumentó su riqueza específica.

Discusión

Las transiciones identificadas en la Laguna Blanca Chica involucraron cambios drásticos en el ecosistema: hacia un sistema con dominancia pelágica (post 1880) y mayor columna de agua y luego, hacia uno eutrófico (1930-1990). Ambas transiciones, implicaron la reconfiguración del ecosistema e involucraron la respuesta de distintos niveles tróficos (recursos basales, productores, consumidores primarios y secundarios) y ensambles (fitoplancton, zooplancton, bentos y peces). A su vez, la detección de modalidad da cuenta que la dinámica de estos cambios fue no lineal o discontinua. Dado que en un período de 250 años se registraron dos cambios abruptos, pueden ser caracterizados como de baja frecuencia y con implicancias ecosistémicas de gran amplitud. A

esto se suma, el incremento de la varianza en la segunda transición. Estas características permiten calificar a ambas transiciones como consistentes con los modelos teóricos de cambio de régimen. Sin embargo, la ausencia de tendencias en los indicadores de resiliencia y la reversión observada para el ensamble de diatomeas permite inferir que el primer cambio de régimen sería un cambio no lineal de "respuesta en el umbral de estado"; mientras que el segundo, asociado a una fase de eutroficación, una "transición crítica".

Tabla 1. Transiciones detectadas para cada indicador mediante GAMs e indicadores asociadas a cambios de régimen. Acrónimos: BM: bimodal, NL/D: no lineal/discontinuo, +SD: incremento del desvío estándar, -: no se detectó cambio.

Indicador	Transición	Modalidad/ Dinámica	Indicador de Resiliencia
Cladocera	1860-1880	BM, NL/D	-
Diatomeas	1850-1900 1920-2000	BM, NL/D BM, NL/D	+SD
Geoquímicos	1960-2000	BM, NL/D	+SD
Clorofilas	1952	BM, NL/D	-
Carotenoides	1920-1950	BM, NL/D	+SD
Rotifera	1920-1990	BM, NL/D	+SD

Conclusiones

Los lagos someros o lagunas son referidos como ejemplos de ecosistemas en los que ocurren cambios de régimen, en particular de transiciones críticas o múltiples estados estables. Sin embargo, este trabajo demuestra que pueden experimentar distintos tipos de CR. Más importante aún, resalta que para evaluar un CR es necesario analizar la respuesta de distintos indicadores pertenecientes a diversos niveles tróficos. Además, destaca la importancia de considerar todas las señales de cambio de régimen posibles, tales como la modalidad, reversión, indicadores de resiliencia y tipo de dinámica del cambio. Estos factores deben ser tenidos en cuenta para poder realizar inferencias acertadas de los procesos que ocurren en los sistemas lacustres (Carpenter, 2003).

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONICET, CNR y UNMDP por el financiamiento brindado (PIP1345, EXA 775 y Proyecto de cooperación Bilateral CONICET-CNR).

Referencias

- Andersen, T., Carstensen, J., Hernández-García, E. y Duarte, C.M. 2009. Ecological thresholds and regime shifts: approaches to identification. *Trends in Ecology & Evolution* 24: 49-57.
- Carpenter, S.R. 2003. *Regime shifts in lake ecosystems: pattern and variation*. International Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany.
- Dakos, V., Carpenter, S.R., Brock, W.A., Ellison, A.M., Guttal, V., Ives, A.R., Kéfi, S., Livina, V., Seekell, D.A., Van Nes, E.H. y Scheffer, M. 2012. Methods for detecting early warnings of critical transitions in time series illustrated using simulated ecological data. *PLOS ONE* 7: e41010.
- González Sagrario, M.A., Muzzasi, S., Córdoba F.E., Mendiolar, M. y Lami A. 2019. Inferring the occurrence of regime shifts in a shallow lake during the last 250 years based on multiple lines of evidences. Enviado.
- Lees, K., Pitois, S., Scott, C., Frid, C. y Mackinson, S. 2006. Characterizing regime shifts in the marine environment. *Fish and Fisheries* 7: 104-127.
- Peterson, C.H. 1984. Does a Rigorous Criterion for Environmental Identity Preclude the Existence of Multiple Stable Points? *The American Naturalist* 124: 127-133.
- Petraitis, P.S. 2013. *Multiple Stable States in Natural Ecosystems*. Oxford University Press, Oxford.
- R Core Team. 2017. Vienna, , R Foundation for Statistical Computing.
- Sanzano, V., Grosman, F. y Colasurdo, P. 2014. Estudio limnológico de Laguna Blanca Chica (Olavarría, Provincia de Buenos Aires) durante un período de sequía. *Biología Acuática* 30: 189-202.
- Scheffer, M. y Carpenter, S.R. 2003. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 648-656.
- Simpson, G.L. 2018. Modelling palaeoecological time series using generalised additive models. *Frontiers in Ecology and Evolution* 6: 149.
- Wang, R., Dearing, J.A., Langdon, P.G., Zhang, E., Yang, X., Dakos, V. y Scheffer, M. 2012. Flickering gives early warning signals of a critical transition to a eutrophic lake state. *Nature* 492: 419.