



MANEJO, REHABILITACION Y RESTAURACIÓN DE SISTEMAS ACUÁTICOS



**EUTROFIZACIÓN DE ORIGEN
ANTRÓPICO:
DISTURBIO O FACTOR DE ESTRÉS?
FENÓMENO PREDECIBLE Y
REVERSIBLE?
TERAPIAS DE SHOCK,
REHABILITACIÓN Y RESTAURACIÓN?**

Dr. Néstor Mazzeo



CONTENIDO

- Ecosistemas acuáticos continentales: principales presiones
- Eutrofización: definiciones claves
- Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización
- Aproximaciones del sistema considerado



Ecosistemas acuáticos continentales: principales presiones

- Eutrofización
- Contaminación por residuos de plaguicidas, metales pesados, contaminantes emergentes
- Acidificación
- Modificación de sistemas drenaje, captación de agua (riego, agua potable)
- Fragmentación y pérdida de hábitats (humedales)
- Colmatación (erosión de suelos, producción excesiva de plantas acuáticas)
- Introducción de especies exóticas



Ecosistemas acuáticos continentales: principales presiones

- Todas las presiones indicadas ocurren en diferentes combinaciones
- Sumado a lo anterior cada caso analizado tiene un contexto socio-económico, cultural y biogeográfico particular
- Además de los principios generales y estado de conocimiento, cada caso de estudio constituye una singularidad
- El diseño del control y reversión de los procesos de eutrofización son sitios dependientes



Eutrofización: definiciones claves

- El estrés es cualquier factor que disminuye el crecimiento o producción de materia orgánica.
- El disturbio, en cambio, es cualquier agente físico, químico o biológico que provoca una remoción o pérdida de biomasa.
- Términos definidos originalmente a nivel poblacional
- La eutrofización es un proceso que en determinadas fases constituye un estrés y en otros un serio disturbio

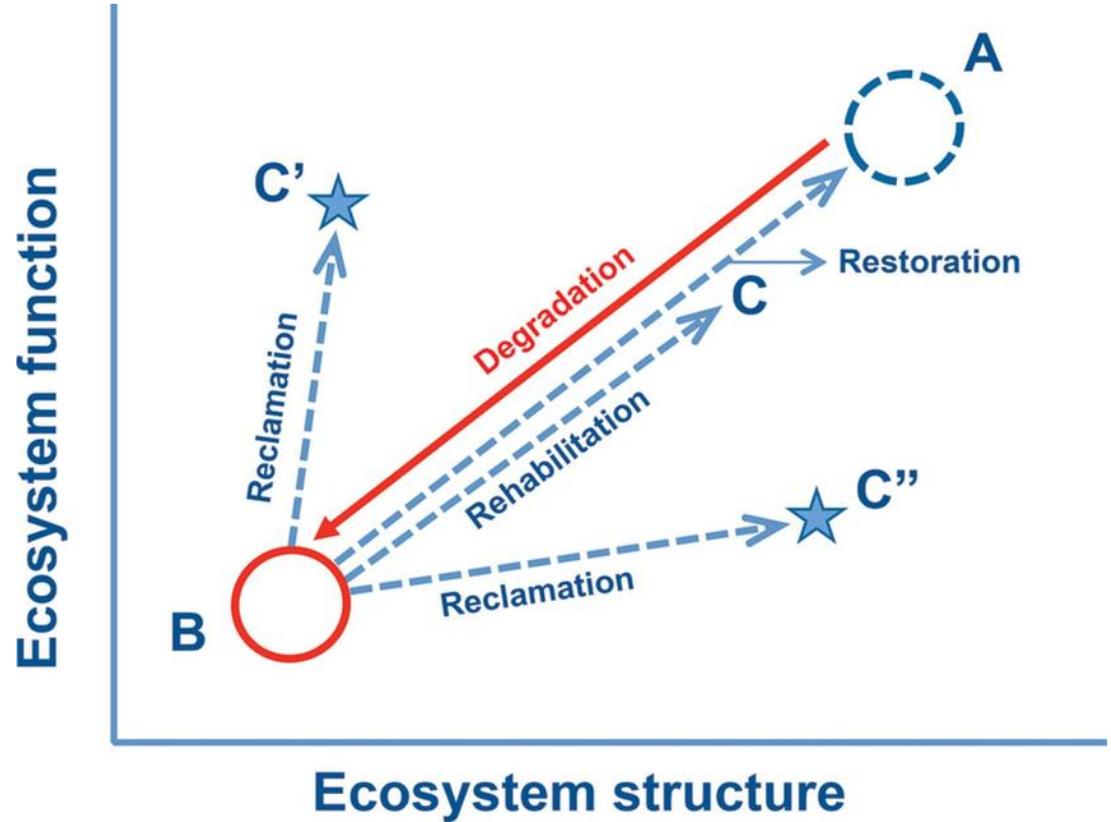


Eutrofización: definiciones claves

- **Manejo**: Implementación y ejecución de medidas que eliminan o amortiguan las consecuencias adversas de una perturbación o alteración
- **Recuperación** (restauración o rehabilitación): Medidas o acciones que procuran eliminar o amortiguar las causas de la perturbación o alteración



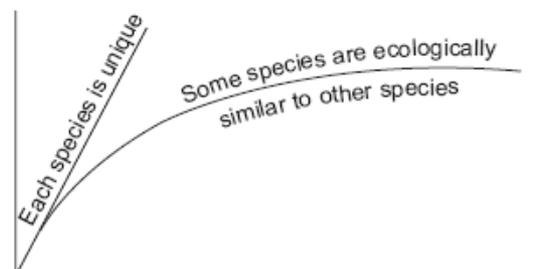
Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización



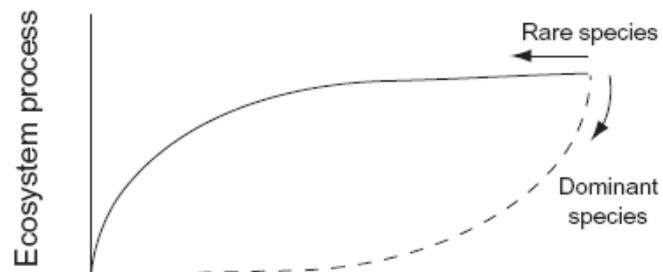
Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización



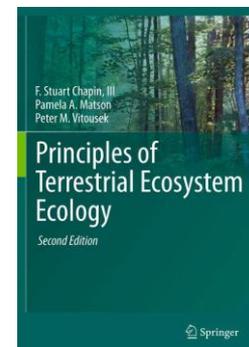
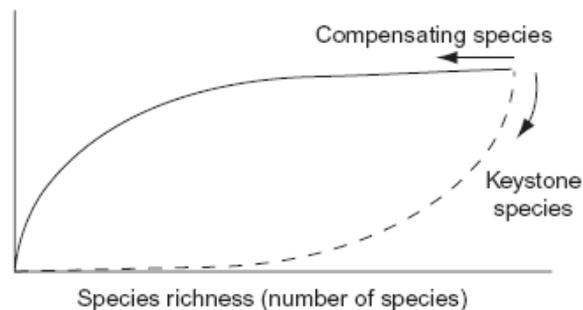
A. Effect of species number



B. Effect of species abundance



C. Effect of species type





Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización

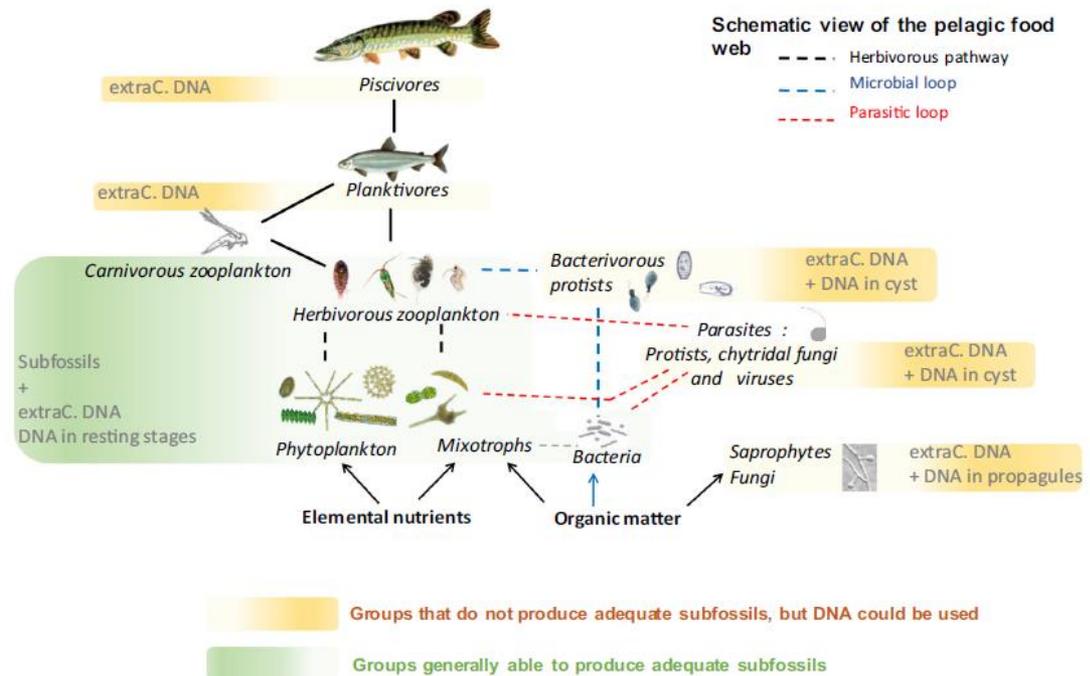
J Paleolimnol
DOI 10.1007/s10933-017-9958-y



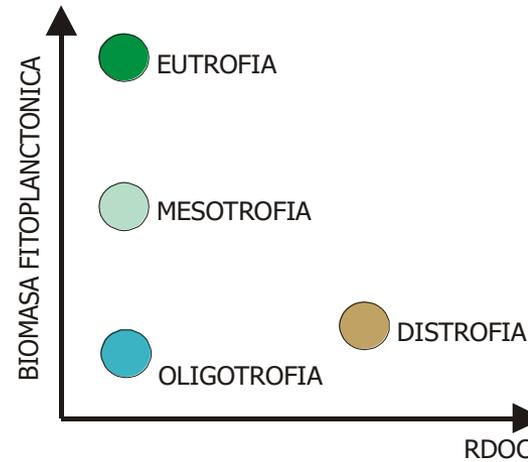
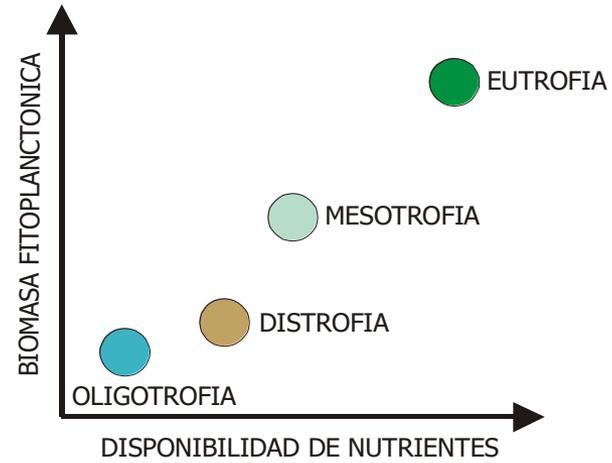
D.G. FREY AND E.S. DEEVEY REVIEW

DNA-based methods in paleolimnology: new opportunities for investigating long-term dynamics of lacustrine biodiversity

Isabelle Domaizon · Amanda Winegardner · Eric Capo · Joanna Gauthier · Irene Gregory-Eaves

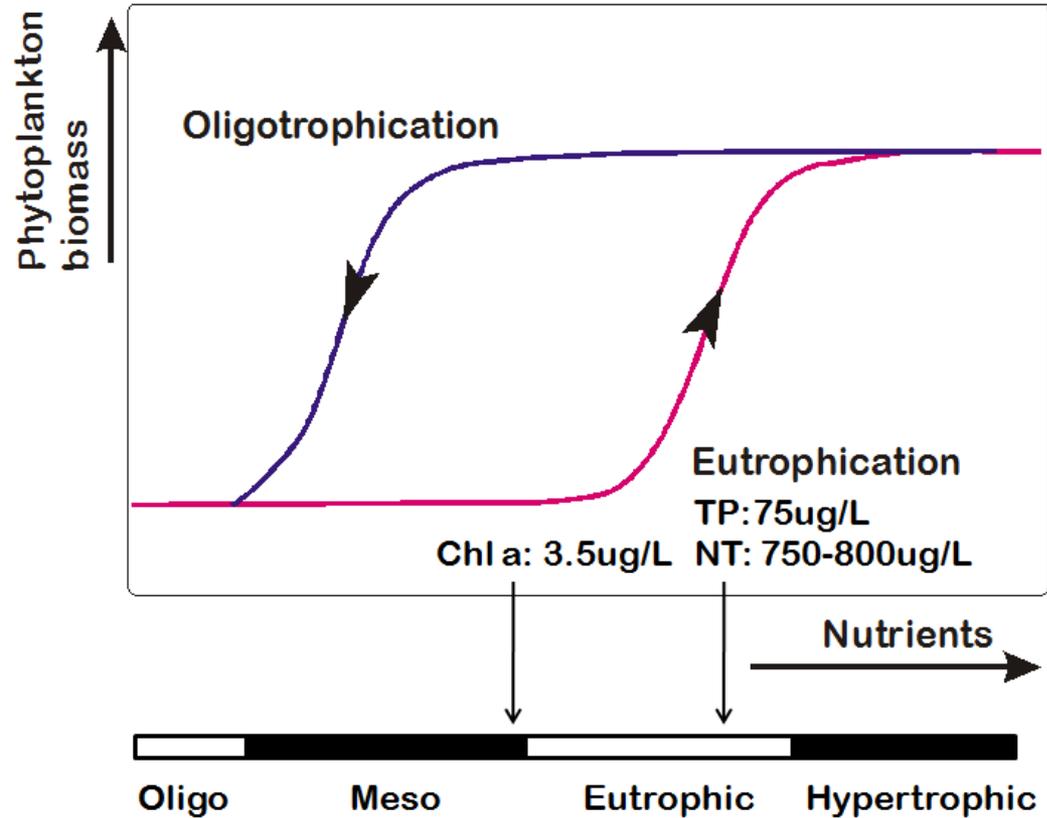


Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización





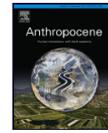
Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización



Contents lists available at ScienceDirect

Anthropocene

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ancene



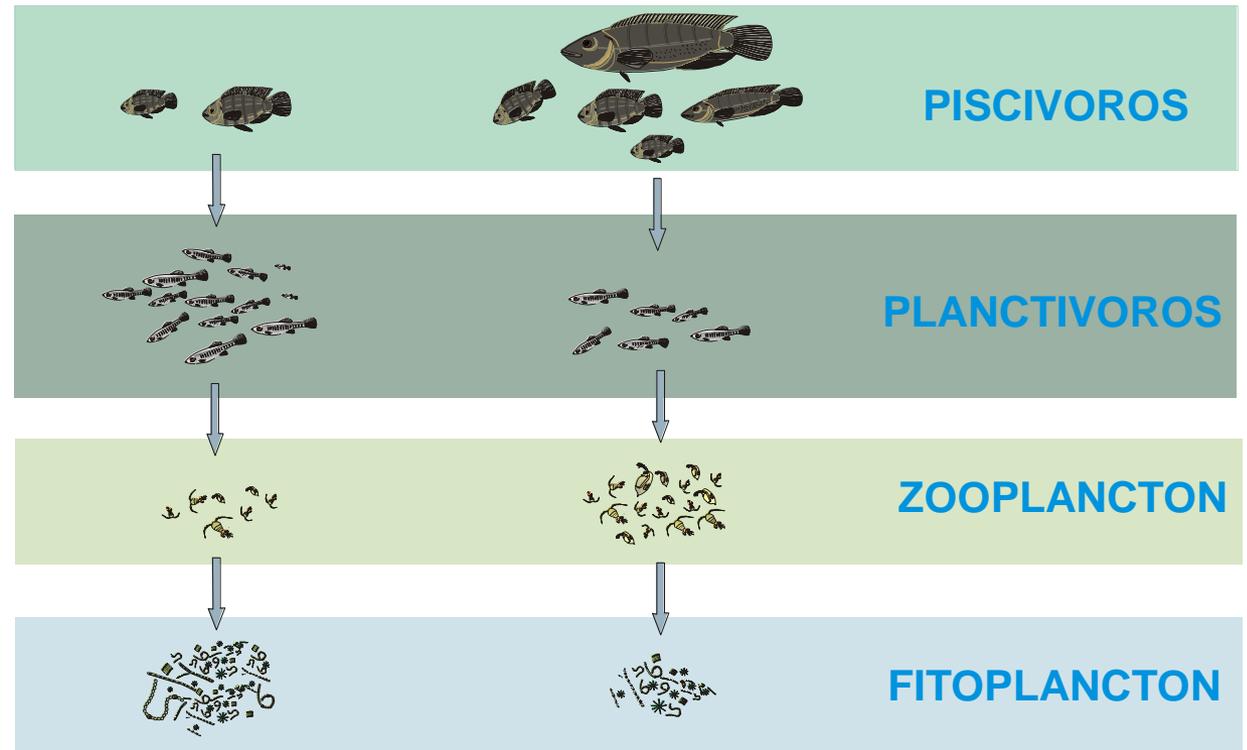
Discriminating between natural and human-induced shifts in a shallow coastal lagoon: A multidisciplinary approach



Hugo Inda^{a,*}, Felipe García-Rodríguez^a, Laura del Puerto^a, Silvina Stutz^b,
Rubens Cesar Lopes Figueira^c, Paulo Alves de Lima Ferreira^c, Néstor Mazzeo^a



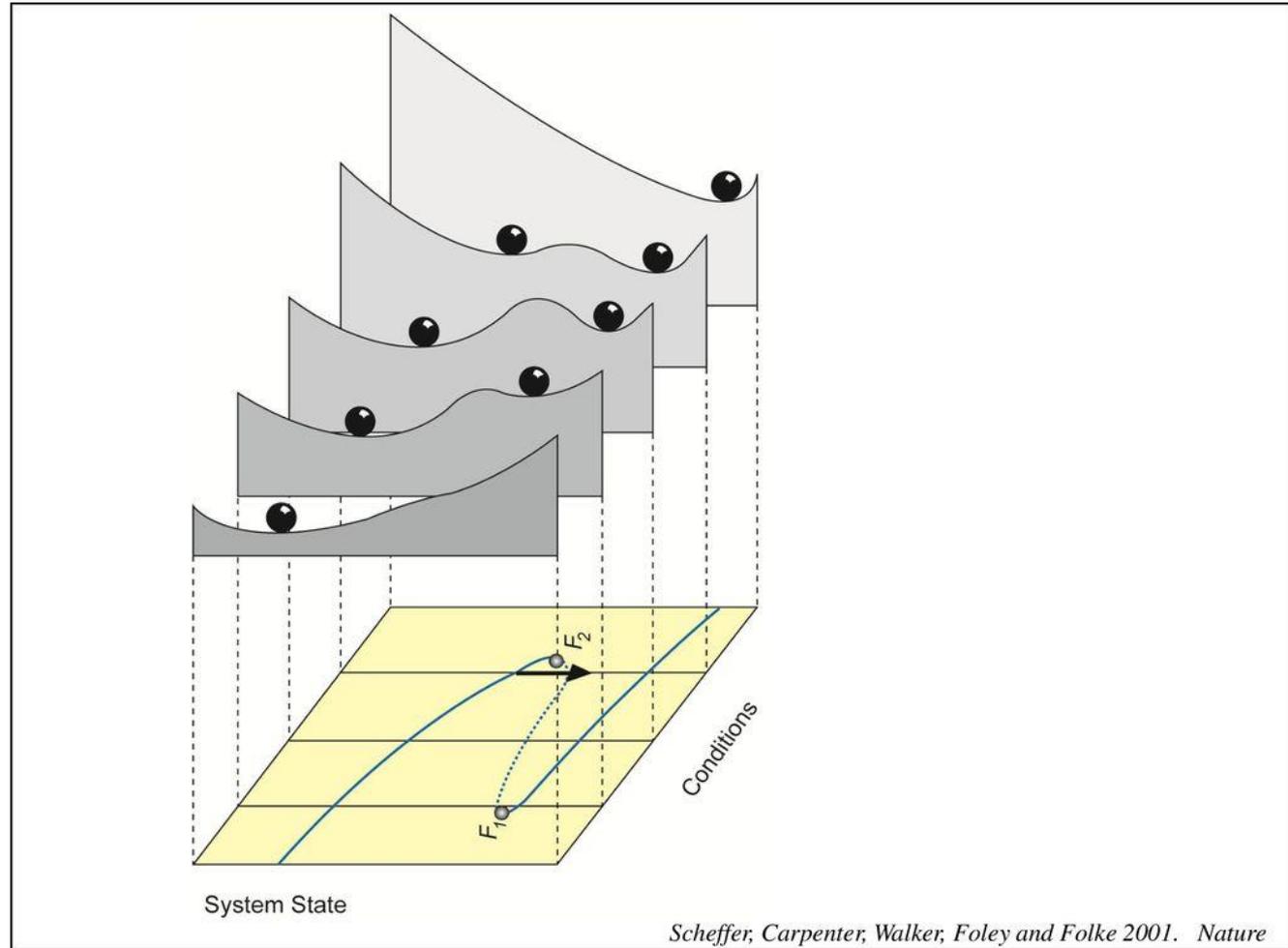
Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización



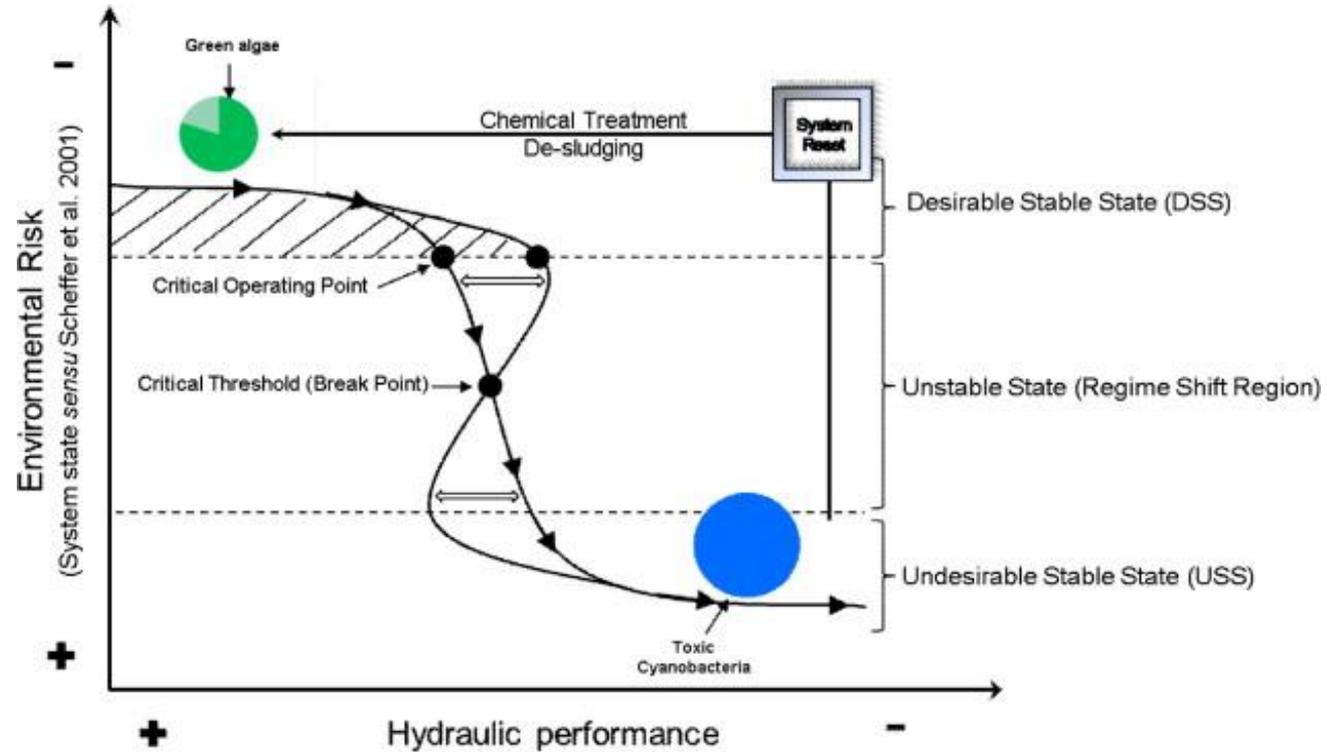
- ➔ Baja transparencia
- ➔ Altos valores de pH
- ➔ Gran amplitud de la concentración de oxígeno disuelto

- ➔ Alta transparencia
- ➔ pH neutro
- ➔ Tenor de oxígeno disuelto normal

Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización

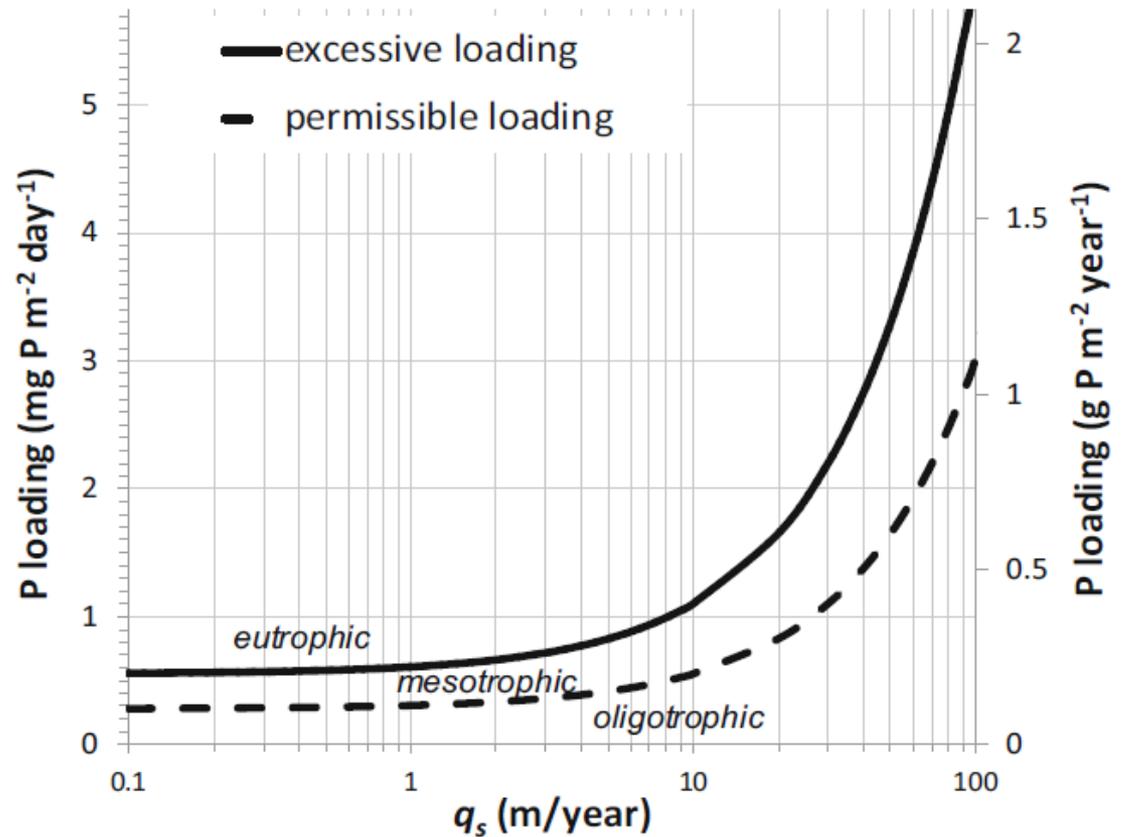


Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización





Aspectos claves de la dinámica de la eutrofización



Rast W, Jones RA, Lee GF (1983). Predictive capability of U.S. OECD phosphorus loading-eutrophication response models. J Water Pollut Control Fed 55:990-1003



Aproximaciones del sistema considerado

- Determinismo vs probabilismo:

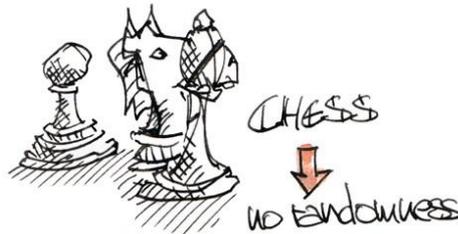


VS.



▣ AGENT'S ACTIONS
UNIQUELY DETERMINE
THE OUTCOME ▣

▣ SOME RANDOMNESS
INVOLVED ▣





Aproximaciones del sistema considerado



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Ecological Modelling

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolmodel

Multi-model approach to predict phytoplankton biomass and composition dynamics in a eutrophic shallow lake governed by extreme meteorological events

Carolina Crisci^{a,*}, Rafael Terra^b, Juan Pablo Pacheco^c, Badih Ghattas^d, Mario Bidegain^e, Guillermo Goyenola^c, Juan José Lagomarsino^f, Gustavo Méndez^f, Néstor Mazzeo^c



Aproximaciones del sistema considerado

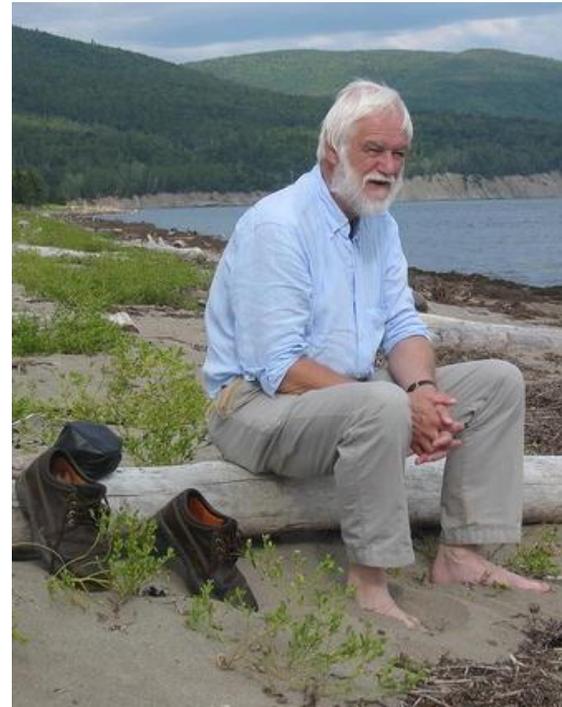


Article

Empirical Modeling of Stream Nutrients for Countries without Robust Water Quality Monitoring Systems

Ismael Díaz ^{1,*}, Paula Levrini ², Marcel Achkar ¹, Carolina Crisci ³, Camila Fernández Nion ¹, Guillermo Goyenola ² and Néstor Mazzeo ^{2,4}

Aproximaciones del sistema considerado



Aproximaciones del sistema considerado





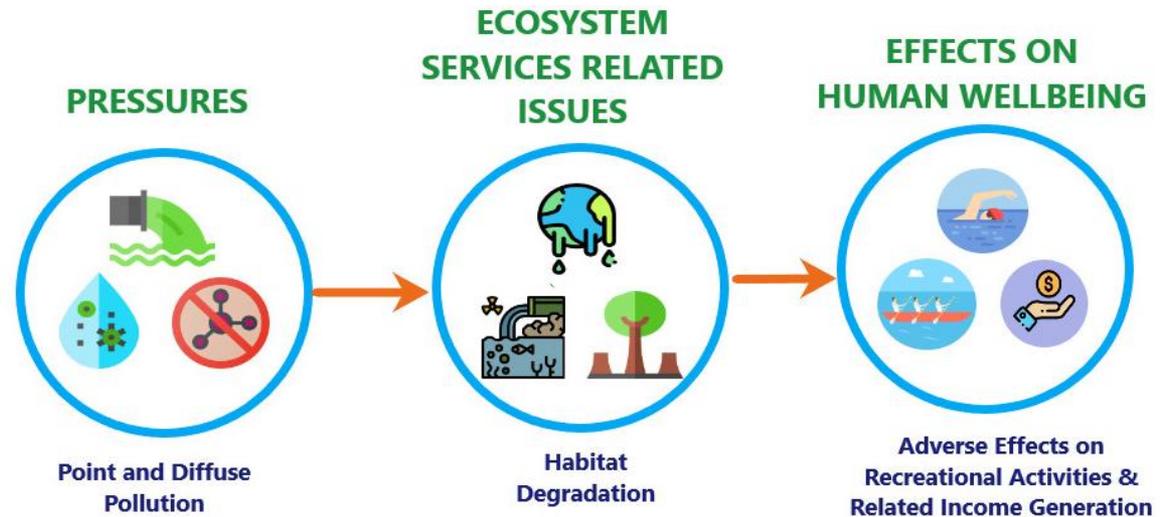
Aproximaciones del sistema considerado



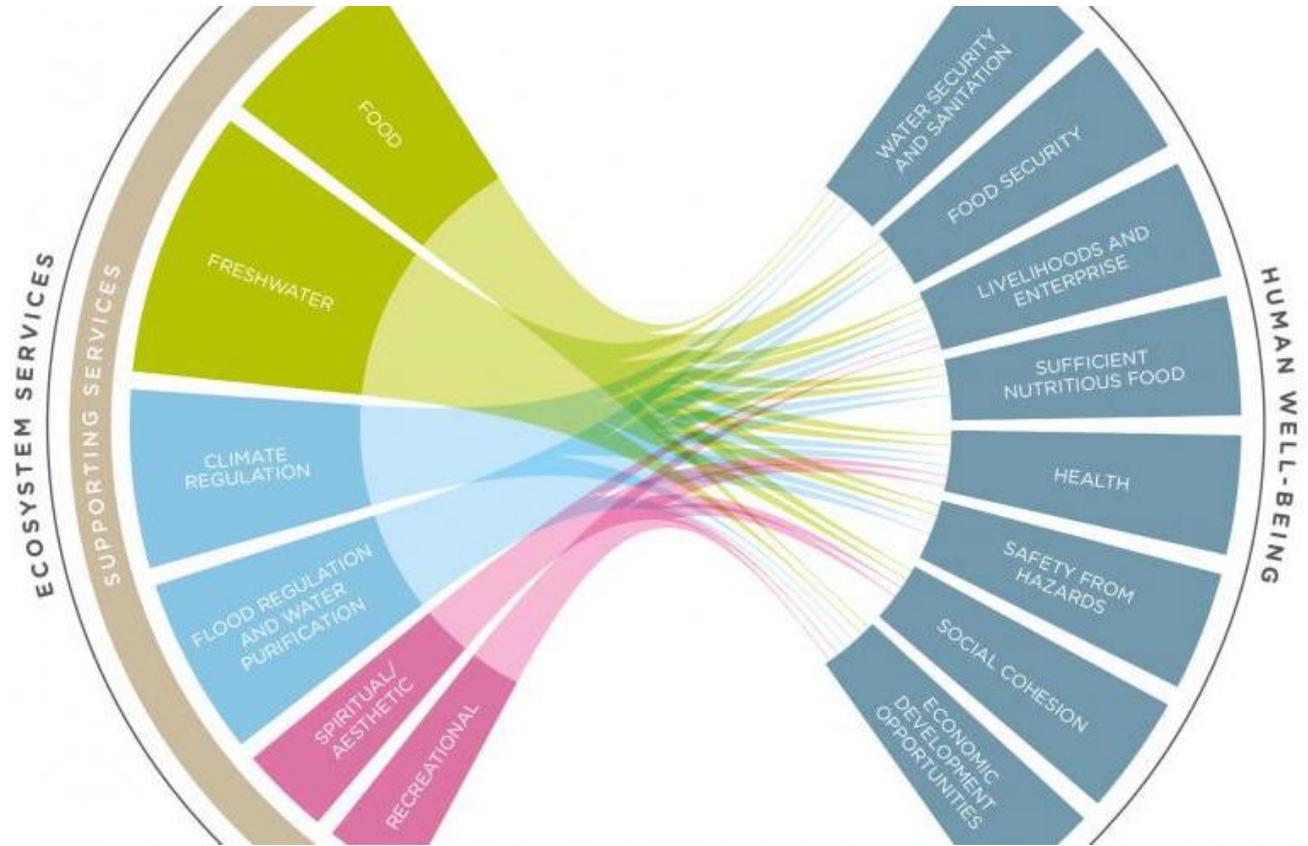
Article

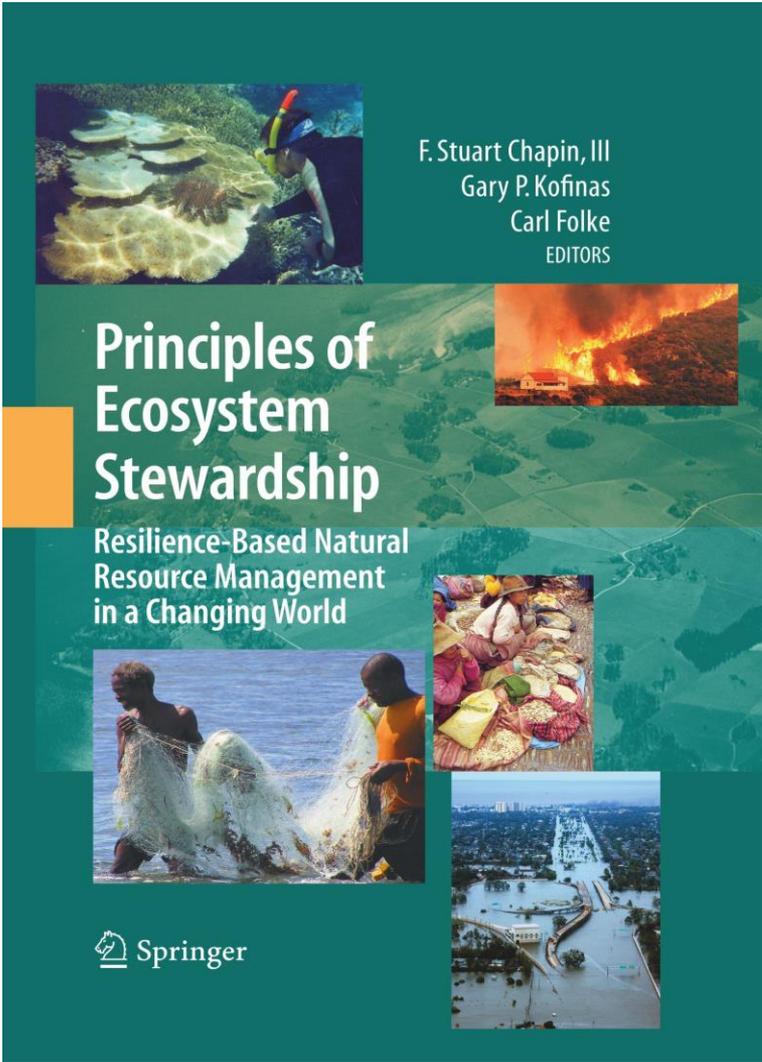
The Link between Ecosystem Services and Human Wellbeing in the Implementation of the European Water Framework Directive: Assessing Four River Basins in Europe

Ebun Akinsete ^{1,2,*}, Stella Apostolaki ^{1,3}, Nikos Chatzistamoulou ⁴, Phoebe Koundouri ^{1,4,5} and Stella Tsani ^{1,4}



Aproximaciones del sistema considerado







Aproximaciones del sistema considerado

TABLE 1.1. Contrasts between steady-state resource management, ecosystem management, and resilience-based ecosystem stewardship.

Steady-state resource management	Ecosystem management	Resilience-based ecosystem stewardship
Reference state: historic condition	Historic condition	Trajectory of change
Manage for a single resource or species	Manage for multiple ecosystem services	Manage for fundamental social-ecological properties
Single equilibrium state whose properties can be sustained	Multiple potential states	Multiple potential states
Reduce variability	Accept historical range of variability	Foster variability and diversity
Prevent natural disturbances	Accept natural disturbances	Foster disturbances that sustain social-ecological properties
People use ecosystems	People are part of the social-ecological system	People have responsibility to sustain future options
Managers define the primary use of the managed system	Multiple stakeholders work with managers to define goals	Multiple stakeholders work with managers to define goals
Maximize sustained yield and economic efficiency	Manage for multiple uses despite reduced efficiency	Maximize flexibility of future options
Management structure protects current management goals	Management goals respond to changing human values	Management responds to and shapes human values

Aproximaciones del sistema considerado



Aproximaciones del sistema considerado



Aproximaciones del sistema considerado



We live in an island of knowledge surrounded by a sea of ignorance. As our island grows, so does the shore of our ignorance.
John A. Wheeler, *Scientific American* (1992).



REHABILITACIÓN DE SISTEMAS EUTRÓFICOS

Dr. Néstor Mazzeo



CONTENIDO

- Eutrofización: controles claves
- Eutrofización: factores y procesos claves
- Estrategias de rehabilitación: control de la carga externa e interna de nutrientes, alguicidas y biomanipulación



Eutrofización: controles claves

- Además de la disponibilidad de nutrientes, diversos factores controlan las dinámica espacial y temporal del fitoplancton:
 - Disponibilidad de luz
 - Temperatura (régimen térmico, profundidad de la zona de mezcla)
 - Morfometría e hidrodinámica
 - pH
 - Niveles de sustancias húmicas
 - Tiempo de residencia
 - Competencia entre grupos de productores primarios
 - Presión de herbivoría y otros mecanismos de pérdida de biomasa (sedimentación, lavado)
 - Simultáneamente, la variabilidad climática modula todos estos factores o controles



Eutrofización: factores y procesos claves

Research Brief

Allied attack: climate change and eutrophication

Brian Moss^{1*}, Sarian Kosten², Mariana Meerhoff^{3,5}, Richard W. Battarbee⁴, Erik Jeppesen^{5,6}, Néstor Mazzeo³, Karl Havens⁷, Gissell Lacerot^{2,3}, Zhengwen Liu⁸, Luc De Meester⁹, Hans Paerl¹⁰ and Marten Scheffer²

¹ School of Environmental Sciences, University of Liverpool, UK

² Department of Aquatic Ecology and Water Quality Management, Wageningen University, The Netherlands

³ Facultad de Ciencias-CURE, Universidad de la República, Uruguay

⁴ Environmental Change Research Centre, University College, London, UK

⁵ National Environment Research Institute, Aarhus University, Denmark

⁶ Greenland Climate Research Centre (GCRC), Greenland Institute of Natural Resources, Nuuk, Greenland

⁷ Florida Sea Grant, University of Florida, USA

⁸ Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, China

⁹ Laboratory of Aquatic Ecology and Evolutionary Biology, University of Leuven, Belgium

¹⁰ Institute of Marine Sciences, University of North Carolina at Chapel Hill, Morehead City, NC, USA

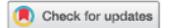
* Corresponding author: email brmoss@liverpool.ac.uk

Received 17 September 2010; accepted 10 May 2011; published 20 June 2011



Eutrofización: factores y procesos claves

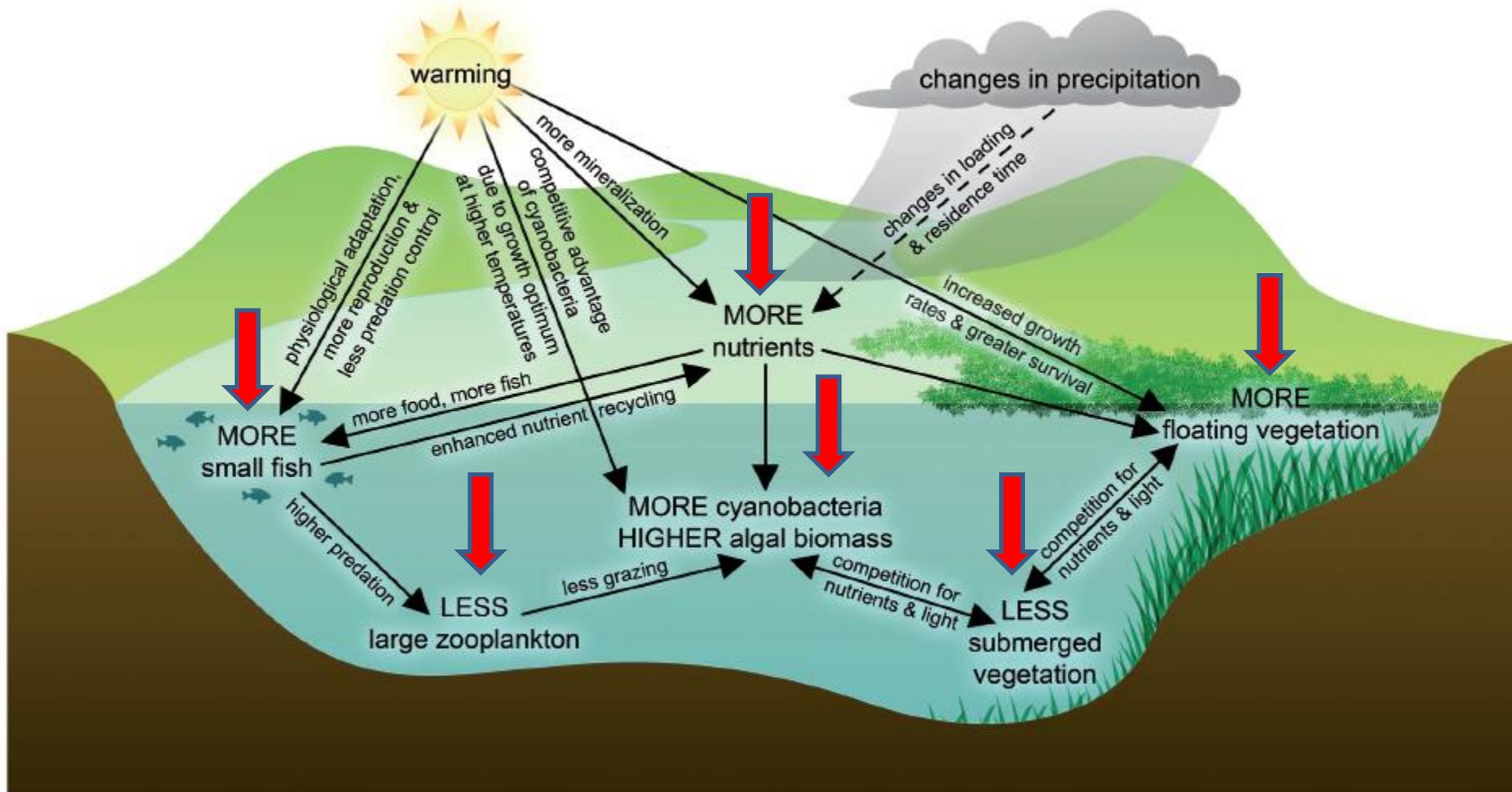
INLAND WATERS
<https://doi.org/10.1080/20442041.2022.2029317>



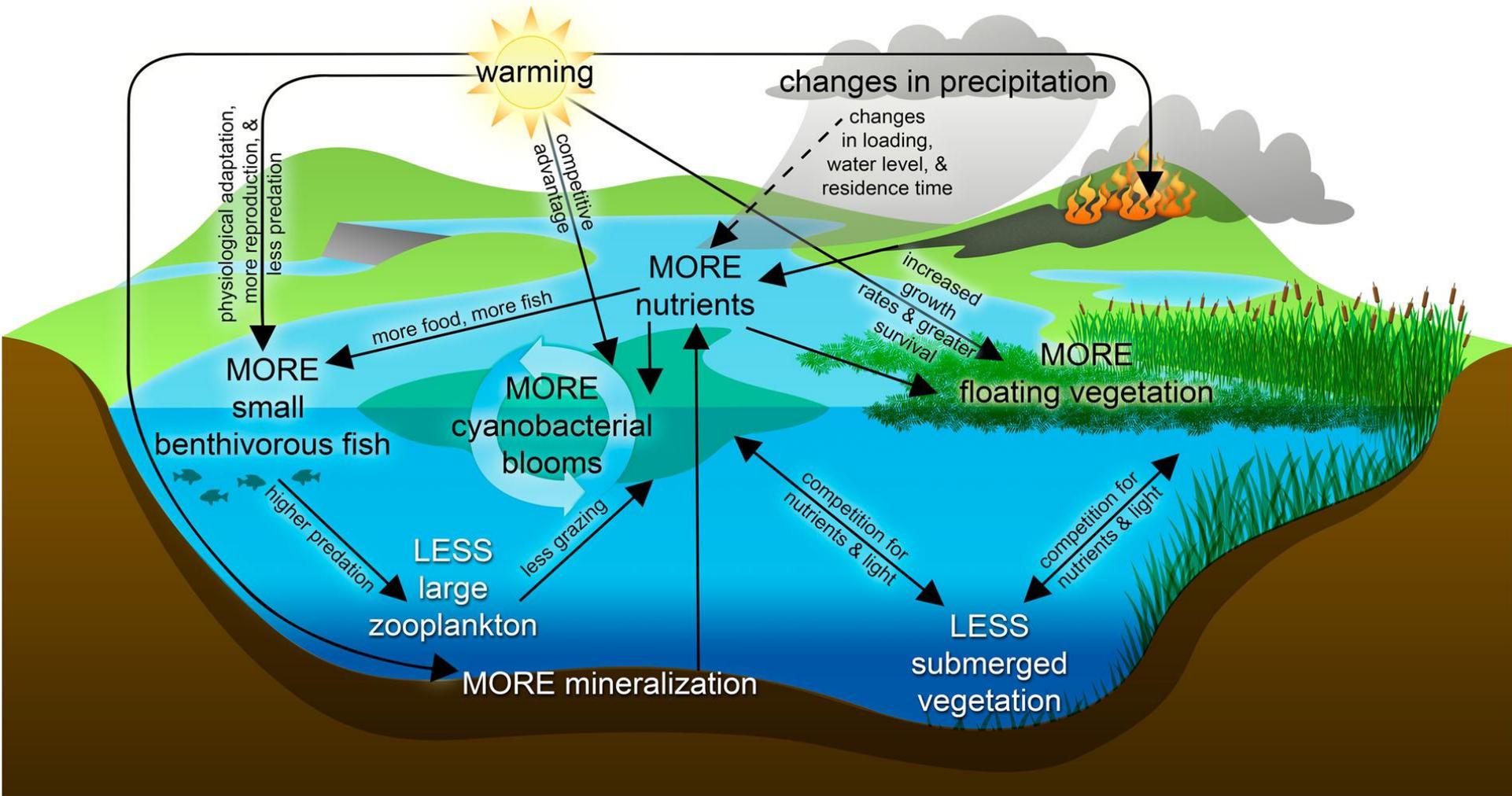
Feedback between climate change and eutrophication: revisiting the allied attack concept and how to strike back

Mariana Meerhoff ^{a,b} Joachim Audet ^b Thomas A. Davidson ^b Luc De Meester ^{c,d,e,f} Sabine Hilt ^c
Sarian Kosten ^g Zhengwen Liu, ^{h,i,j} Néstor Mazzeo ^{a,k} Hans Paerl ^l Marten Scheffer ^m and
Erik Jeppesen ^{b,h,n,o}

Eutrofización: factores y procesos claves



Eutrofización: factores y procesos claves



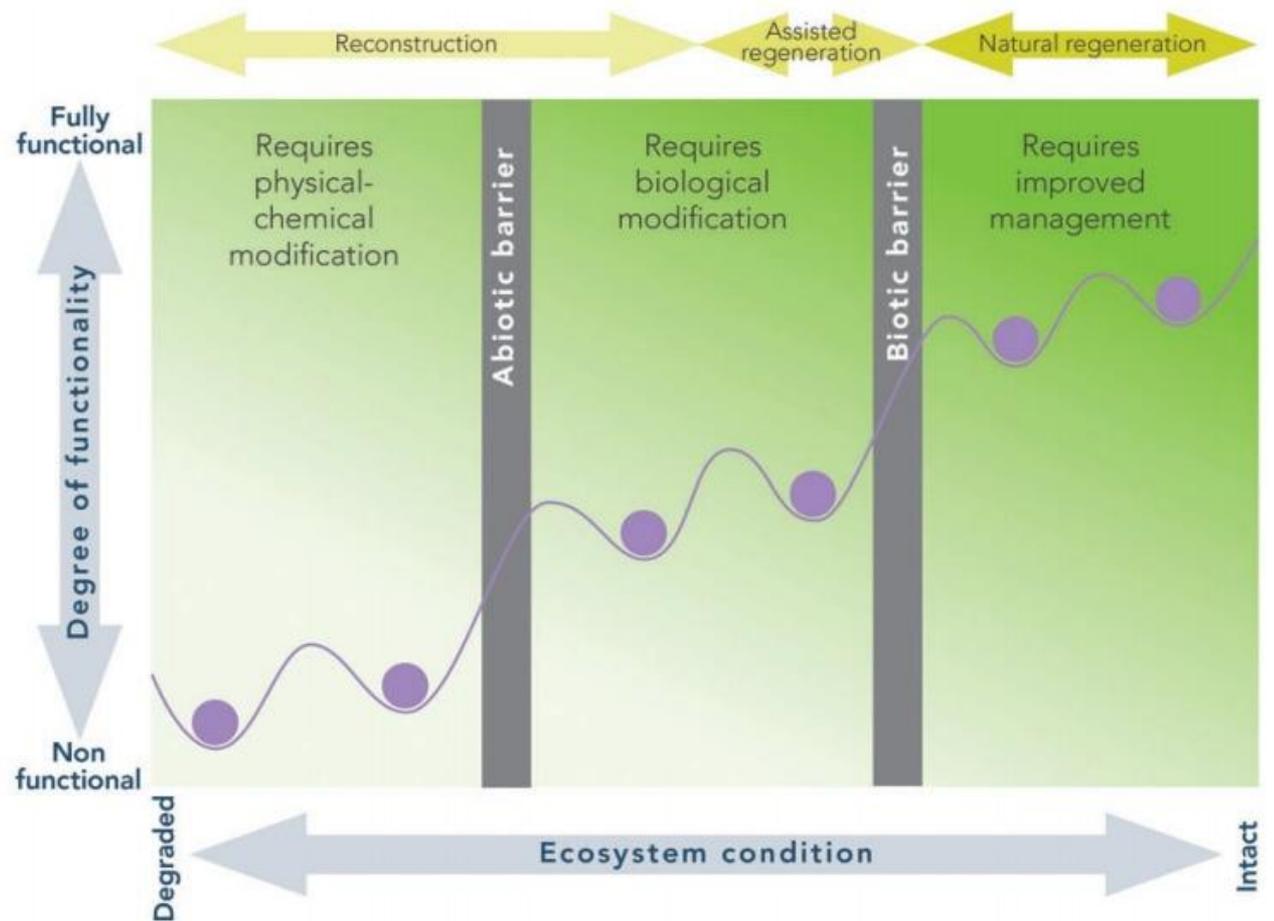


Estrategias de rehabilitación

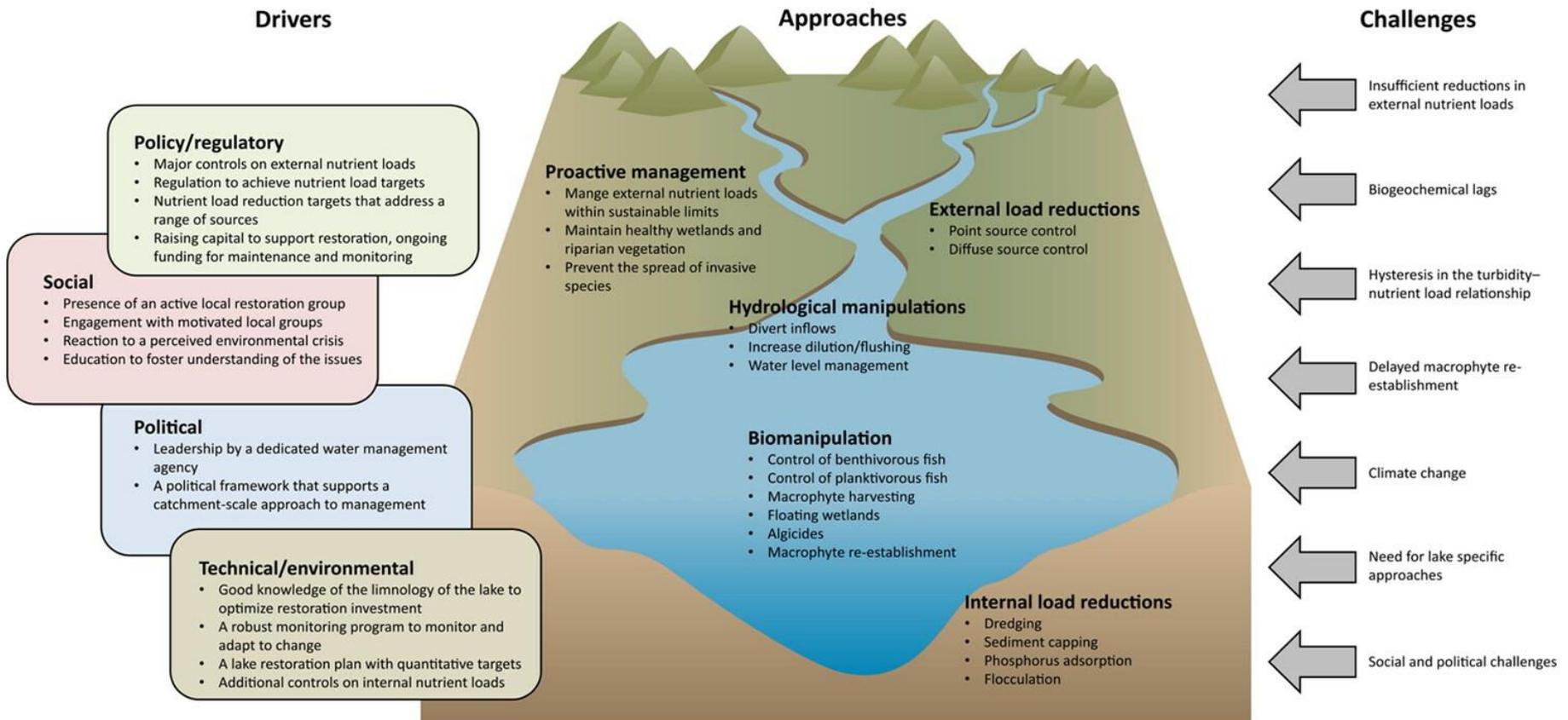
- Las estrategias de rehabilitación de los cuerpos de agua eutróficos se pueden incluir en cuatro grandes categorías:
- Control de la carga externa
- Control de la carga interna
- Alguicidas
- Biomanipulación



Aproximaciones del sistema considerado



<https://www.integratesustainability.com.au/>



Jonathan M. Abell, Deniz Özkundakci, David P. Hamilton & Paula Reeves (2022) Restoring shallow lakes impaired by eutrophication: Approaches, outcomes, and challenges, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52:7, 1199-1246, DOI: [10.1080/10643389.2020.1854564](https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1854564)



Control de la carga externa de nutrientes

- En el caso de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales es necesario la instalación de sistemas de tratamientos primarios, secundarios y terciarios
- En otras palabras, es necesario reducir el aporte de materia orgánica como los nutrientes que resultan de su descomposición



Control de la carga externa de nutrientes

- La descomposición de la materia orgánica se realiza en infraestructura gris o en lagunas de estabilización donde ocurren procesos de degradación aeróbicos y anaeróbicos
- El fósforo generalmente se remueve mediante el acomplejamiento con sulfato de aluminio ($\text{Al}(\text{SO}_4)_2$) o cloruro férrico (FeCl_3)



Control de la carga externa de nutrientes

- Contamos con una considerable base de conocimiento sobre los bienes y servicios provistos por los humedales naturales
- Además disponemos de un importante desarrollo en la implementación de humedales artificiales para reducir el aporte externo de nutrientes
- Estos sistemas artificiales cumplen las funciones de las plantas de tratamientos primarios, secundarios y terciarios



Control de la carga externa de nutrientes

- El gran desafío es el control del aporte difuso de nutrientes por los agroecosistemas, esto requiere importantes transformaciones en prácticas productivas, particularmente el manejo de los insumos externos
- A diferencia de los aportes puntuales, los aportes difusos involucran un conjunto enorme y diversos de actores en un territorio con múltiples intereses y motivaciones



Control de la carga interna de nutrientes

- Remoción del sedimento
- Remoción previo vaciado
- Remoción sin vaciado. Húmeda o seca
- Dilución y lavado
- Aislamiento físico del sedimento
- Aislamiento químico del sedimento:
 - A) Oxigenación del sedimento.
 - B) Método Riplox de oxidación
 - C) AComplejantes del fósforo

Control de la carga interna de nutrientes

- Existen diversos métodos de remoción del sedimento del lago
- El principal problema es la localización de un lugar adecuado para el depósito del material
- Estos mecanismos son altamente efectivos, sin embargo ocurren una serie de impactos negativos en el agua (aumento de la turbidez y disminución de la concentración de oxígeno, entre otros) y en las áreas circundantes
- Algunos de ellos tienen corta duración y pueden ser minimizados con un plan adecuado



<https://www.texaslakeandpondsupplies.com/>

Control de la carga interna de nutrientes



<https://bippermedia.com/>

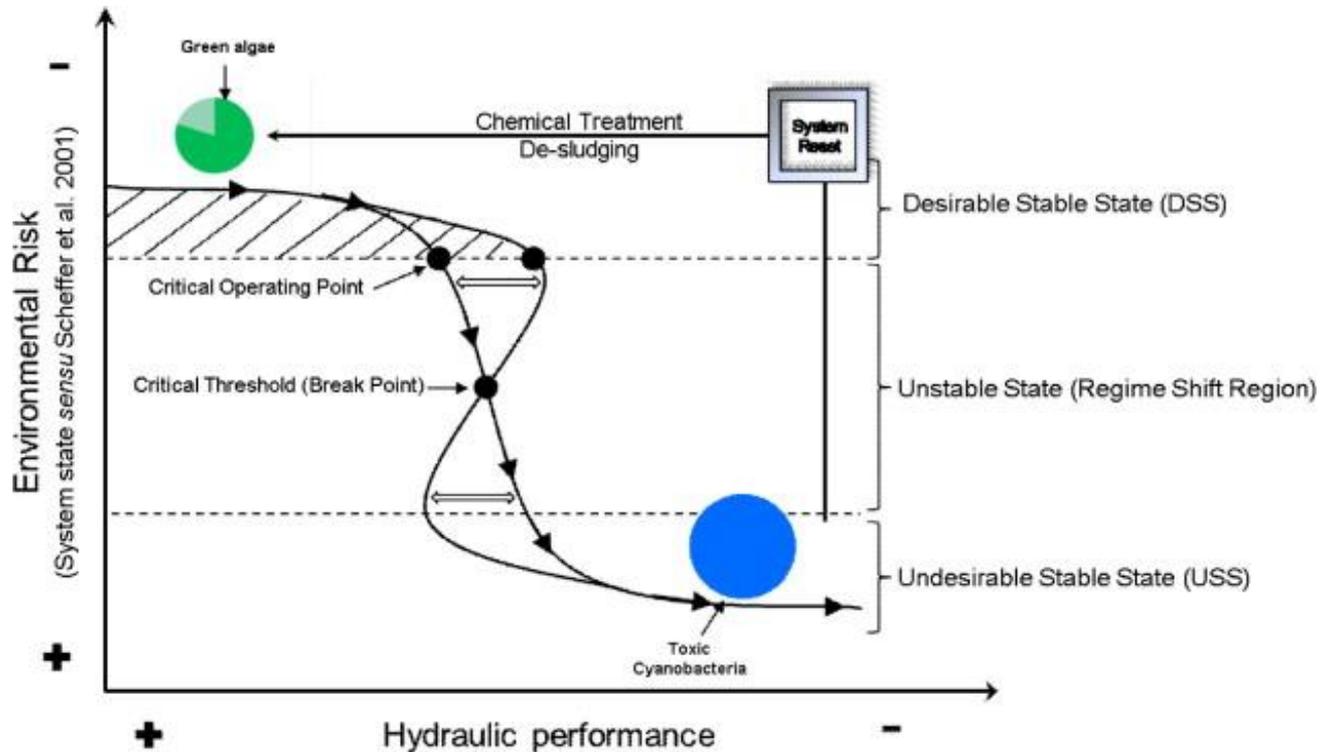
- Existen dos formas de remoción del sedimento sin vaciar el lago: dragado húmedo y seco
- El primero de los métodos se realiza mediante succión del sedimento desde el fondo y posterior deposición en una balsa flotante. El sedimento se deposita rápidamente, mientras que el agua sobrante escurre directamente al lago



Control de la carga interna de nutrientes

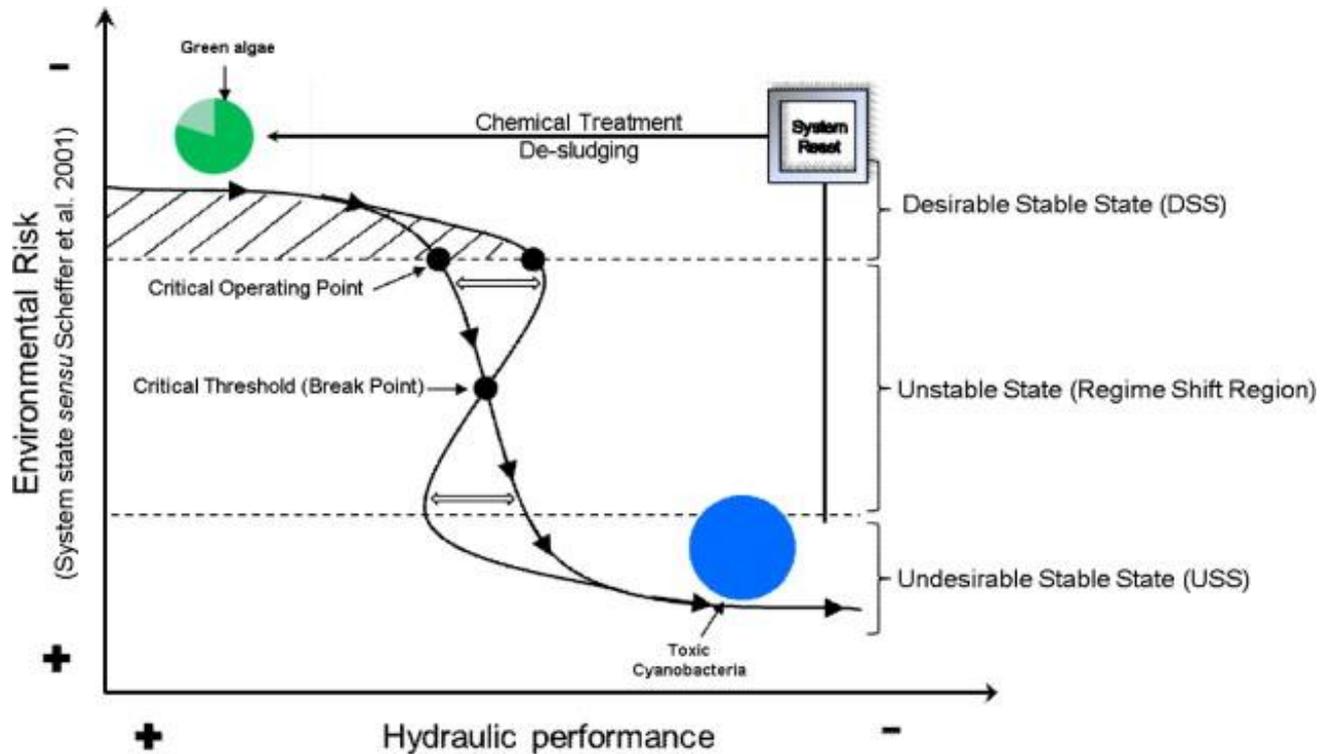
- Remoción previo vaciado
Este procedimiento requiere el vaciado del lago y la utilización de maquinaria pesada para la extracción del sedimento

<https://www.solitudelakemanagement.com/>



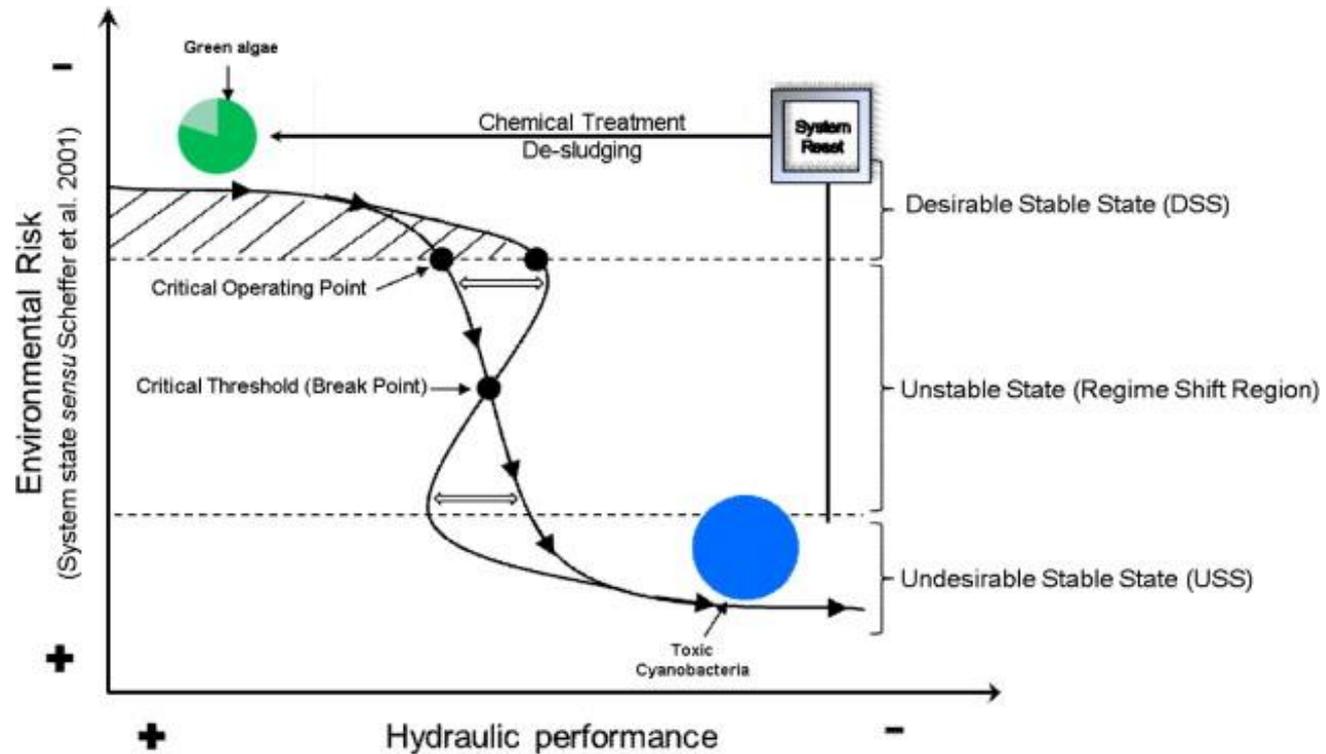
Control de la carga interna de nutrientes

- A través del manejo de las entradas de agua y salidas del agua , es posible variar el tiempo de residencia del lago, lo cual representa una medida efectiva para el “lavado” o exportación de microalgas del sistema y reducir el impacto de liberación de nutrientes desde el sedimento.



Control de la carga interna de nutrientes

- Sin embargo, la renovación tiene que ser equivalente al 10 o 15 % del volumen del lago por día para ser efectiva. En algunos casos, la disminución del tiempo de residencia se puede llevar a cabo disminuyendo o no la concentración de nutrientes al mismo tiempo



Control de la carga interna de nutrientes

- En algunos casos es necesario contar con una fuente de agua pobre en nutrientes que provoque un efecto de dilución de las concentraciones actuales



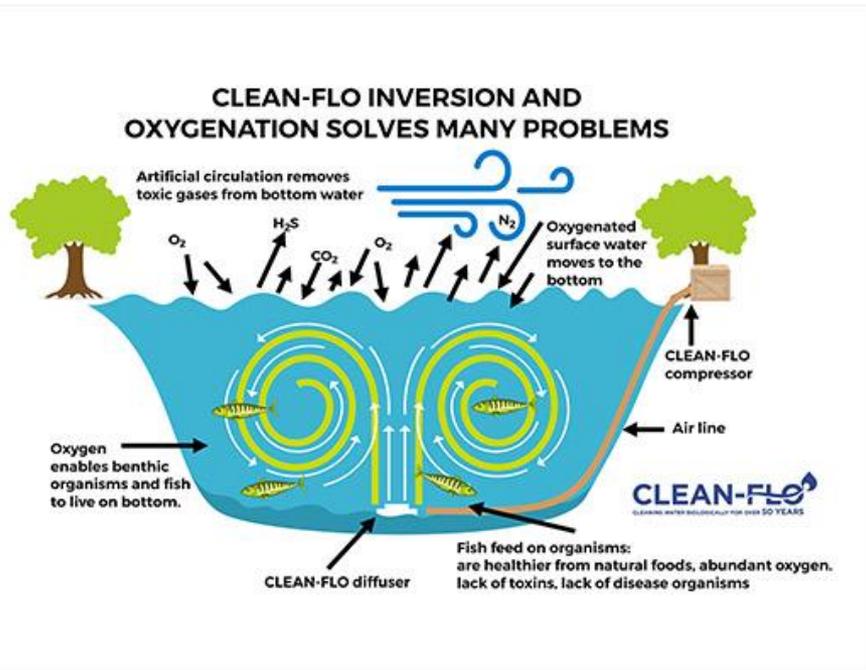
Control de la carga interna de nutrientes

- **Aislamiento físico del sedimento.** En lagos pequeños se han desarrollado diferentes estrategias para cubrir el fondo con sedimentos externos pobres en nutrientes (por ej. arena) o con materiales plásticos aislantes

<https://www.waterproofmag.com/>

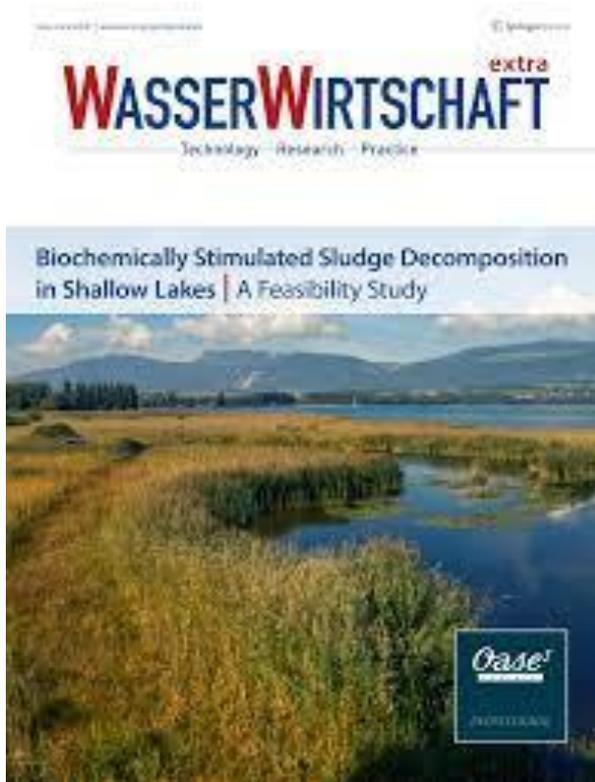
Control de la carga interna de nutrientes

- La oxigenación del sedimento permite la descomposición de la materia orgánica acumulada
- En presencia de oxígeno la mayoría de los compuestos que contienen fósforo son insolubles
- Es un método muy efectivo para el aislamiento químico del sedimento
- En lagos profundos la oxigenación del sedimento se logra mediante la instalación de equipos de circulación de agua que previenen los procesos de estratificación



<https://www.clean-flo.com/lake-restoration/>

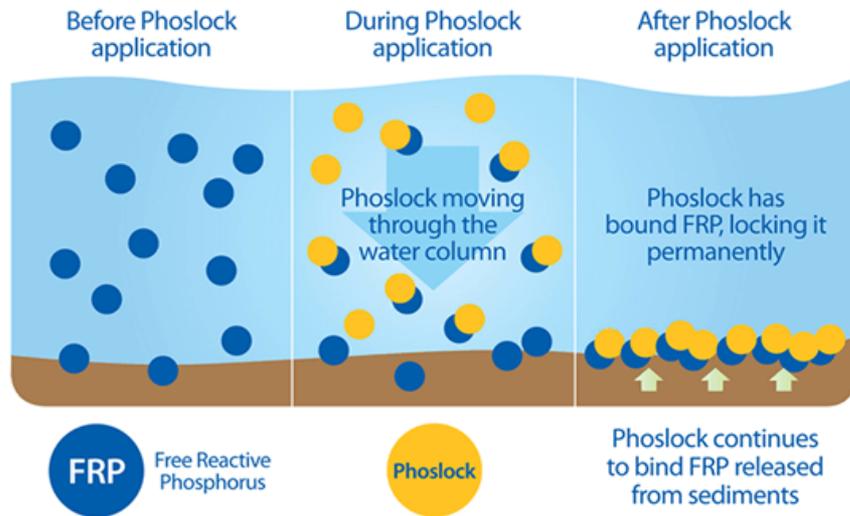
Control de la carga interna de nutrientes



<https://www.oase-professional.com/>

- Método Riplox: oxidación de la superficie del sedimento, provocando que el fosfato precipite en complejos metálicos
- Se bombea directamente en el sedimento $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y FeCl_3 , lo que provoca el incremento de la concentración de oxígeno y hierro, aumentando la retención del fósforo
- El pH es estabilizado con la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en un rango cercano a la neutralidad, en estas condiciones las bacterias denitrificadores provocan el pasaje de nitrato a nitrógeno gaseoso

Control de la carga interna de nutrientes



- Phoslock: acomplejamiento de fósforo mediante arcillas (bentónita) modificada con lantano
- El acomplejamiento con el fósforo es irreversible e independiente de las condiciones de oxido-reducción

<https://www.sepro.com/aquatics/phoslock>

Control de la carga interna de nutrientes

Aquat Ecol (2016) 50:385–405
DOI 10.1007/s10452-016-9575-2



Guiding principles for the development and application of solid-phase phosphorus adsorbents for freshwater ecosystems

G. B. Douglas · D. P. Hamilton · M. S. Robb ·
G. Pan · B. M. Spears · M. Lurling

Otros métodos de control de floraciones de cianobacterias

Aquat Ecol (2016) 50:499–519
DOI 10.1007/s10452-015-9563-y

Evaluation of several end-of-pipe measures proposed to control cyanobacteria

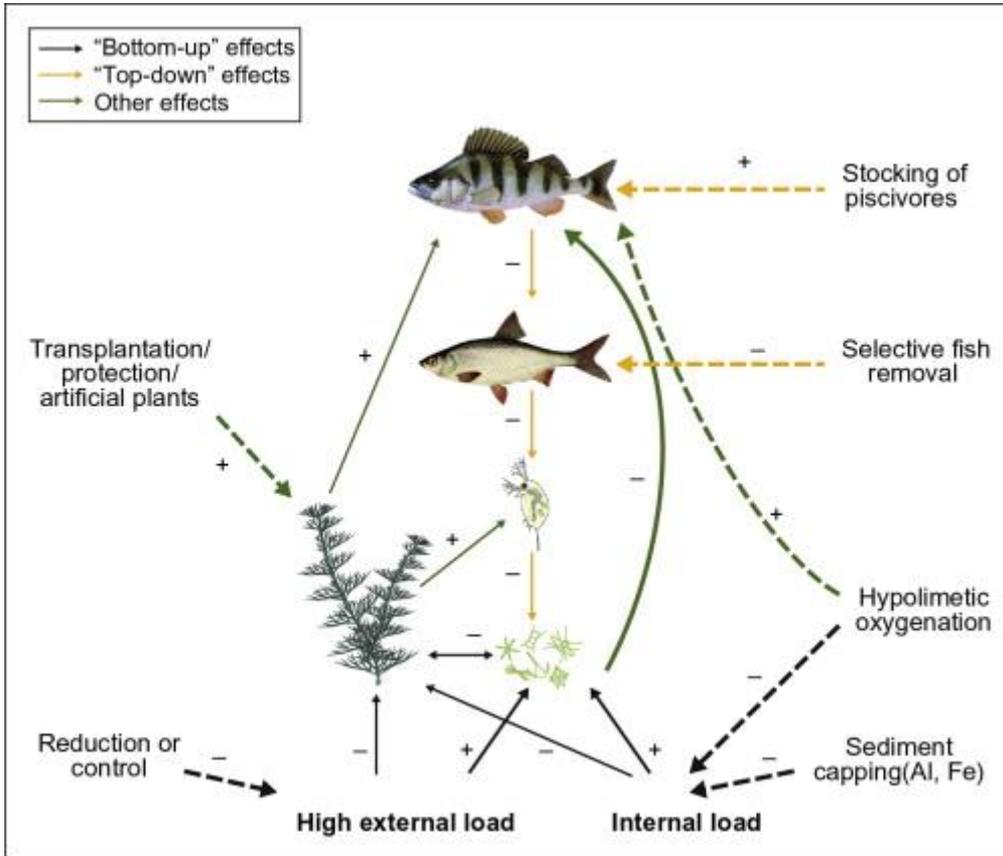
Miquel Lürling · Guido Waajen ·
Lisette N. de Senerpont Domis

Authors provide a critical overview of several of these end-of-pipe measures: effective microorganisms (EM), golden algae (Ochromonas), plant/tree extracts, ultrasound and artificial mixing of non-stratifying waters



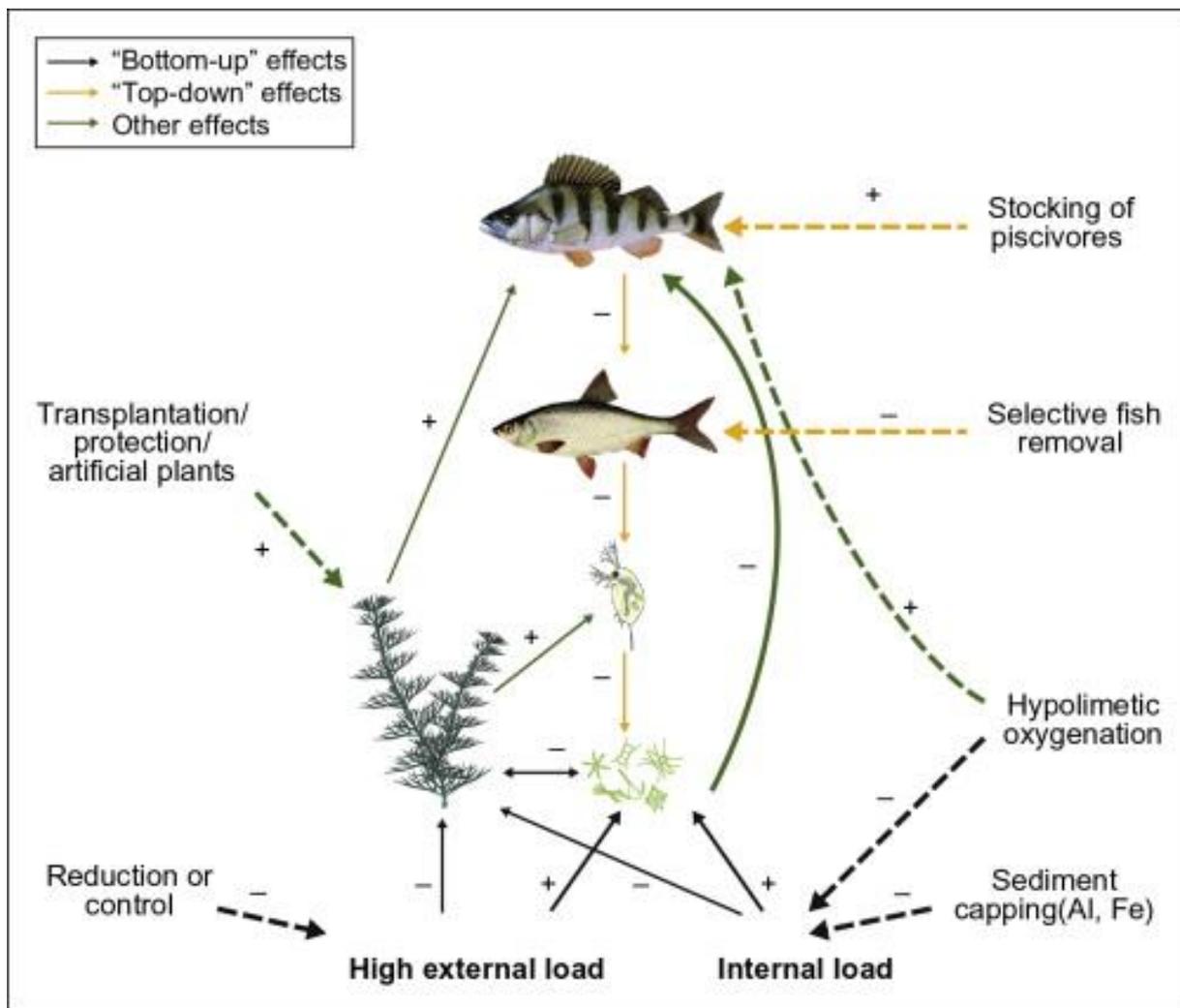
Otros métodos de control de floraciones de cianobacterias

- La utilización de agentes oxidantes (peróxido de hidrógeno, ozono) presenta buenos antecedentes a nivel de ecosistemas
- Sin embargo, estos métodos resultan eficientes en la fase inicial de desarrollo de la floración, por lo que requiere sistemas muy robustos de monitoreo de calidad del agua



Biomanipulación

- El término fue acuñado por Shapiro et al. (1975) para designar manejos de la biota para alcanzar un objetivo deseable para los humanos.
- En general se ha aplicado para la reducción de la biomasa algal en lagos eutróficos. Estas técnicas procuran reducir la abundancia de los peces zooplanctívoros y/o agregar peces piscívoros.



2012. Jeppesen E, Søndergaard M, Lauridsen TL, Davidson TA, Liu Z, Mazzeo N, Trochine C, Ozkan K, Jensen HS, Trolle D, Landkildehus F, Starling F, Larsen SE, Lazzaro X & Meerhoff M. Biomanipulation as a restoration tool to combat eutrophication - recent advances and future. *Advances in Ecological Research* 47: 411-488.

Stable isotope analysis confirms substantial differences between subtropical and temperate shallow lake food webs

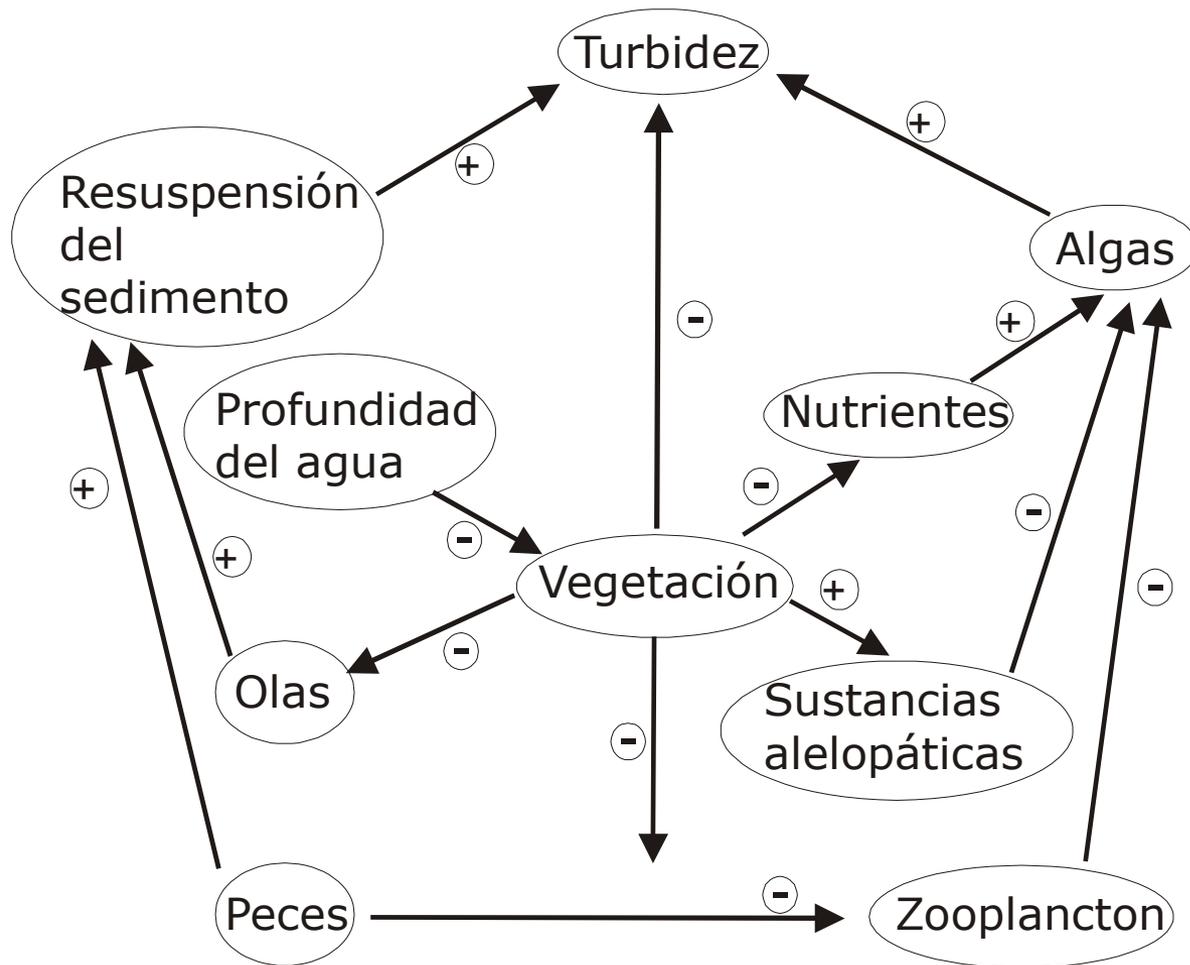
Carlos Iglesias  · Mariana Meerhoff · Liselotte S. Johansson ·
Ivan González-Bergonzoni · Néstor Mazzeo · Juan Pablo Pacheco ·
Franco Teixeira-de Mello · Guillermo Goyenola · Torben L. Lauridsen ·
Martin Søndergaard · Thomas A. Davidson · Erik Jeppesen

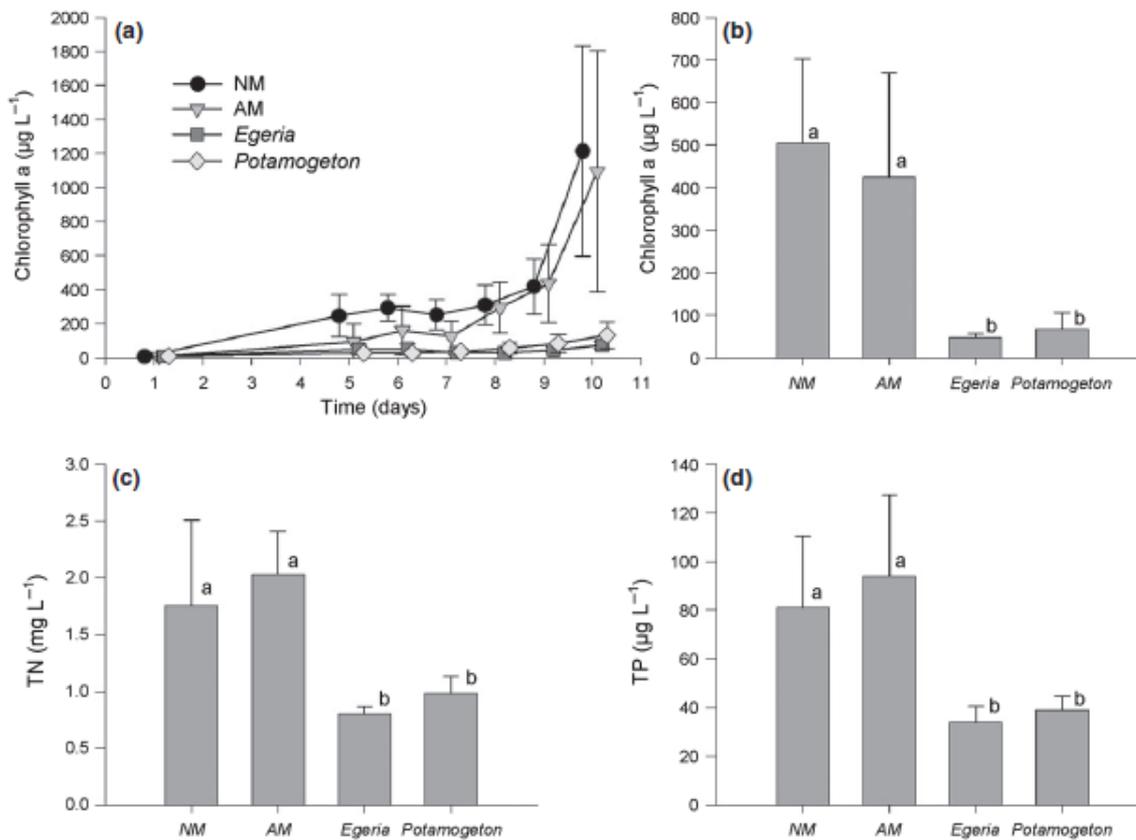


<https://www.sepro.com/aquatics/phoslock>

Bio-manipulación

- El término puede ser aplicado para la manipulación de otros componentes de la trama trófica, por ejemplo, plantas acuáticas o bivalvos



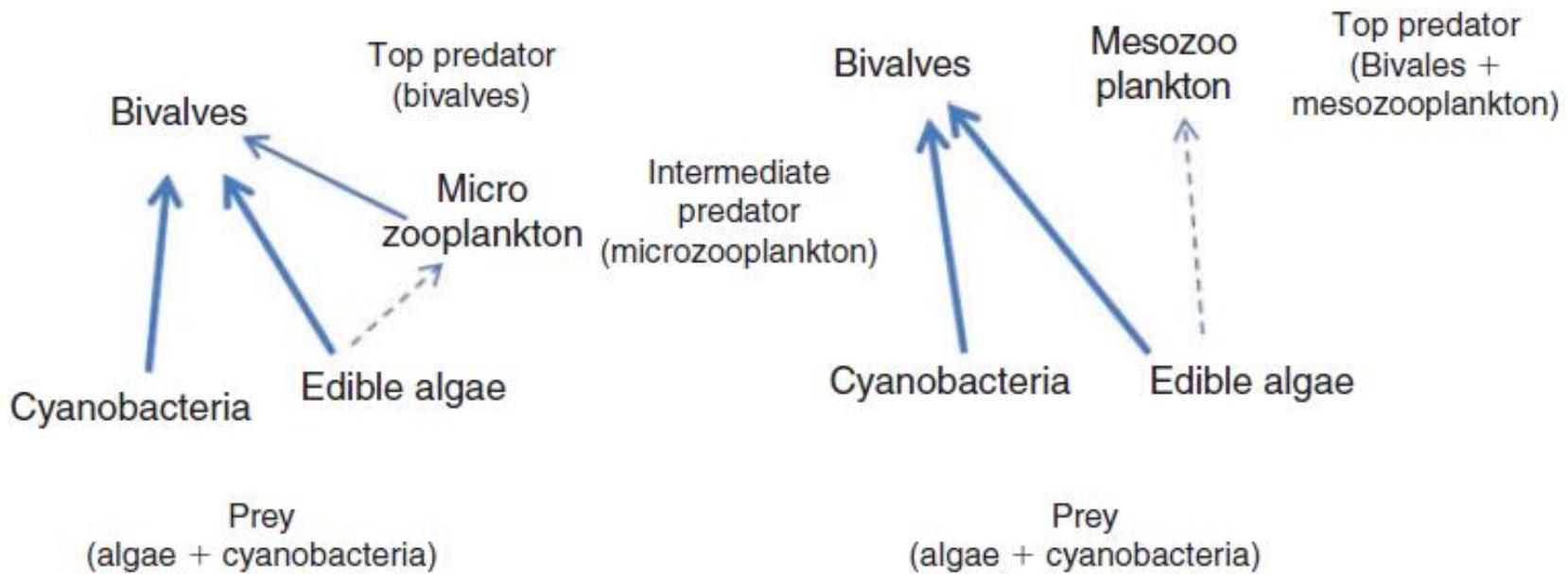


Freshwater Biology (2011)

doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02624.x

Biological control of phytoplankton by the subtropical submerged macrophytes *Egeria densa* and *Potamogeton illinoensis*: a mesocosm study

MAARTEN VANDERSTUKKEN*, NÉSTOR MAZZEO[†], WILLEM VAN COLEN*, STEVEN A. J. DECLERCK^{†§} AND KOENRAAD MUYLEAERT*



CSIRO PUBLISHING

Marine and Freshwater Research
<http://dx.doi.org/10.1071/MF15454>

Interactions between bivalves and zooplankton: competition or intraguild predation? Implications for biomanipulation in subtropical shallow lakes

Soledad Marroni^A, Néstor Mazzeo^A, Juan Pablo Pacheco^A,
 Juan Clemente^A and Carlos Iglesias^{A,B}

AREA	> 1 km ²				< 1 km ²			
	SI		NO		SI		NO	
TIEMPO DE RETENCION (años)	>5	<5	>5	<5	>5	<5	>5	<5
METODOS MECANICOS								
REMOCION DEL SEDIMENTO	-	-	-	-	+	+	+	+
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS PROFUNDAS	?	+	-	-	?	+	-	-
DESESTRATIFICACION	+	+	-	-	+	+	-	-
METODOS QUIMICOS								
PRECIPITACION DE FOSFORO	+	?	+	?	+	?	+	?
TRATAMIENTO DEL SEDIMENTO CON NITRATO	-	-	-	-	+	?	+	?
AERIACION DE LAS AGUAS PROFUNDAS	+	+	-	-	+	+	-	-
BIOMANIPULACION								
CONTROL DE PECES PLANCTIVOROS	+	+	+	+	+	+	+	+



MANEJO, REHABILITACION Y RESTAURACIÓN DE SISTEMAS ACUÁTICOS