



LIMNOLOGÍA 2025

Docentes: M.Sc. Florencia Balay, M.Sc. Maite Burwood, Lic. Claudia Fosalba, Lic. Lucía González-Madina, Lic. Bruno Gorostidi, Lic. Paula Levrini y Dr. Néstor Mazzeo



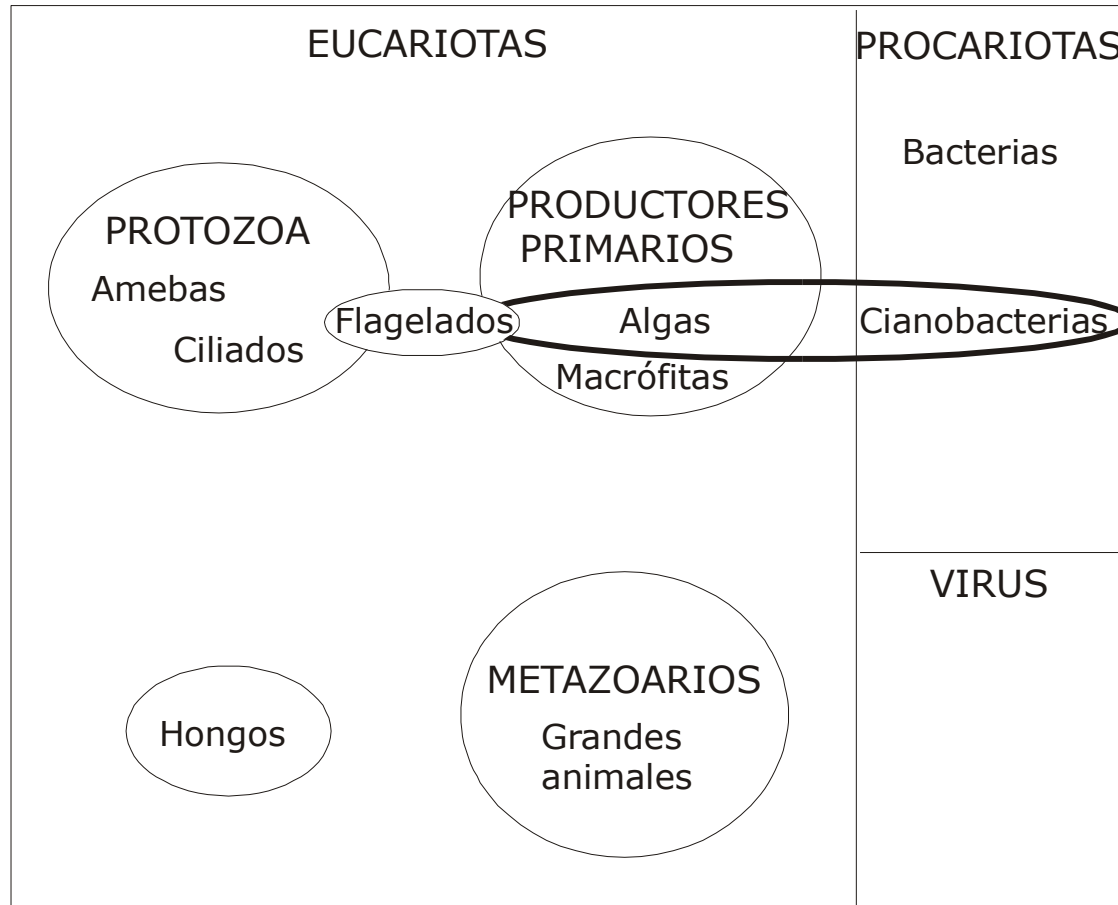
SISTEMAS LÉNTICOS: COMPONENTES BIOTICOS Y PRODUCTORES PRIMARIOS

Dr. Néstor Mazzeo



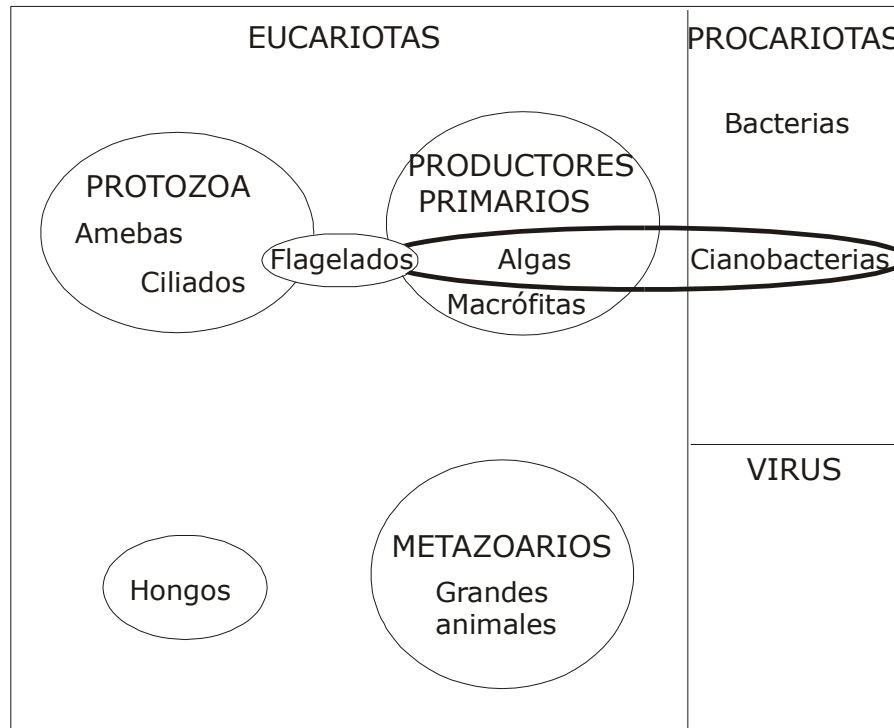
CONTENIDO

- Componentes bióticos
- Principales grupos de productores primarios
- Principales controles ambientales de la abundancia y producción primaria

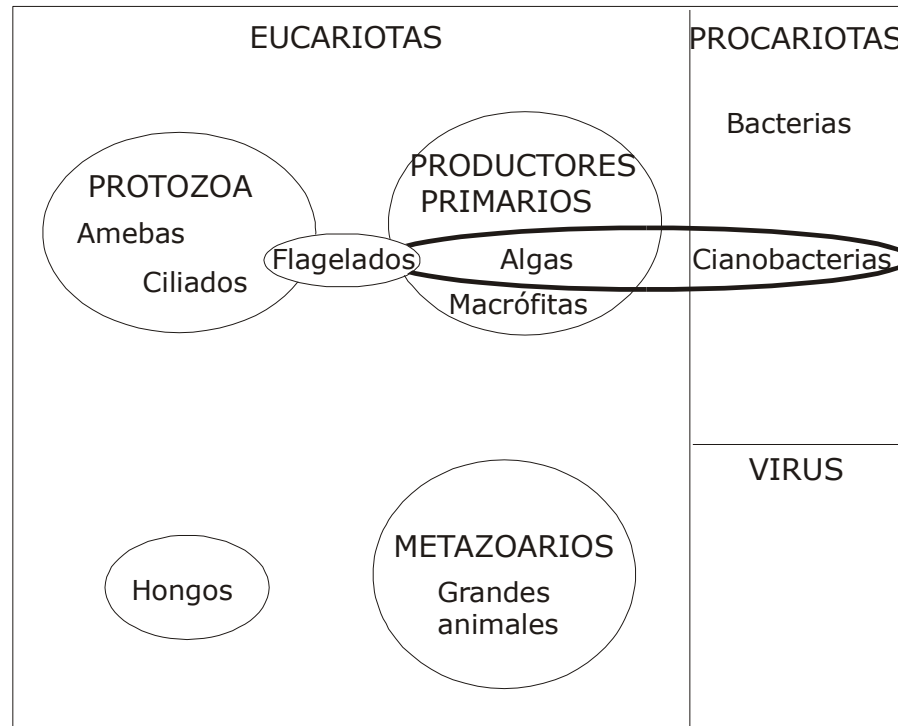




- Los esquemas de clasificación han sido creados por razones prácticas, por lo tanto puede existir sobreposición o algunos organismos pueden ser difíciles de clasificar

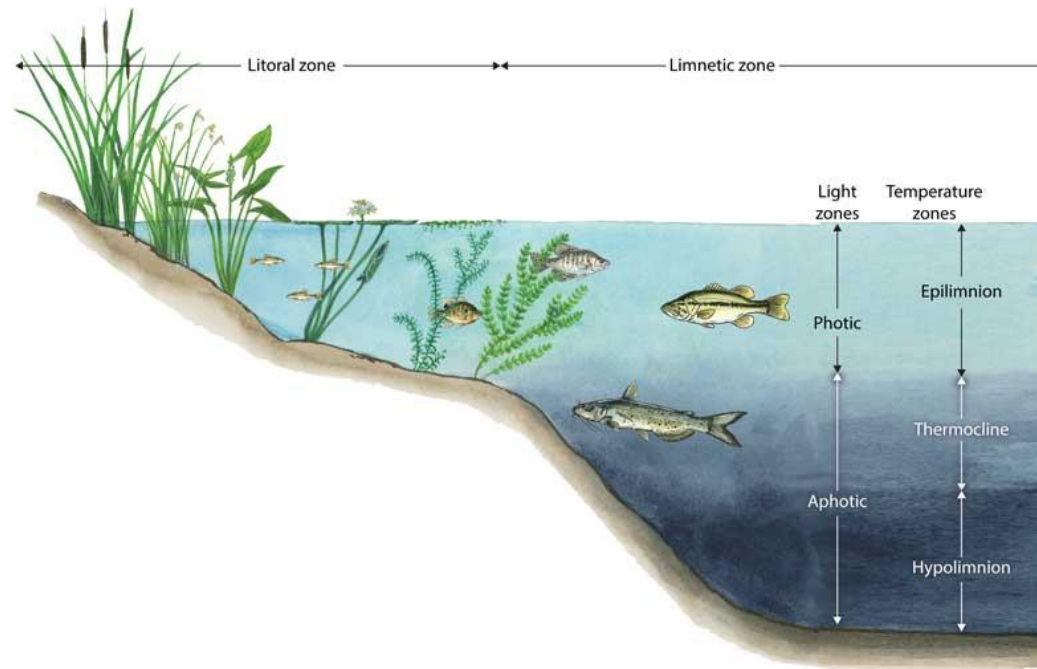


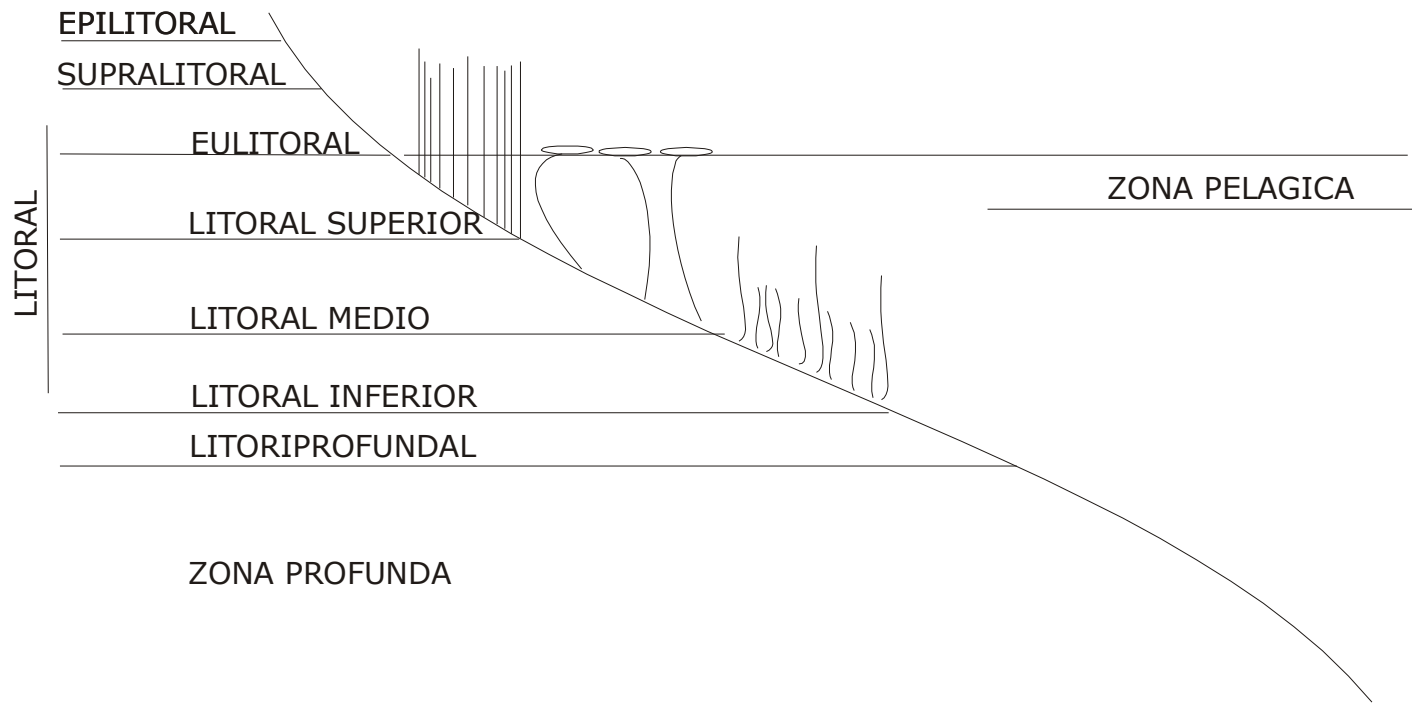
- Por ejemplo los atributos de procariotas y eucariotas nos separan un grupo de pequeños productores primarios (fitoplancton)



- De forma similar, los flagelados son heterotróficos y autotróficos, compartiendo características funcionales de los protozoarios y productores primarios. Ejemplo tomado de Brönmark & Hansson (1998)

- Además de la categorización taxonómica, los animales de agua dulce son divididos en diferentes grupos en función de aspectos ecológicos (por ej. filtradores, depredadores, planctónicos y bentónicos) o por su tamaño. Por ejemplo, los invertebrados bentónicos son divididos en macroinvertebrados, meiofauna y microbentos







- El término pelágico designa la zona de aguas abiertas de lagos y océanos
- Dos comunidades se incluyen tradicionalmente en esta zona, el **plancton** y el **necton**. La distinción se basa en la capacidad de nado



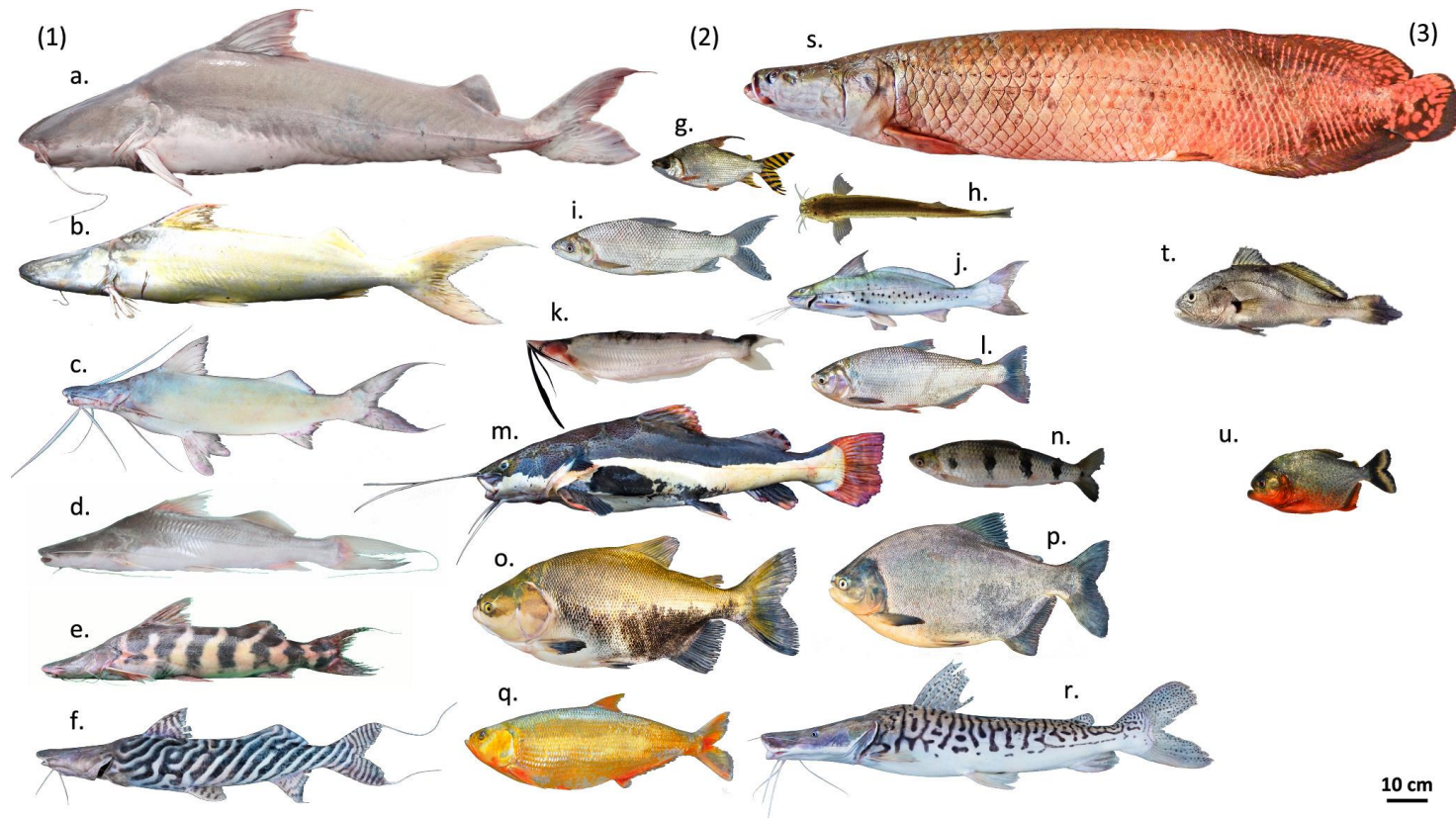
- El plancton se encuentra suspendido en el agua, mientras que los organismos nectónicos son nadadores activos
- Parte del zooplancton puede nadar activamente (por ej. zooplancton y flagelados), sin embargo no son capaces de nadar contra corriente



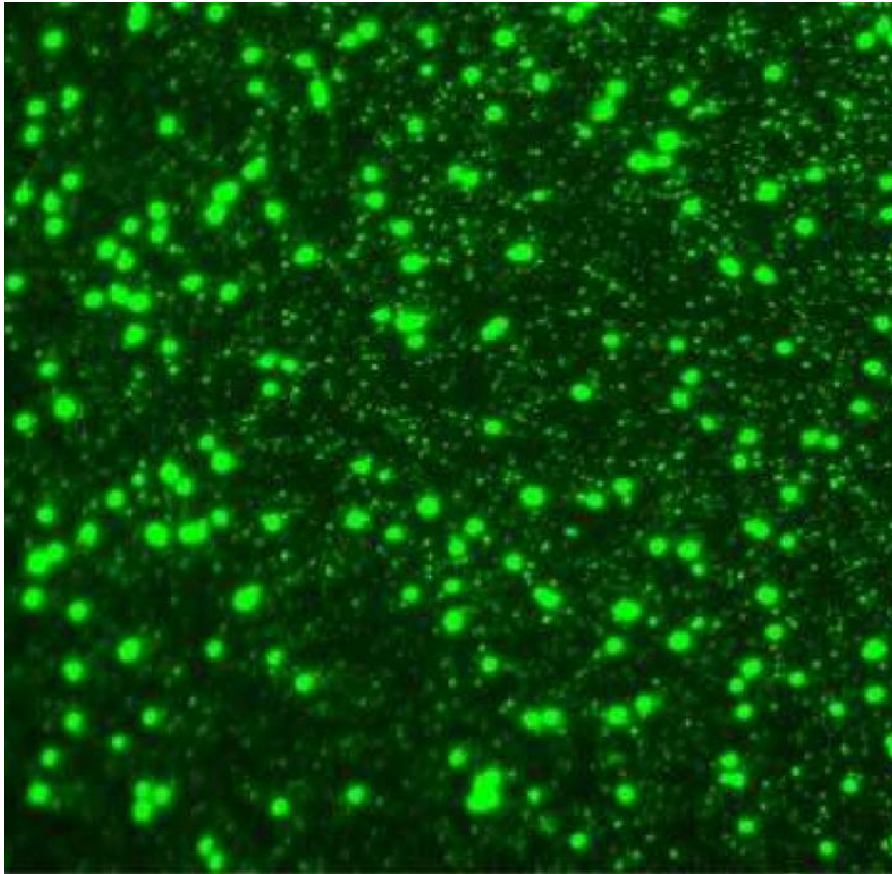
- El **fitoplancton** comprende a cianobacterias y algas en un rango de tamaño entre $0.5\ \mu\text{m}$ y 1mm (existen colonias más grandes de 1mm). Convencionalmente, se describen tres categorías de tamaños: picoplancton ($<2\ \mu\text{m}$), nanoplancton ($2\text{-}30\ \mu\text{m}$) y plancton de red ($>30\ \mu\text{m}$)



- El **zooplancton** incluye protozoarios (flagelados y ciliados, pocos a cientos de micrómetros), rotíferos (30 mm a 1 mm) y crustáceos (copépodos y cladóceros, 100 mm a 1 cm). En el zooplancton existen larvas de insectos (Chaoborus), larvas de bivalvos o de peces. Existen varios niveles tróficos, herbívoros, bacteriofagos y zooplanctívoros

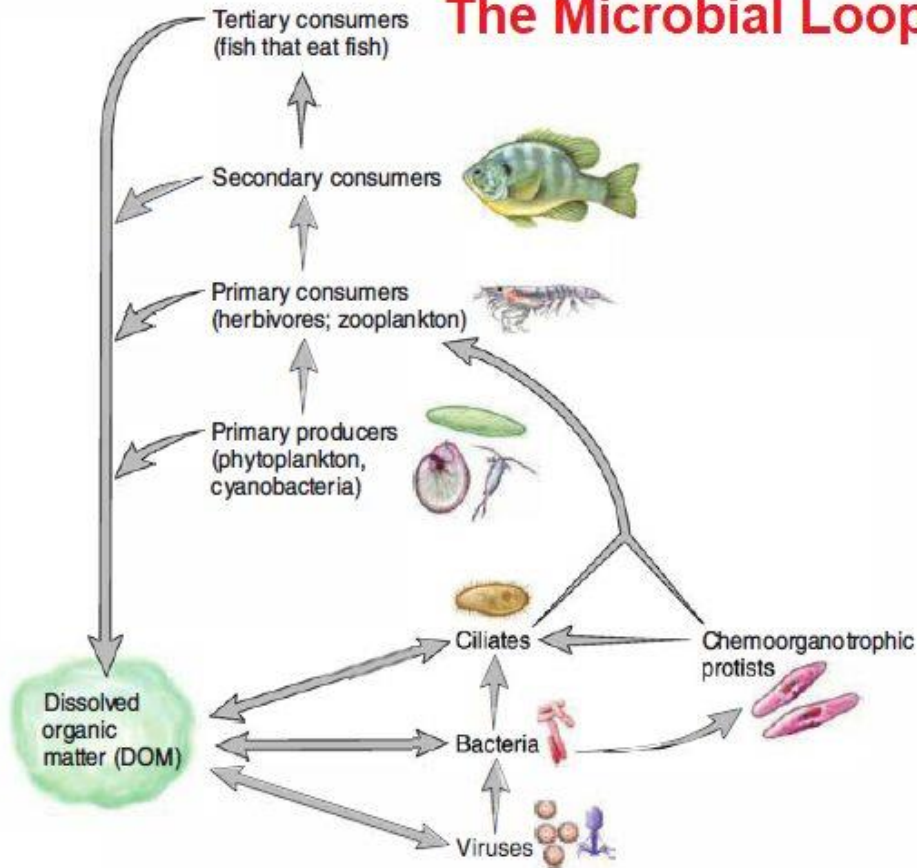


- El **necton** incluye peces fundamentalmente y en ocasiones camarones



- El **bacterioplancton** presentan una gran diversidad de roles tróficos
- La mayoría de las bacterias son descomponedores y en menor grado productores primarios (quimioautótrofos o quimioheterótrofos)

The Microbial Loop



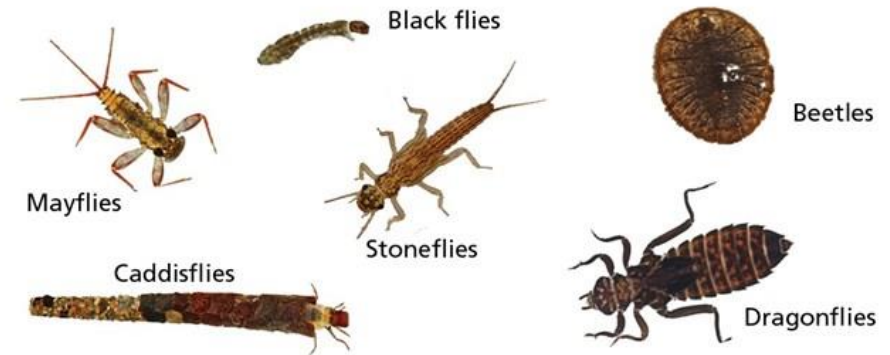
- Los hongos planctónicos son descomponedores de materia orgánica y parásitos



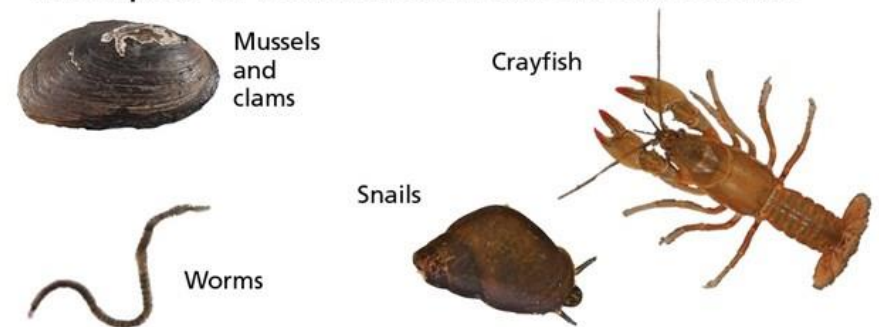
- El **neuston** comprende un conjunto de organismos (algas, bacterias y cladóceros) que viven en la interfase agua-aire

- La comunidad de organismos que vive en el sedimento de lagos y arroyos se denomina **bentos**
- La composición del sustrato tiene una influencia capital en el tipo de comunidad que se desarrolla, clasificándose en epipélica (limo-arcilla), episámica (sobre arena), epilítica (sobre rocas) y epífitas (sobre plantas sumergidas)

Examples of insect macroinvertebrate larvae

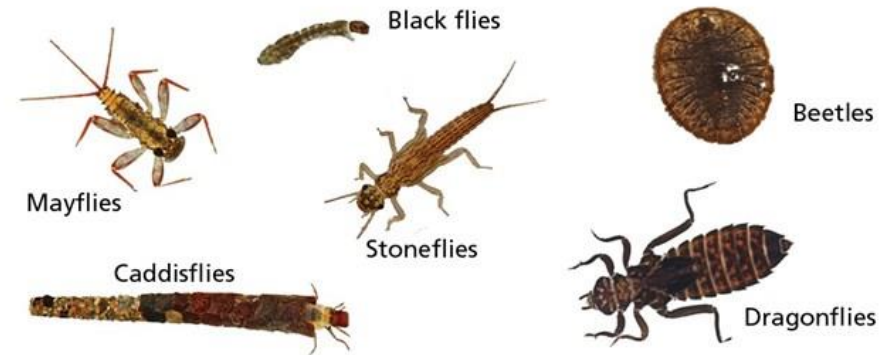


Examples of non-insect macroinvertebrates

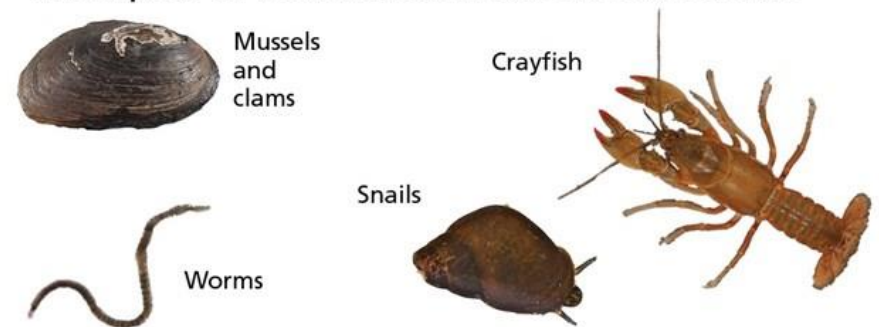


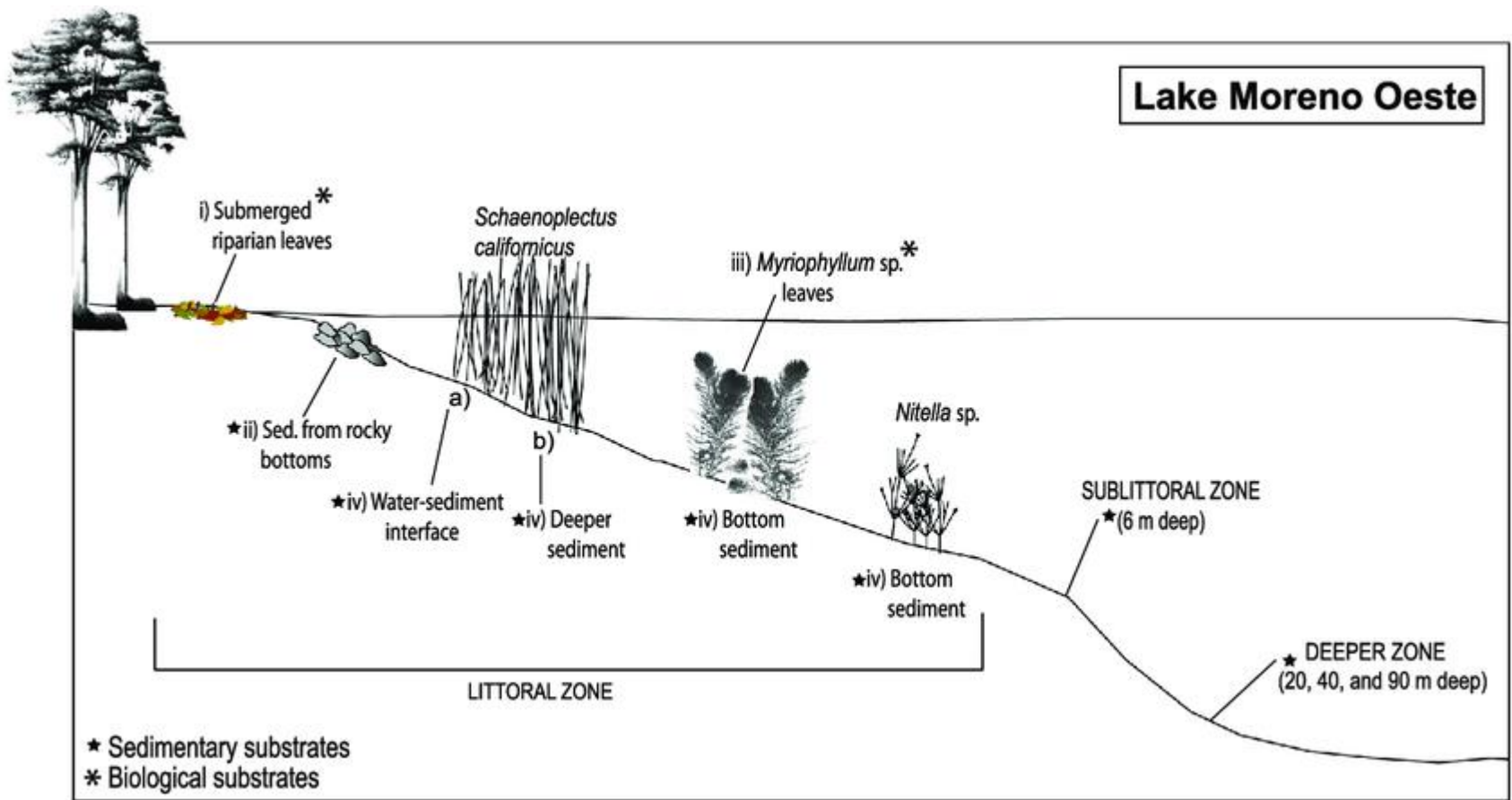
- El prefijo endo se utiliza para las comunidades análogas pero que viven dentro del sustrato
- El hábitat bentónico por encima del nivel de punto de composición se denomina litoral, la zona por debajo de esta zona recibe el nombre de zona profunda

Examples of insect macroinvertebrate larvae

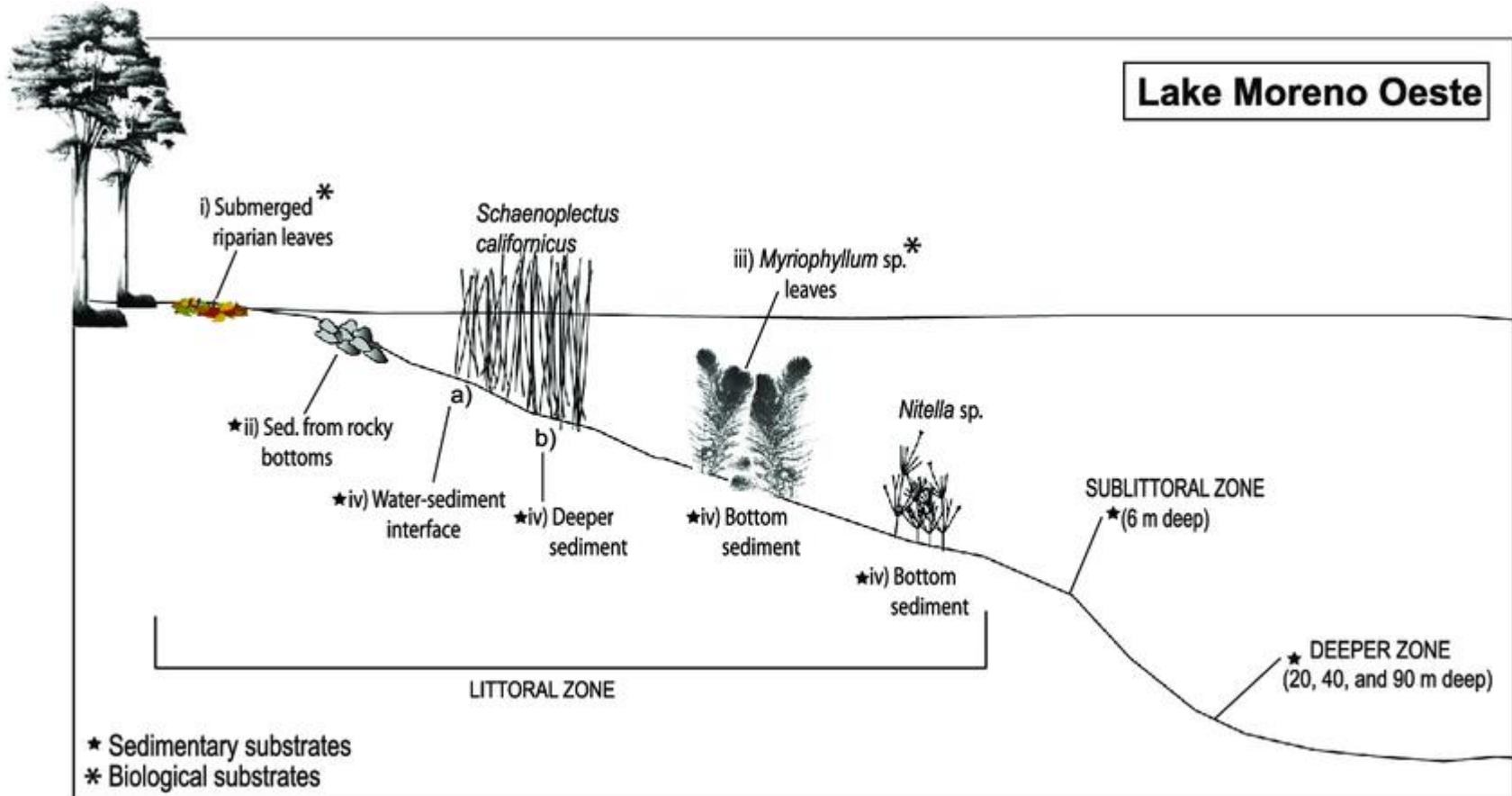


Examples of non-insect macroinvertebrates





- Los ambientes bentónico y pelágico no son compartimentos aislados, existen numerosas conexiones entre las partes



- La fauna de aguas profundas es dependiente de la producción de la zona eufótica, los consumidores primarios y secundarios pueden acelerar el transporte vertical de materia orgánica. Existen múltiples conexiones entre los ambientes pelágicos y litoral



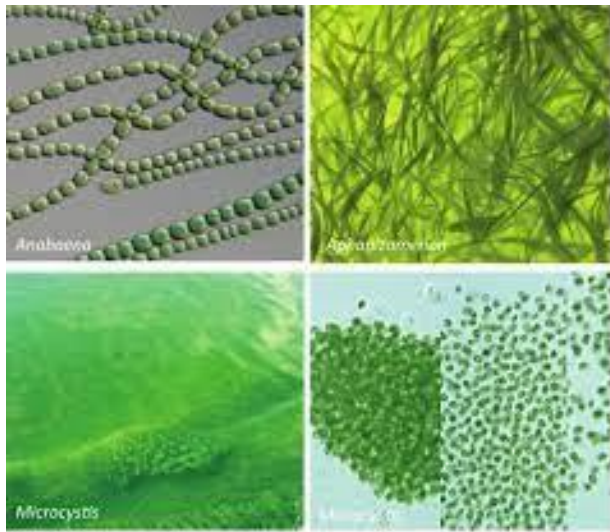
Productores primarios

- El fitoplancton comprende un grupo diverso de algas y cianobacterias (denominadas antiguamente como algas verde-azules)



Major Groups of Freshwater Phytoplankters

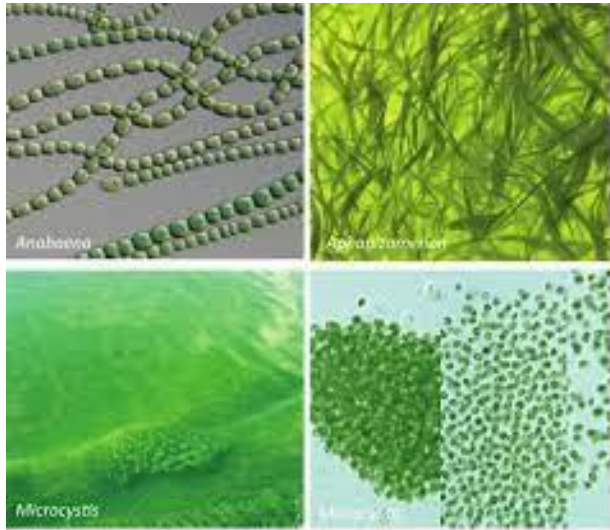
1. Blue-Green Algae- Cyanobacteria
2. Green Algae- Chlorophyta
3. Yellow-Green Algae- Xanthophyta
4. Golden-Brown Algae- Chrysophyta
5. Diatoms- Bacillariophyta
6. Haptomonads- Haptophyta
7. Cryptomonads- Cryptophyta
8. Dinoflagellates- Pyrrhophyta
9. Euglenoids- Euglenophyta



Cianobacterias

- Las cianobacterias carecen de núcleo y de otras estructuras celulares, como los cloroplastos
- Presentan un pigmento llamado ficobilina que les brinda su coloración azul

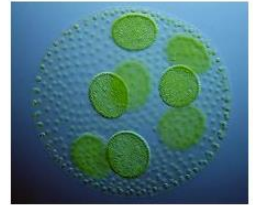
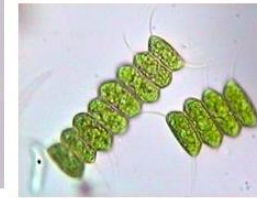
Cianobacterias



- Este grupo tiene representantes unicelulares o multicelulares en forma de colonias o filamentosas
- Algunas especies de este grupo son capaces de formar heterocistos, células con gruesas paredes donde la concentración de oxígeno es muy baja en su interior, creando las condiciones óptimas para la fijación de nitrógeno

Clorofitas

- Las algas verdes incluye a un grupo morfológicamente diverso con representantes flagelados planctónicos como Chlamydomonas, formas coloniales recubiertas de mucus (Sphaerocystis) o formas filamentosas bénticas como Spirogyra
- Presentan paredes externas de celulosa y clorofila b como uno de sus principales pigmentos



Crisofitas

- Las crisofitas reciben el nombre de algas marrones debido a la presencia de carotenoides
- La mayoría son unicelulares y cubiertas de una estructura silíceo y calcárea



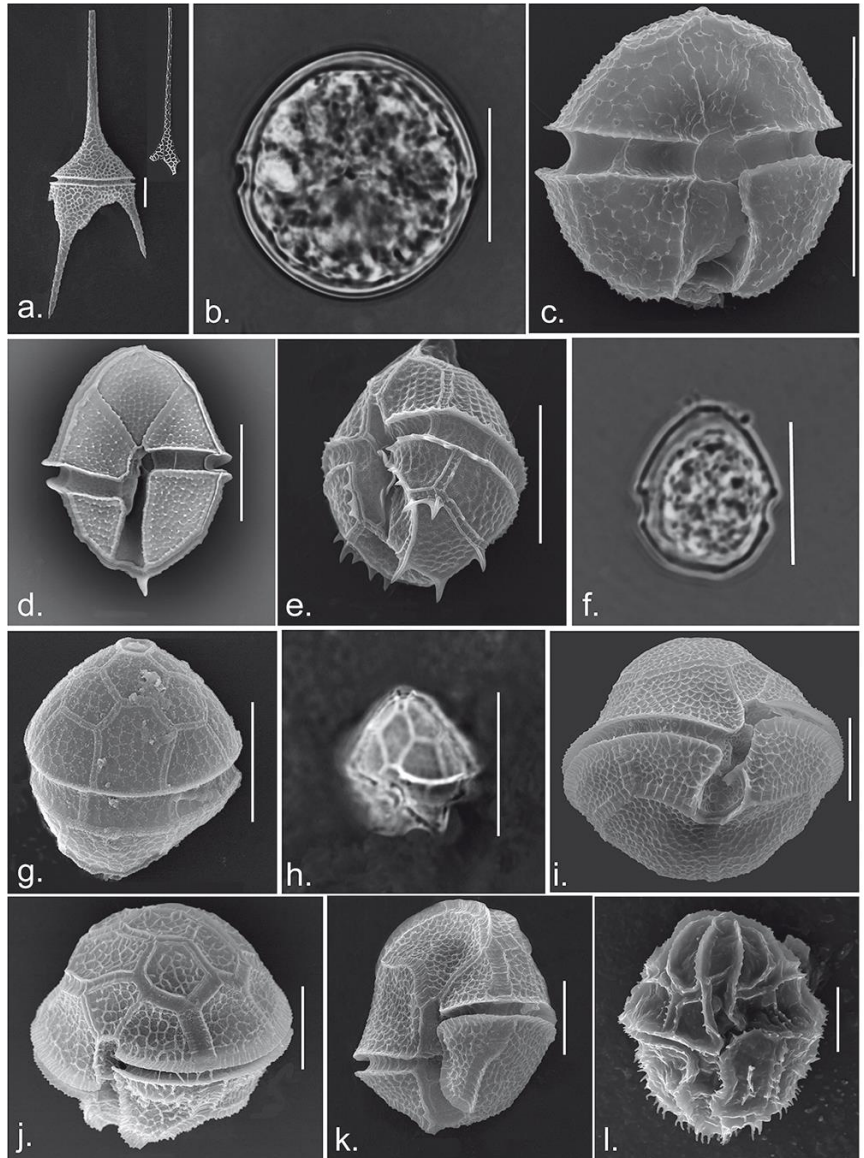
Diatomeas

- Las diatomeas se caracterizan por presentar una pared celular silicificada con múltiples perforaciones y ornamentaciones
- Existen formas uni y multicelulares



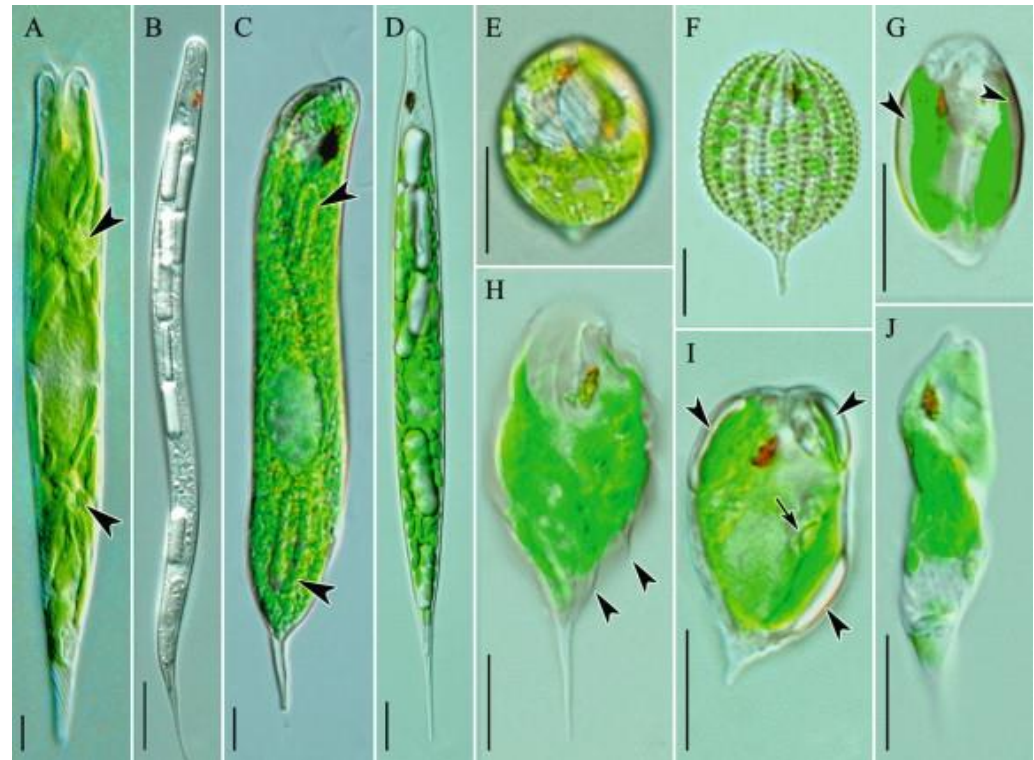
Dinoflagelados

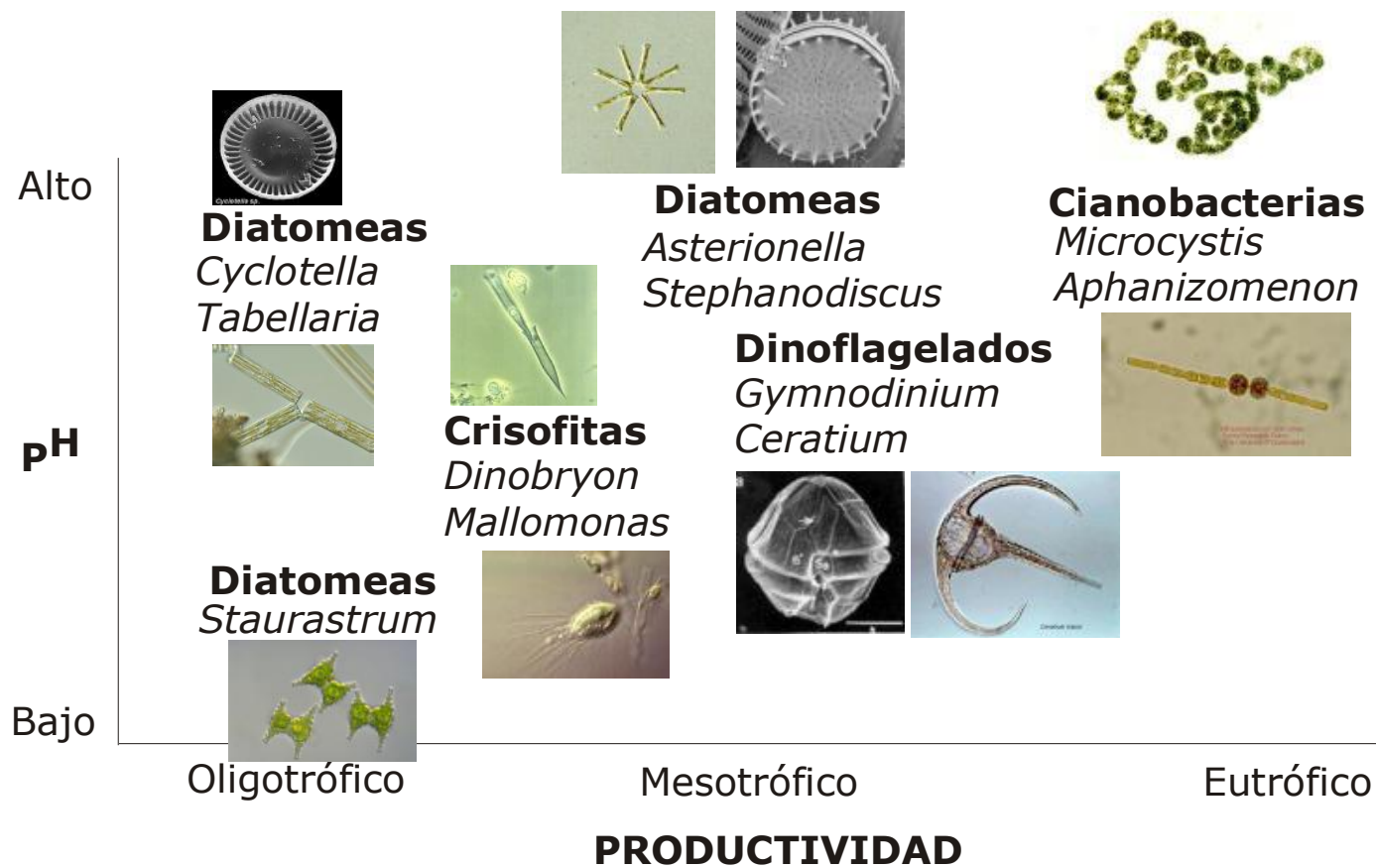
- Los dinoflagelados son formas unicelulares flageladas, con o sin gruesas paredes celulares
- Los flagelos se ubican en dirección horizontal y longitudinal



Euglenofitas

- Las euglenofitas es otro grupo de formas móviles muy abundantes en cuerpos de agua con gran contenido de materia orgánica disuelta
- Los euglenoides son heterótrofos facultativos







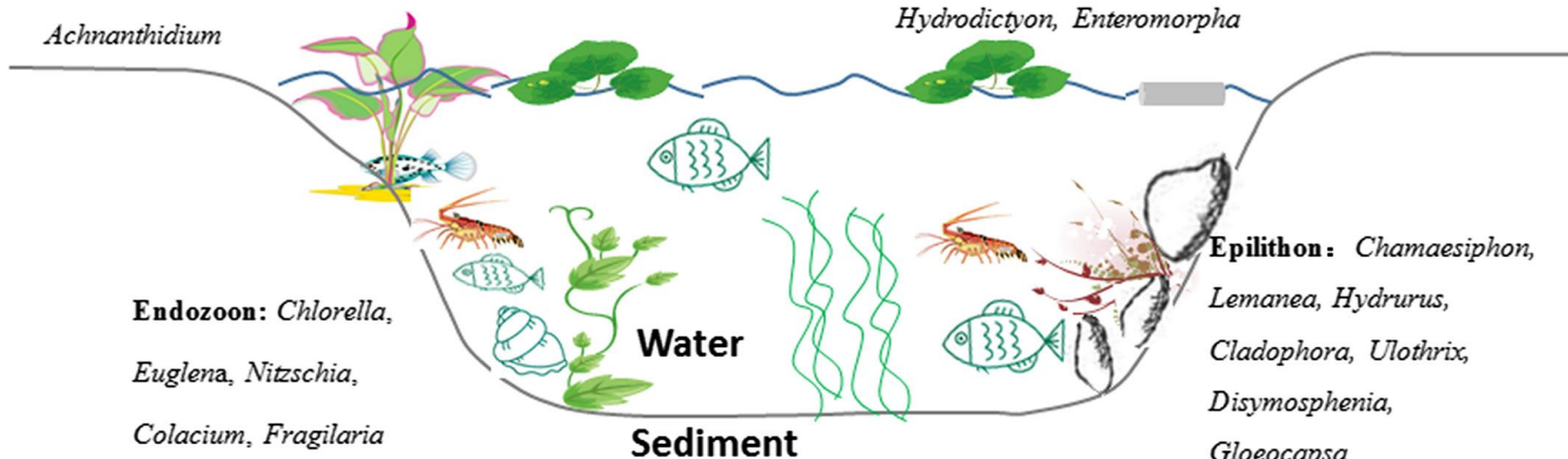
Epiphyton: *Nostoc*, *Audouinella*, *Nitzschia*,
Audouinella, *Chamaesiphon*, *Cocconeis*,
Gomphonema, *Rhoicosphenia*, *Oedogonium*,
Achnantheidium

Epixylon: *Spirogyra*, *Mougeotia*,
Zygnema, *Cosmarium*, *Scenedesmus*,
Hydrodictyon, *Enteromorpha*

Endozoon: *Chlorella*,
Euglena, *Nitzschia*,
Colacium, *Fragilaria*

Epilithon: *Chamaesiphon*,
Lemanea, *Hydrurus*,
Cladophora, *Ulothrix*,
Disymosphenia,
Gloeocapsa

Epipelon: *Komvophoron*, *Pseudanabaena*, *Euglena*,
Closterium, *Amphora*, *Seilaphora*, *Neidium*, *Lyngbya*,
Oscillatoria, *Gloeocapsa*, *Chroococcus*, *Phormidium*,
Vaucheria, *Surirella*, *Campylodiscus*





Controles de la biomasa fitoplanctónica

- La cantidad total de fitoplancton generalmente se cuantifica en términos de números de células, volumen celular total, cantidad de clorofila a o peso libre de ceniza por volumen de agua



Controles de la biomasa fitoplanctónica

- Recursos (luz y nutrientes)
- Temperatura
- Procesos de pérdida (sedimentación, herbivoría, lavado)



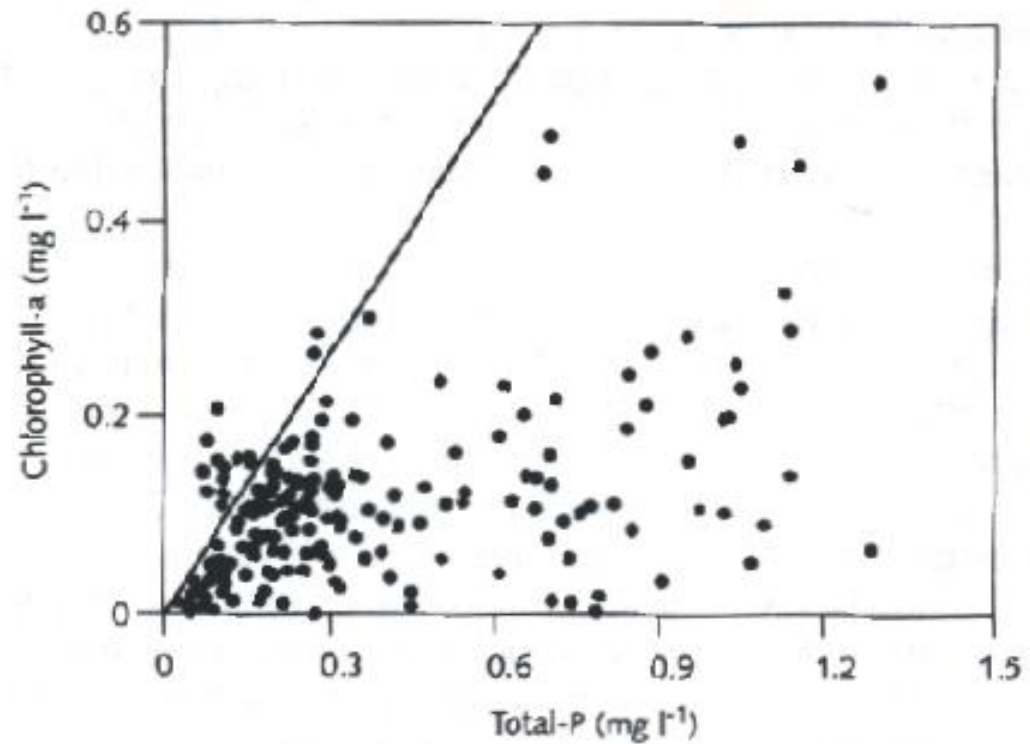
Controles de la biomasa fitoplanctónica

- Tradicionalmente, los nutrientes han recibido más atención que otros factores, en este sentido existen una serie de modelos de regresión que describen la relación entre la cantidad de fitoplancton y la concentración de nutrientes



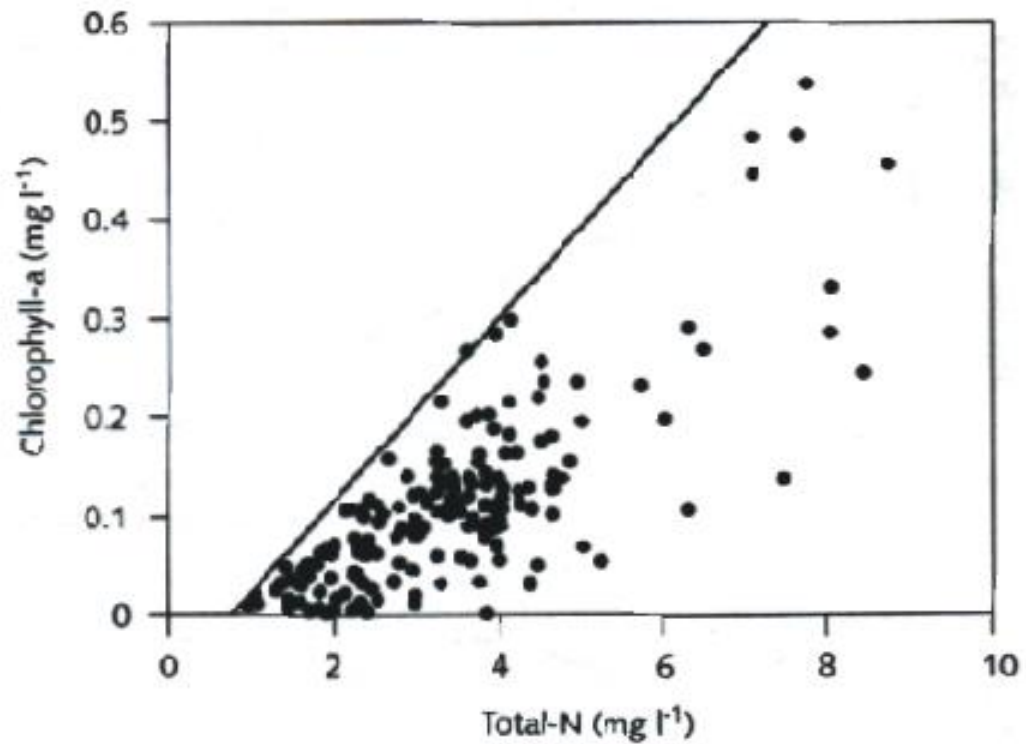
Controles de la biomasa fitoplanctónica

- La mayor parte del fósforo total presente en la columna de agua se encuentra contenido en las algas, por lo tanto no es sorprendente que la concentración total de fósforo se correlacione directamente con la clorofila a



Tomado de Scheffer (1998)

- A pesar que las correlaciones son generalmente significativas, un porcentaje de la variación no es explicada, fundamentalmente en lagos poco profundos



Tomado de Scheffer (1998)

- El fitoplancton contiene 10 veces más nitrógeno que fósforo, por lo tanto puede transformarse en limitante cuando la proporción es menor a 10 en la columna de agua. Esta situación puede ser observada en sistemas con gran abundancia de vegetación acuática



Pérdidas por sedimentación y lavado

- Las partículas, así como las microalgas, pueden ser retiradas de la columna de agua por intermedio de la sedimentación o el lavado.
- Si bien algunas especies tienen capacidad de nado o regulan su flotación, la gran mayoría de las especies carecen de estos mecanismos



Pérdidas por sedimentación y lavado

- La turbulencia y la resuspensión del sedimento es por lo tanto un factor clave en la sobrevivencia y crecimiento de algunas poblaciones.
- Grandes lagos expuestos al viento presentan especies con grandes tasas de sedimentación
- El régimen de viento juega un papel clave en la dinámica estacional de reemplazo de especies



Pérdidas por sedimentación y lavado

- En las zonas litorales o en los bancos de plantas sumergidas la comunidad se encuentra dominada por especies pequeñas con altas tasas de crecimiento y bajas tasas de sedimentación, o especies flageladas que pueden nadar activamente



Pérdidas por sedimentación y lavado

- Entradas de agua libres de algas pueden determinar pérdidas importantes, y comparables a las de la sedimentación
- Cuando el 10% del volumen del lago es reemplazo con agua libre de fitoplancton, tiene una tasa de pérdida de 0.1 d^{-1} . La comunidad fitoplanctónica se reduce drásticamente cuando esta tasa asciende a 0.3 d^{-1}



Pérdidas por sedimentación y lavado

- La profundidad del lago condiciona las tasas de pérdida y resuspensión, pero a su vez, tiene gran importancia en el régimen lumínico que recibe las microalgas



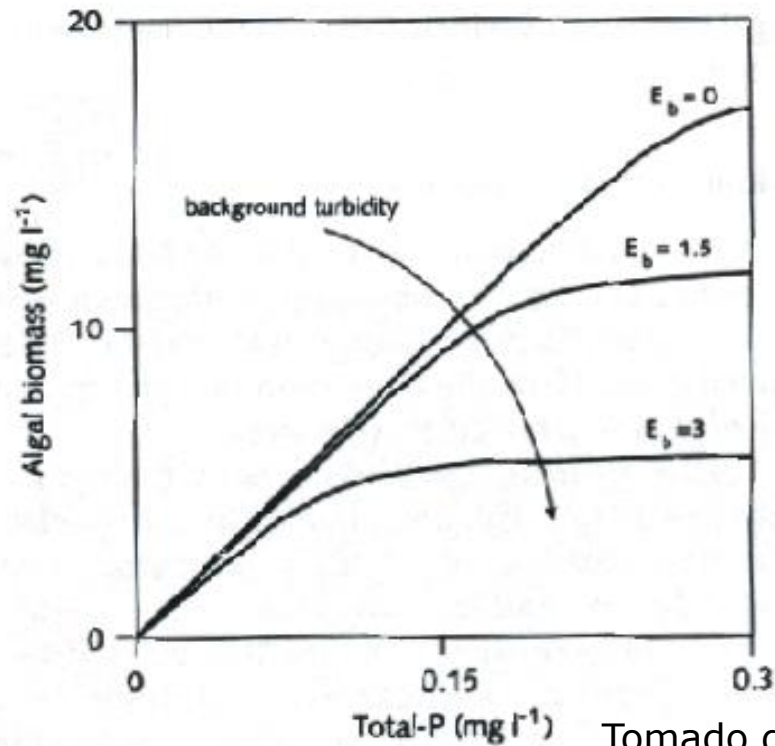
Pérdidas por sedimentación y lavado

- El efecto de sombra al cual esta sometido el fitoplancton puede ser caracterizado por el coeficiente de atenuación vertical de la luz y la profundidad de mezcla, que en el caso de los lagos poco profundos puede ser igual a la profundidad del propio lago



Interacción de luz y nutrientes

- En general la biomasa algal se incrementa a medida que la concentración de nutrientes aumenta, alcanzando un valor máximo donde la limitación de la luz impide un mayor desarrollo. Este último valor depende de la profundidad del lago
- En condiciones de nutrientes elevados, la abundancia de algas aumenta cuando la profundidad decrece hasta alcanzar la limitación por nutrientes



Tomado de Scheffer (1998)

- La contribución de la resuspensión del sedimento a la turbidez puede ser muy importante en algunos lagos someros. El efecto esperado de esta turbidez puede ser explorado de acuerdo al siguiente modelo



Control por herbivoría

- Si bien las condiciones de luz y nutrientes pueden resultar adecuadas, una parte del fitoplancton es removido de la columna de agua por consumo



Control por herbivoría

- En la mayoría de los sistemas de agua dulce, el zooplancton es el principal consumidor del fitoplancton
- El impacto potencial del grazing del zooplancton se ejemplifica en las fases de agua clara que se registran en primavera, asociado a la elevada abundancia de cladóceros



Control por herbivoría

- Además de Daphnia y otras especies pelágicas, existen una gran diversidad de filtradores más pequeños en las plantas sumergidas
- Cladóceros asociados a las plantas como Sida crystallina o Simocephalus vetulus registran grandes abundancias en estos compartimientos, constituyendo en un factor clave de la menor biomasa algal



Control por herbivoría

- A diferencia de los sistemas estuarinos, los bivalvos son menos abundantes en los lagos de agua dulce, sin embargo existen importantes excepciones, como Dreissena polymorpha, Corbicula fluminea o especies de Diplodon en América del Sur



Control por herbivoría

- A diferencia de los sistemas estuarinos, los bivalvos son menos abundantes en los lagos de agua dulce, sin embargo existen importantes excepciones, como Dreissena polymorpha, Corbicula fluminea o especies de Diplodon en América del Sur



Competencia entre algas y cianobacterias.

- En la descripción de la comunidad fitoplanctónica, además de su biomasa es importante considerar el porcentaje de cianobacterias
- Algunas especies de este grupo forman colonias que no son consumidas por los herbívoros (inedible)
- Además, varias de las especies son tolerantes a la sombra y pueden crecer a una mayor turbidez que el resto de las microalgas



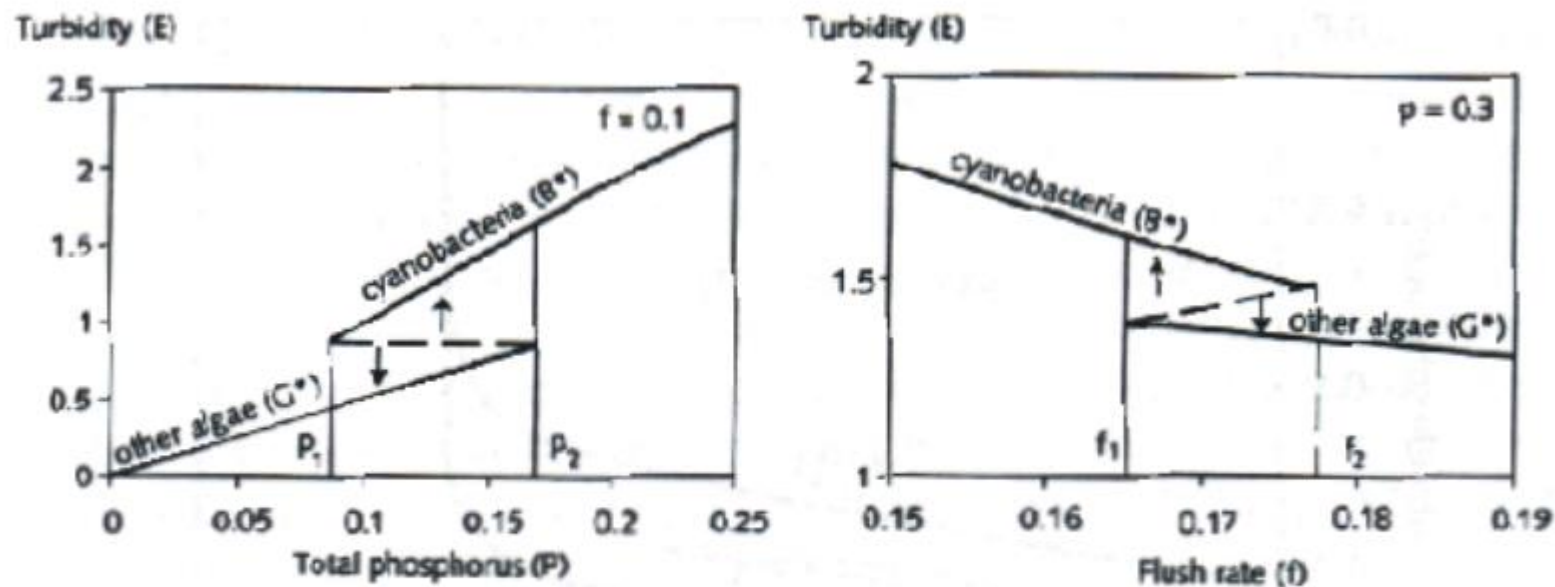
Competencia entre algas y cianobacterias

- Los géneros más conspicuos tipo filamento o colonia son: Planktothrix, Limnothrix, Oscillatoria, Lynbya, Microcystis, Anabaena y Aphanizomenon.
- Los factores determinantes en la disminución del consumo son el tamaño de las colonias y la producción de toxinas
- Varias especies de cianobacterias presentan dos características muy importantes, capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y regular su flotación y posición en la columna de agua



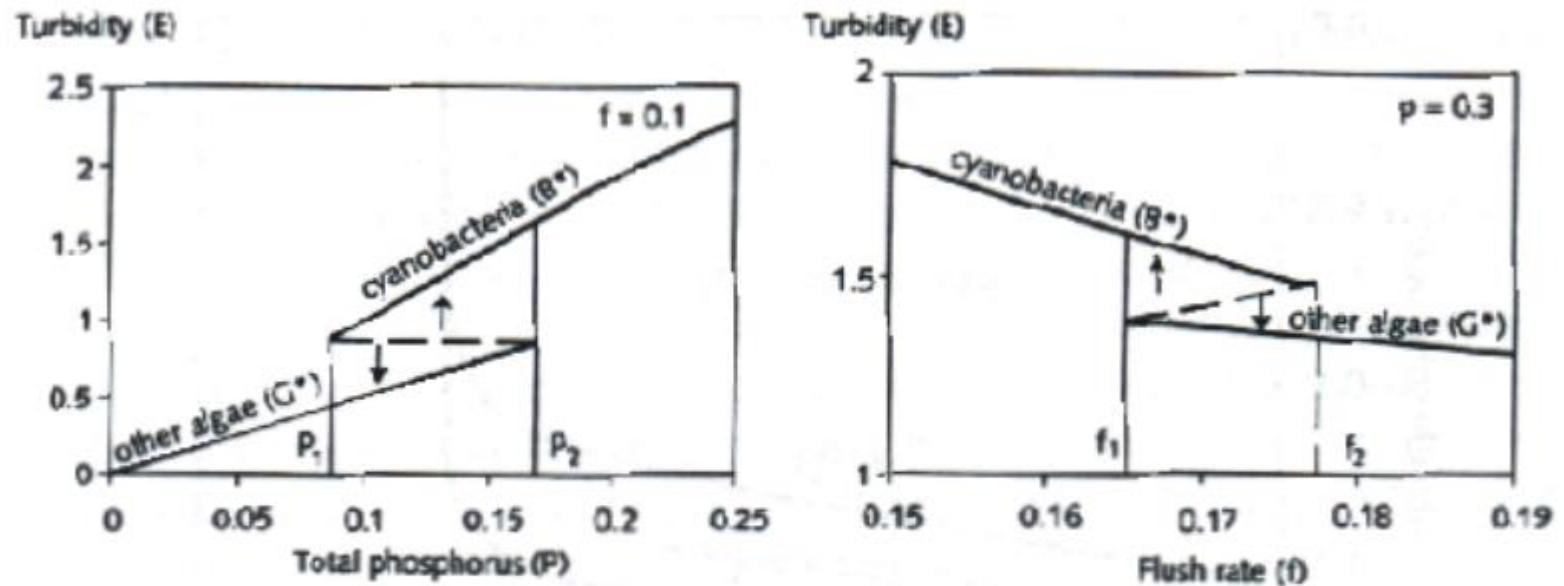
Competencia entre algas y cianobacterias

- La dominancia de cianobacterias filamentosas se asocia directamente con las condiciones de eutrofia, aunque el porcentaje de cianobacterias no se encuentra correlacionado directamente con la concentración de TP
- La información empírica demuestra que las condiciones de sombra promueven la dominancia de cianobacterias como Oscillatoria, pero a su vez esta promueve condiciones de sombra
- Este tipo de mecanismo implica un proceso de retroalimentación positiva en el desarrollo de blooms



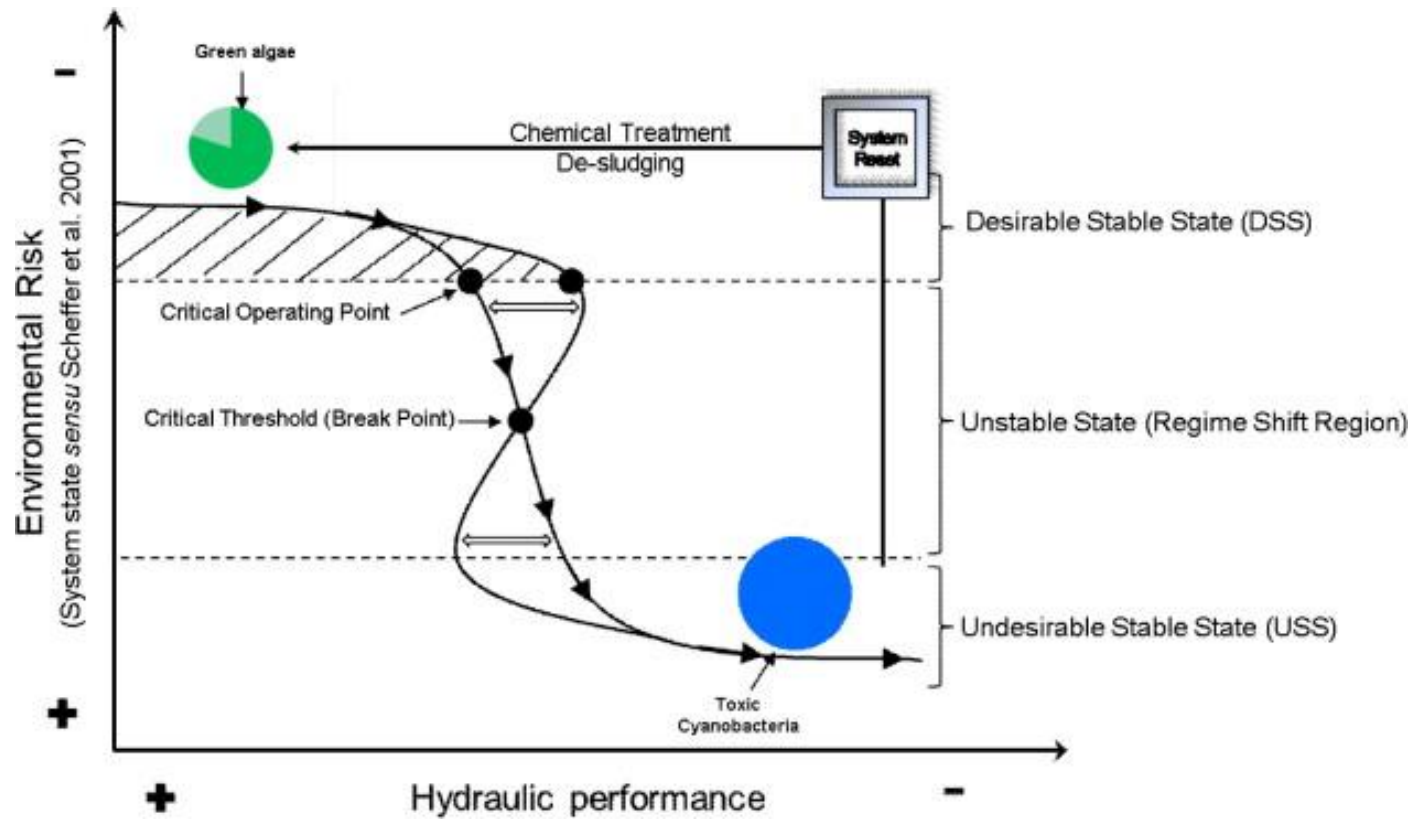
*Fig. 3.22 Hysteresis shown as the response of the turbidity (E) with respect to the control parameters total-P (P) and flush rate (f). Modified from Scheffer *et al.* (1997a).*

- El modelo gráfico implica que la respuesta al cambio de nutrientes tiende a ser discontinuo o de tipo catastrófico. A medida que aumenta la concentración de nutrientes se incrementa la turbidez, esta respuesta se mantiene hasta alcanzar el valor crítico de fósforo (P_2), por encima de ese nivel solo pueden dominar las cianobacterias. El mismo proceso de cambio rápido ocurre durante la oligotrofización.



*Fig. 3.22 Hysteresis shown as the response of the turbidity (E) with respect to the control parameters total-P (P) and flush rate (f). Modified from Scheffer *et al.* (1997a).*

- Otro factor importante que condiciona la dominancia de cianobacterias, es el tiempo de retención hidráulica del lago. Este factor también condiciona un cambio de tipo catastrófico pero de forma inversa al anteriormente mencionado. La evidencia indica que la dominancia de cianobacterias nunca ocurre en la lagos cuyo tiempo de retención es menor a 5 días, aunque estos lagos tenga una elevada concentración de nutrientes





Competencia multiespecífica y sucesión

- Los modelos de eutrofización así como los estudios descriptivos encuentran numerosas dificultades cuando se analiza las respuestas de esta comunidad a nivel específico
- La gran diversidad en el plancton indica una dinámica de no-equilibrio condicionado por factores alogénicos y autogénicos



Competencia multiespecífica y sucesión

- La sucesión de esta comunidad puede ser abordada en el contexto del marco teórico de la sucesión vegetal terrestre, sin embargo las escalas de tiempo difieren drásticamente
- El tiempo de generación de las microalgas es mil veces menor que la vegetación terrestre
- Un verano en la dinámica del plancton es comparable a siglos en la vegetación terrestre



Competencia multiespecífica y sucesión

- La sucesión de esta comunidad es interrumpida por disturbios externos (por ej. cambio de temperatura, nutrientes, etc.). Sin embargo, en ausencia de estos factores externos el régimen de reemplazo de especies corresponde a un régimen caótico



Ecological Modelling 360 (2017) 80–93

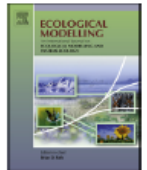


Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Modelling

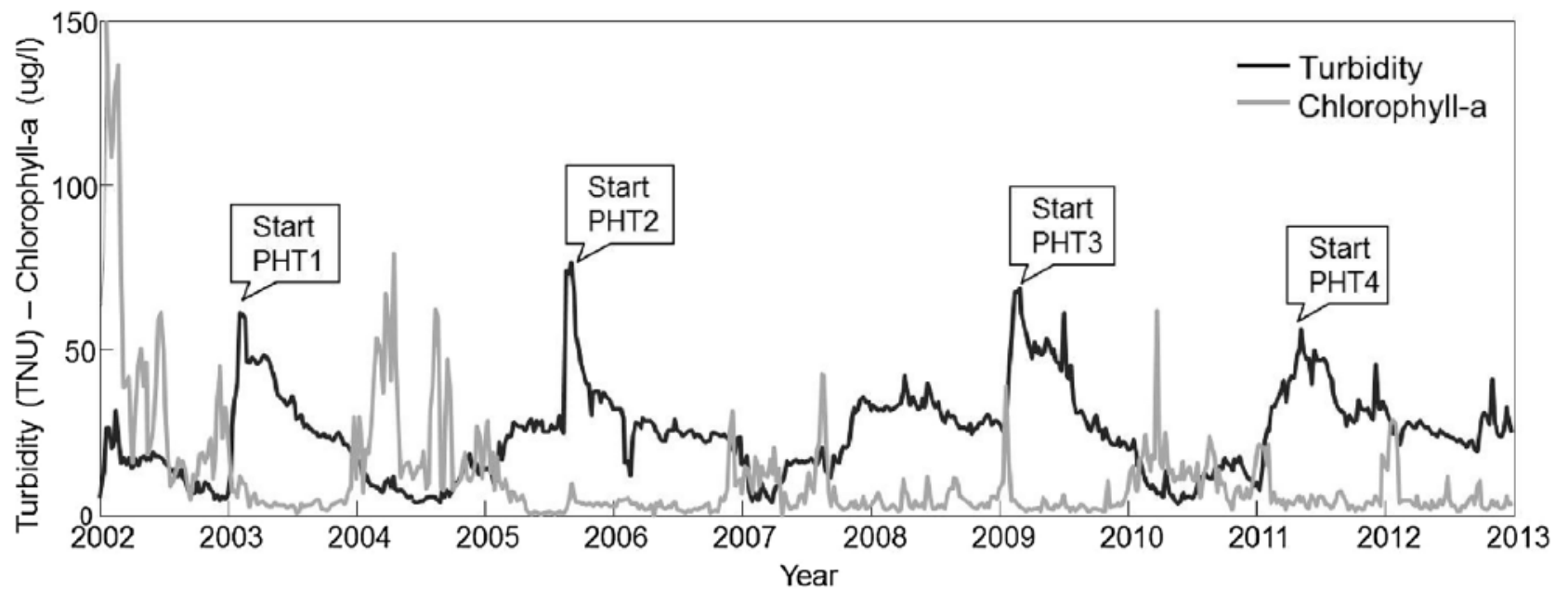
journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolmodel

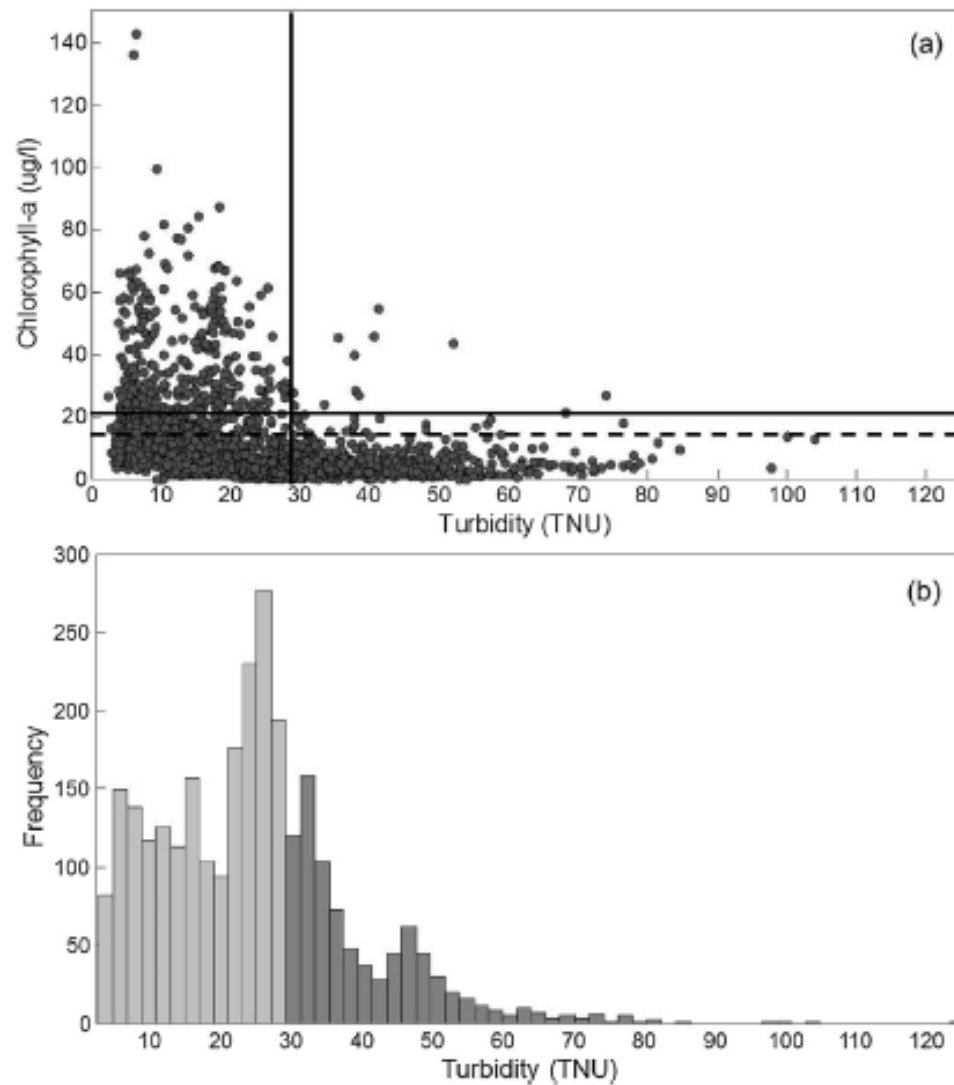
<http://www.elsevier.com/locate/ecolmodel>



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





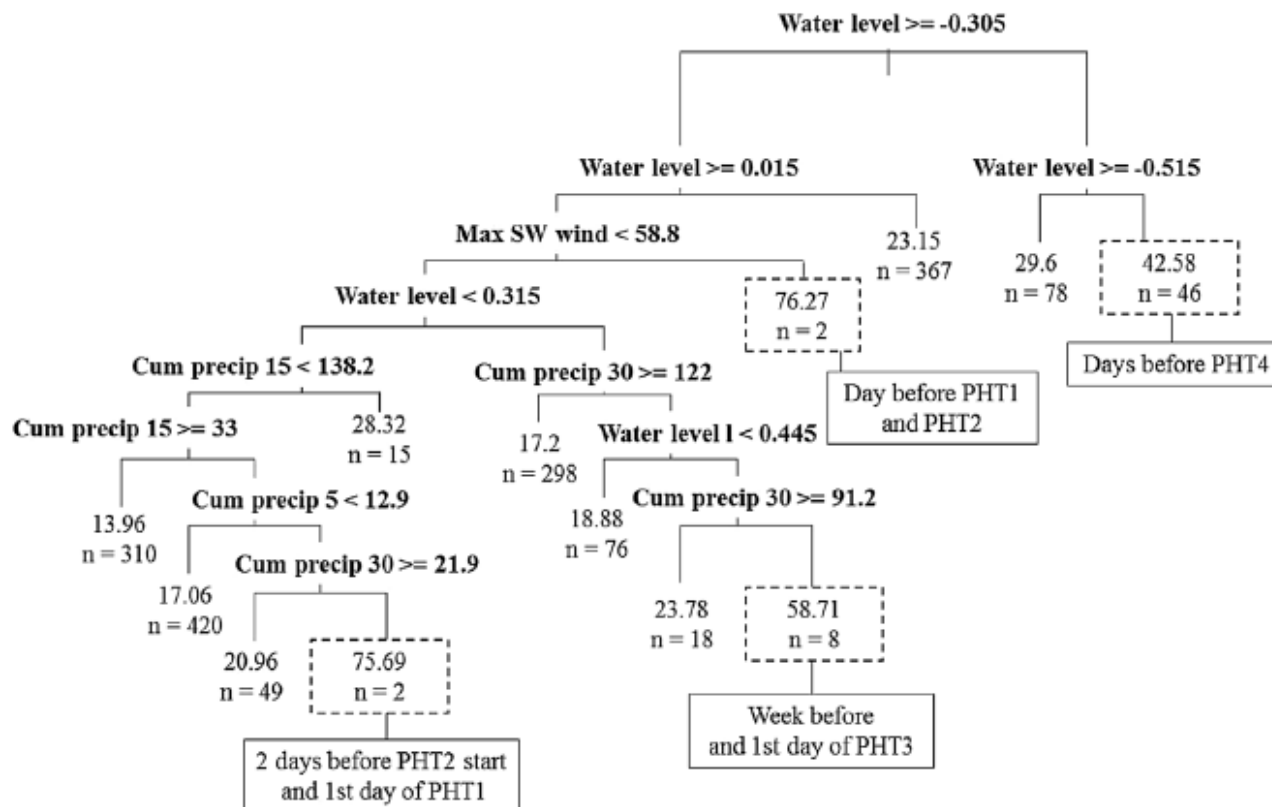


Fig. 5. CART output for the prediction of abrupt peaks of turbidity that lead to PHTs. Dashed rectangles indicate well predicted extreme turbidity events associated to the onset of PHTs. The solid line rectangles describe the observations that fall in the terminal nodes with extreme turbidity values.

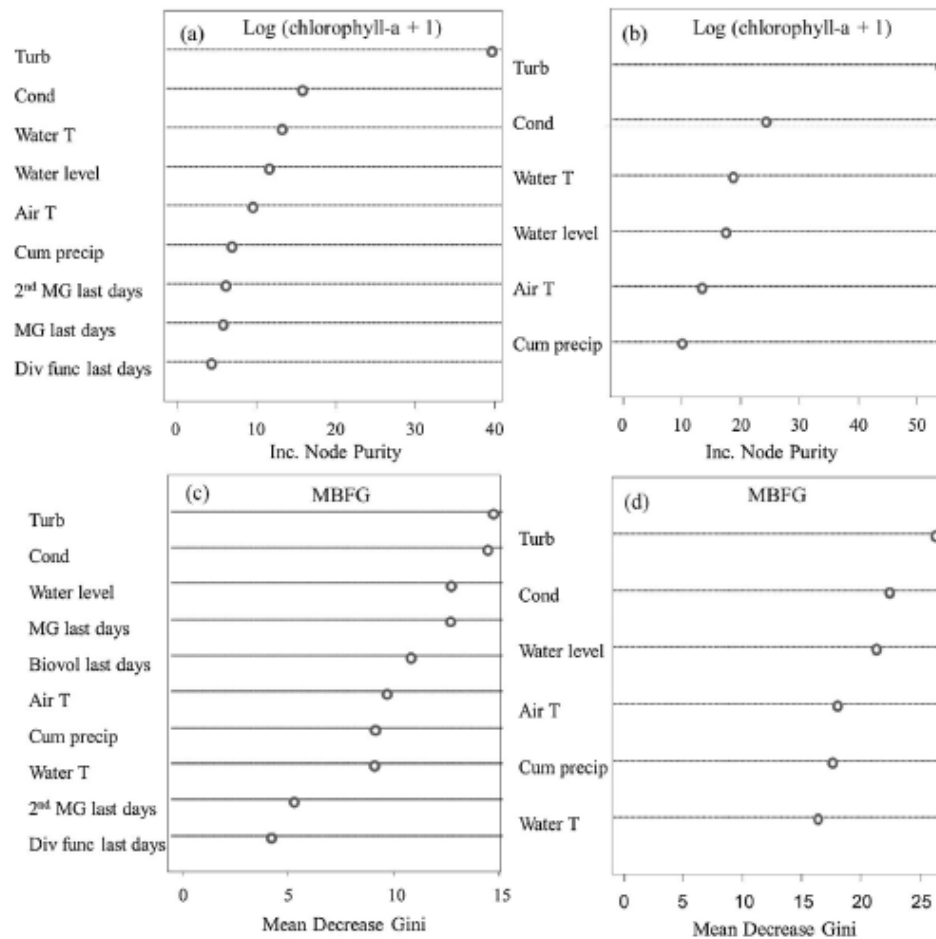


Fig. 8. Random Forests variable importance plots. Variables importance for data set 1 (a) and data set 2 (b) considering the $\log(\text{chl-a} + 1)$ response variable; variables importance for data set 1 (c) and data set 2 (d) considering the MBFG variable. The measure of variable importance (Increase in node purity for regression and Mean Decrease Gini for classification) corresponds to the total decrease in node impurities from splitting on a particular variable, averaged over all the trees of the forest. For classification, the node impurity is measured by the Gini index. For regression, it is measured by the residual sum of squares.



Hydrobiologia

<https://doi.org/10.1007/s10750-021-04783-8>



ECOLOGY OF SHALLOW LAKES

Blooms of toxic *Raphidiopsis raciborskii* in Laguna del Sauce (Uruguay): environmental drivers and impacts

Lucía González-Madina  · Paula Levrini · Paula de Tezanos Pinto ·
Maite Burwood · Carolina Crisci · Andrea Cardozo · Juan José Lagomarsino ·
Juan Pablo Pacheco · Claudia Fosalba · Gustavo Méndez · Lydia Garrido ·
Néstor Mazzeo

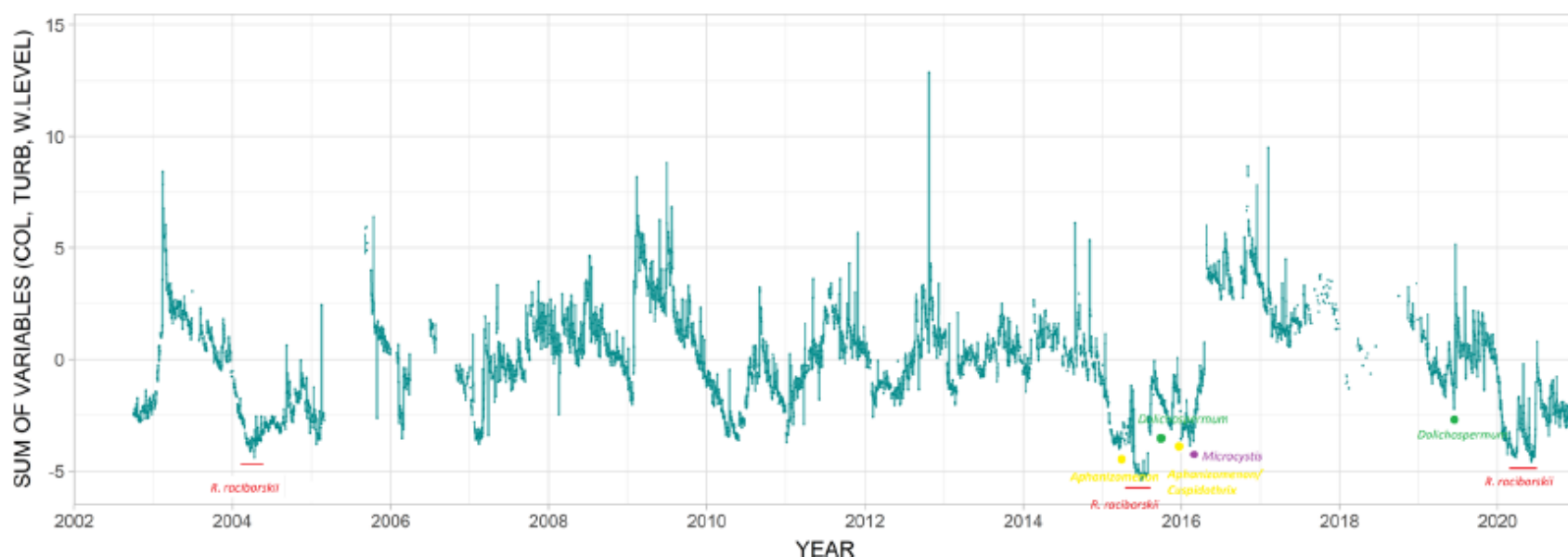
B

Fig. 3 Temporal variation of chlorophyll a (Chla), water color and turbidity during the period 2003–2020 in the area close to the water caption of the drinking water supply company. Variables were standardized (a). Additive contribution and its temporal fluctuation of turbidity, water color and water level (b). The sum includes the standardized (minus mean divided by standard deviation) values of each environmental driver. The

time series comprise the period between 2003 and 2020 and the sampling frequency was daily (Program B). From 2015–2020 (Program A), we identified 2 blooms of *R. raciborskii* (horizontal bars, 3–4 months long); other cyanobacteria blooms lasted for shorter periods (up to one month, dots). From 2003 to 2015 we lacked information about cyanobacteria blooms, except for the bloom of *R. raciborskii* in 2004



LIMNOLOGÍA 2025

Docentes: M.Sc. Florencia Balay, M.Sc. Maite Burwood, Lic. Claudia Fosalba, Lic. Lucía González-Madina, Lic. Bruno Gorostidi, Lic. Paula Levrini y Dr. Néstor Mazzeo