

EUTROFIZACION

Durante los años 1950 y 1960 varios lagos de zonas urbanas y agrícolas presentaron cambios drásticos, convirtiéndose en cuerpos de aguas turbias. La razón de este cambio no fue inmediatamente identificado, pero el vertimiento de aguas residuales no tratadas y el uso de fertilizantes agrícolas fueron los principales sospechosos.



Los científicos sugirieron que el fósforo provocaba los cambios observados y al proceso lo denominaron eutrofización. Esta hipótesis fue rechazada radicalmente por la industria de detergentes. Para resolver la controversia, se dividió un lago a la mitad, a uno se adicionó carbono + nitrógeno, a la otra los mismos elementos + fósforo. En esta última parte de lago se desarrollo una importante floración de cianobacterias.



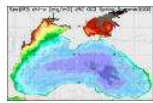
EUTROFIZACION



La adición de fósforo condiciona una cadena de eventos que producen el incremento del crecimiento de los productores primarios.

Las algas perifíticas y las macrófitas sumergidas generalmente presentan un incremento de su biomasa durante el inicio del proceso. Sin embargo, si el incremento de nutrientes continua el predominio de los productores primarios se desplaza hacia el fitoplancton, en especial hacia las cianobacterias.

La reducción de la transparencia y el aumento de la producción de biomasa conllevan a una gran acumulación de material orgánico en las capas más profundas.



EUTROFIZACION



La degradación de la materia orgánica provoca condiciones de hipoxia o anoxia en el sedimento y en las capas más profundas de lago. La descomposición anaeróbica genera gases (sulfhídrico, metano) causantes de los malos olores.

La menor concentración de oxígeno, el incremento de amonio y amoniaco, y la menor transparencia modifican drásticamente la comunidad de peces, generando la ausencia total de peces o el predominio de planctívoros.



EUTROFIZACION

Cuando se identificó la causa del proceso, evidentemente que la primera estrategia de recuperación fue reducir el aporte de fósforo a los lagos. En este contexto, se invirtió importantes sumas de dinero en el desarrollo e implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales.



Sin embargo, la reducción del aporte externo no fue suficiente para mejorar las condiciones del lago debido al elevado reservorio de nutrientes en el sedimento (carga interna) y la estructura de la trama trófica.

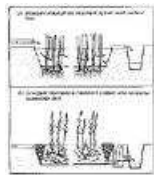
EUTROFIZACION

Las estrategias de rehabilitación de los cuerpos de agua eutróficos se pueden incluir en tres grandes categorías:

- A) Control de la carga externa.
- B) Control de la carga interna.
- C) Biomanipulación.



EUTROFIZACION



Control de la carga externa.

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.

La descomposición de la materia orgánica se realiza 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).

En muchos países existe 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.

EUTROFIZACION

Control de la carga interna.

Remoción del sedimento.

Remoción previo vaciado.

Remoción sin vaciado. Húmeda o seca.

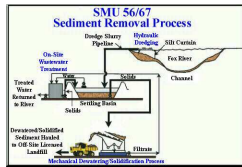
Dilución y lavado.

Aislamiento físico del sedimento.

Aislamiento químico del sedimento:

A) Oxigenación del sedimento.

B) Método Riplox de oxidación del sedimento.



EUTROFIZACION



Remoción del sedimento.

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.

Remoción previo vaciado.

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

EUTROFIZACION

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. Durante el proceso de dragado seco en cambio, el material removido es transportado a una planta de lavado donde el lixiviado se deposita en lagunas de sedimentación. El método de dragado seco otorga mejores resultados, ya que el lago no permanece turbio.



EUTROFIZACION



A través del manejo de las entradas de agua, es posible variar el tiempo de residencia del lago, lo cual representa una medida efectiva para el "lavado" de microalgas del sistema y reducir el impacto de liberación de nutrientes desde el sedimento. 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. Para conseguir esto último, es necesario contar con una fuente de agua pobre en nutrientes que provoque un efecto de dilución de las concentraciones actuales.

EUTROFIZACION

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.

EUTROFIZACION

Oxigenación del sedimento.

La introducción de oxígeno disuelto al sedimento permite la descomposición de la materia orgánica acumulada. Por otra parte, en presencia de oxígeno la mayoría de los compuestos que contienen fósforo son insolubles. Por esta razón, este 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.



EUTROFIZACION

Método Riplox de oxidación del sedimento.

El objetivo de este método es reducir la carga interna de fósforo mediante la 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 pH cercano a la neutralidad las bacterias denitrificadores provocan el pasaje de nitrato a nitrógeno gaseoso.



EUTROFIZACION

El término biomanipulación 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 o agregar peces piscívoros.

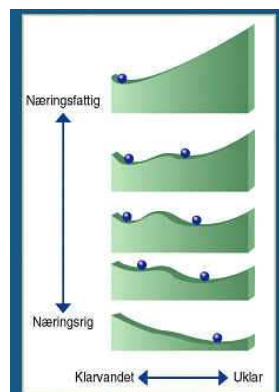
La biomanipulación ha sido probada en varios países de Europa y Estados Unidos con resultados variables. Los mejores resultados se han obtenido en lagos poco profundos cuando más del 80% de la biomasa de planctívoros se ha removido.

Sin embargo, el éxito de estos programas depende de otros procesos como el incremento de la biomasa de las macrófitas sumergidas y las algas periféricas. Para el crecimiento de estas dos comunidades es indispensable la reducción de los peces de hábito bentívoro, por su perturbación del sedimento y excreción de nutrientes en la columna de agua.

Estados estables alternativos.

Uno de los más importantes hallazgos realizados en los últimos 15 años es que los lagos poco profundos eutróficos con concentraciones similares de nutrientes pueden estar dominados de plantas sumergidas o por fitoplancton.

EUTROFIZACION



La transición entre estos estados alternativos no es gradual con respecto al incremento de la carga de nutrientes, esta caracterizado por una rápida transición entre estos estados. En relación con el fósforo estos estados pueden existir sobre un rango entre 25 a 1000 $\mu\text{g/L}$.

EUTROFIZACION

Los estados claros y turbios son muy estables en condiciones de baja y alta carga de nutrientes respectivamente. Las plantas acuáticas consumen de forma lujuriosa los nutrientes, liberan sustancias orgánicas que inhiben el crecimiento algal, y el desarrollo del perifiton reduce la presión de herbivoría sobre la vegetación. Por otro lado, el estado turbio limita seriamente el acceso a la luz por parte del perifiton y plantas sumergidas, la ausencia de la plantas reduce la capacidad de refugio del zooplancton, y una gran proporción de la comunidad fitoplanctónica no puede ser consumida por los herbívoros (por ej. cianobacterias filamentosas).



EUTROFIZACION

Medidas adicionales.

El nivel del agua de los lagos poco profundos pueden en ocasiones ser manipulado mediante un pequeño esfuerzo. Existen diversos ejemplos de rápida colonización de las plantas sumergidas o desaparición asociados al descenso o incremento del nivel del agua respectivamente. El descenso del nivel del agua mejora la disponibilidad de luz en el sedimento, facilitando el establecimiento de la vegetación acuática.



Barley-straw. La introducción de restos vegetales en la propia columna de agua (50g m^{-3}) provoca una fuerte reducción de la biomasa fitoplanctónica. La evidencia indica que los procesos implicados son una menor disponibilidad de nutrientes para el fitoplancton, y la liberación de sustancias fitotóxicas del residuo vegetal.

EUTROFIZACION

A efectos de promover el establecimiento de la vegetación sumergida es necesario en ocasiones implementar exclusiones para aves o peces.

Existen varios antecedentes sobre la creación de refugios artificiales para el zooplancton y peces, en general de materiales plásticos.

EUTROFIZACION

| 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 | ? | + | - | - | ? | + | - | - |
| DEESTRATIFICACION | + | + | - | - | + | + | - | - |
| METODOS QUIMICOS | | | | | | | | |
| PRECIPITACION DE FOSFORO | + | ? | + | ? | + | ? | + | ? |
| TRATAMIENTO DEL SEDIMENTO CON NITRATO | - | - | - | - | + | ? | + | ? |
| AERACION DE LAS AGUAS PROFUNDAS | + | + | - | - | + | + | - | - |
| BIOMANIPULACION | | | | | | | | |
| CONTROL DE PECES PLANCTIVOROS | + | + | + | + | + | + | + | + |